

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prospecção do subsolo Métodos geofísicos



PHA-3523

Remediação de Áreas Contaminadas



Investigação geoambiental

- Em uma área supostamente contaminada: verificar a existência de contaminação
- Em uma área comprovadamente contaminada: determinar o grau de contaminação e a distribuição de contaminantes no subsolo, assim como as propriedades mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos, para o estabelecimento de uma estratégia de remediação.



Investigação geoambiental

- Perfil geotécnico
- Posição do nível d'água
- Condutividade hidráulica
- Composição química e fonte(s)/receptor(es) de contaminantes, potenciais e existentes



Prospecção do subsolo

Objetivos:

- Reconhecimento dos solos envolvidos para sua identificação, avaliação do estado e amostragem visando a realização de ensaios especiais.
- Na Geotecnia Ambiental, eventualmente, também detectar resíduos ou contaminação.



Prospecção do subsolo

Procedimentos:

- Amostragem em taludes ou poços (blocos)
- Amostras Shelby
- Perfurações no subsolo (trado simples, sondagens de simples reconhecimento, CPT)



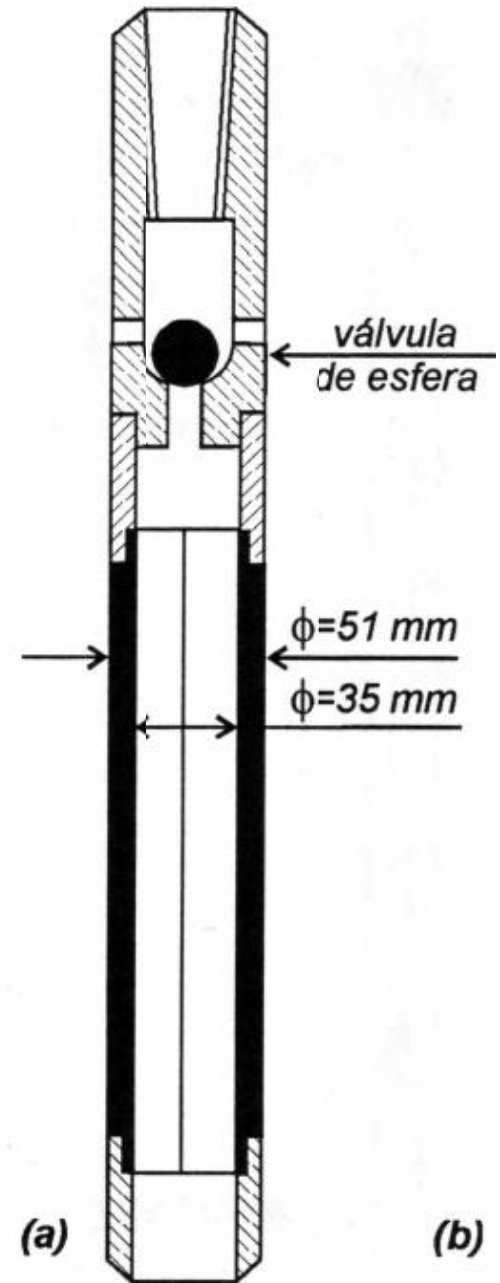
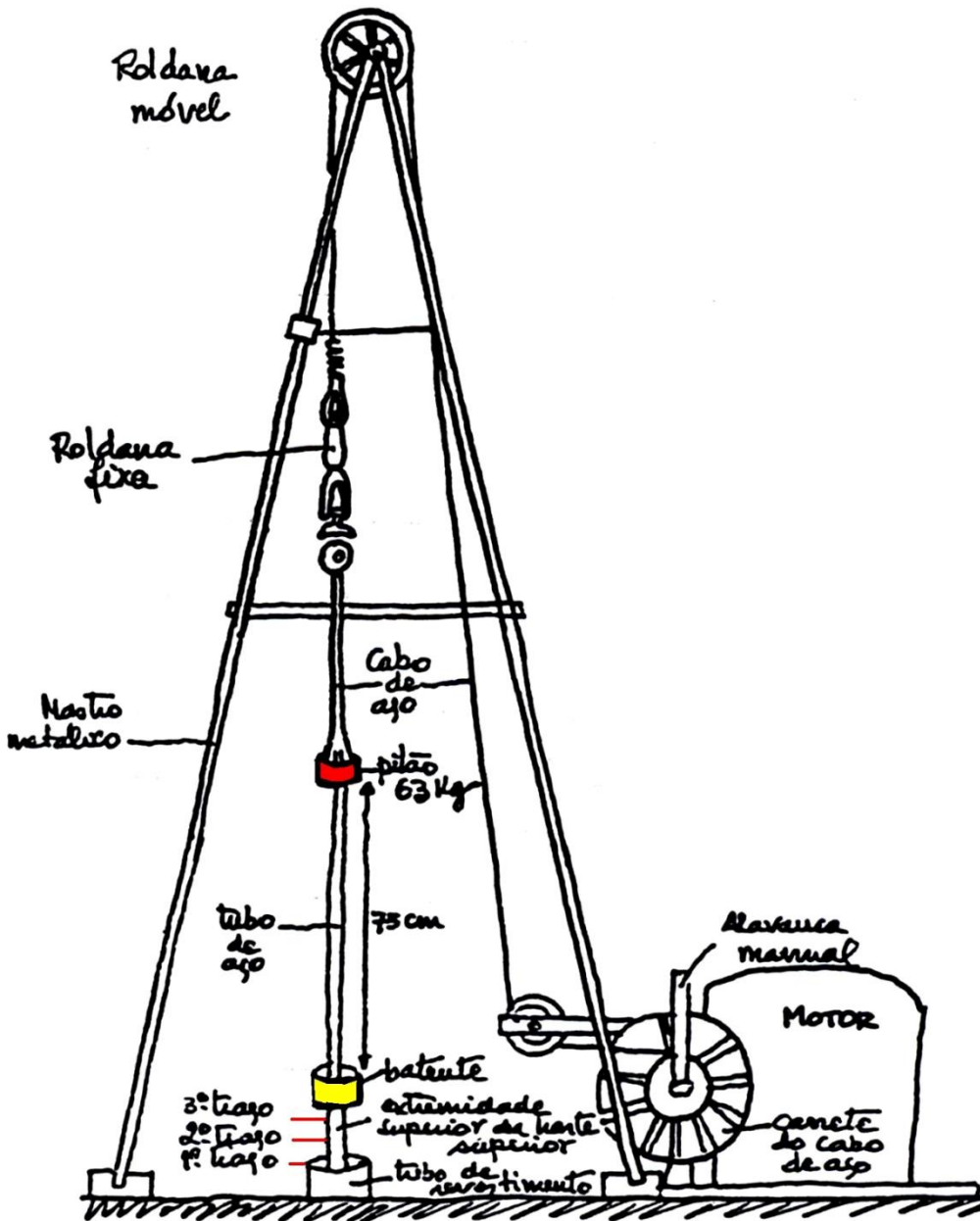
Ensaaios geotécnicos

- Sondagens de simples reconhecimento com medida da resistência à penetração
- Ensaio de penetração do cone
- Ensaio de palheta
- Ensaio pressiométrico
- Ensaio dilatométrico
- Ensaios de laboratório realizados com amostras indeformadas.

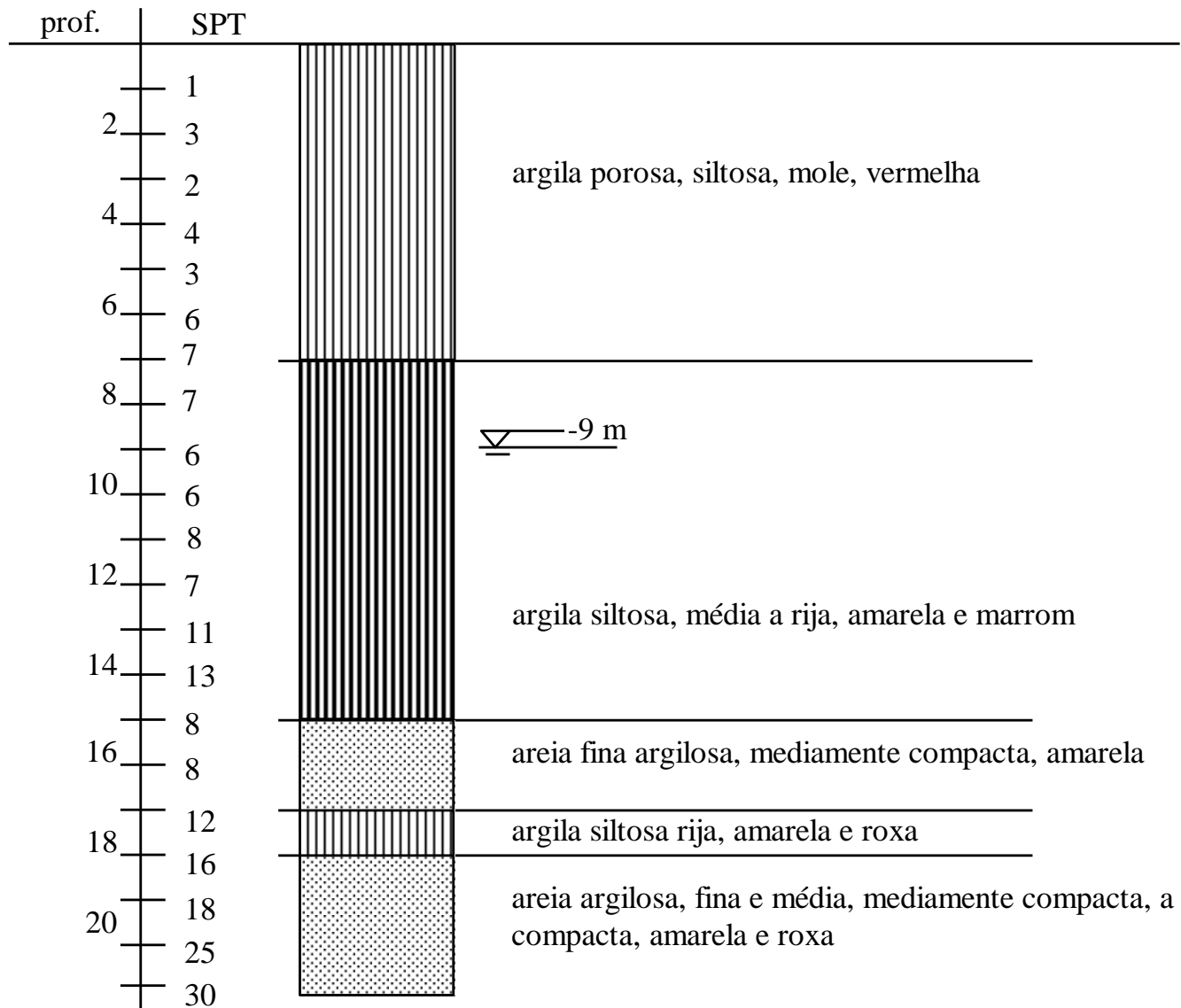


Sondagem de simples reconhecimento

- NBR-6484
- Perfuração inicial com trado cavadeira ($D=10\text{cm}$)
- Tubo de revestimento ($D=2\frac{1}{2}''=6,35\text{cm}$) cravado com martelo e perfuração com trado espiral
- Determinação do nível de água
- Abaixo do nível d'água, perfuração por percussão e lavagem (trépano e injeção de água)
- Amostragem a cada metro (amostrador padrão: ($D_{\text{ext}}=50,8\text{mm}$ e $D_{\text{int}}=34,9\text{mm}$),
- Medida da resistência à penetração (SPT) (65 kg com queda de 75 cm)
- Programação das sondagens: NBR-8036



Av. Paulista, São Paulo





Amostragem

- Tipos (ar, água, solo, vegetação, resíduos)
- Quantidade
- Frequência
- Técnicas de coleta, preservação e transporte
- Análises
- Técnicas analíticas
- Preparação das amostras para análise
- Procedimentos de controle de qualidade

Amostragem de água subterrânea



Amostragem de solo com trado



Amostras indeformadas





Métodos indiretos de investigação

- Não intrusivos
- Intrusivos (cone de resistividade)



Ensaio geofísicos

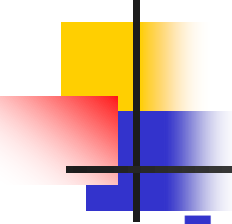
- Técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se como métodos não invasivos e não destrutivos

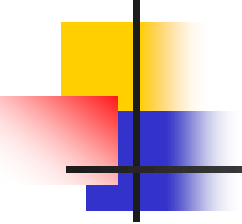
(CETESB 1999)

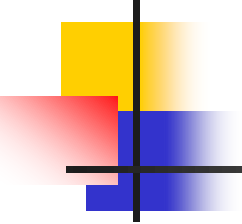


Ensaio geofísicos

- São utilizados para o mapeamento e monitoramento de plumas de contaminação, caracterização de feições geológicas e hidrogeológicas e detecção de estruturas enterradas, tais como tanques e tambores.
- Podem fornecer informações sobre a litologia, estratigrafia, presença de falhas, profundidade do nível d'água e direção do fluxo subterrâneo
- Em locais onde houve disposição de resíduos, permitem estimar a localização e o volume dos resíduos.

- 
- Esses métodos baseiam-se no contraste entre propriedades físicas dos diferentes materiais que compõem o subsolo, tais como a condutividade elétrica, o magnetismo e a densidade.
 - Como as informações não provêm da verificação direta por meio de escavação e retirada de amostras, os ensaios geofísicos são denominados métodos indiretos de prospecção do subsolo.
 - As principais vantagens em relação aos métodos diretos são: a rapidez para investigar grandes áreas e a possibilidade de realizar levantamentos espacialmente contínuos.

- 
-
- Os métodos geofísicos geralmente são utilizados para mapear a contaminação, mostrando as tendências de variação de concentração de poluentes em planos horizontais e em profundidade, assim definindo a locação de poços de monitoramento e dos melhores pontos para a realização de ensaios diretos ou de retirada de amostras para uma investigação mais detalhada.

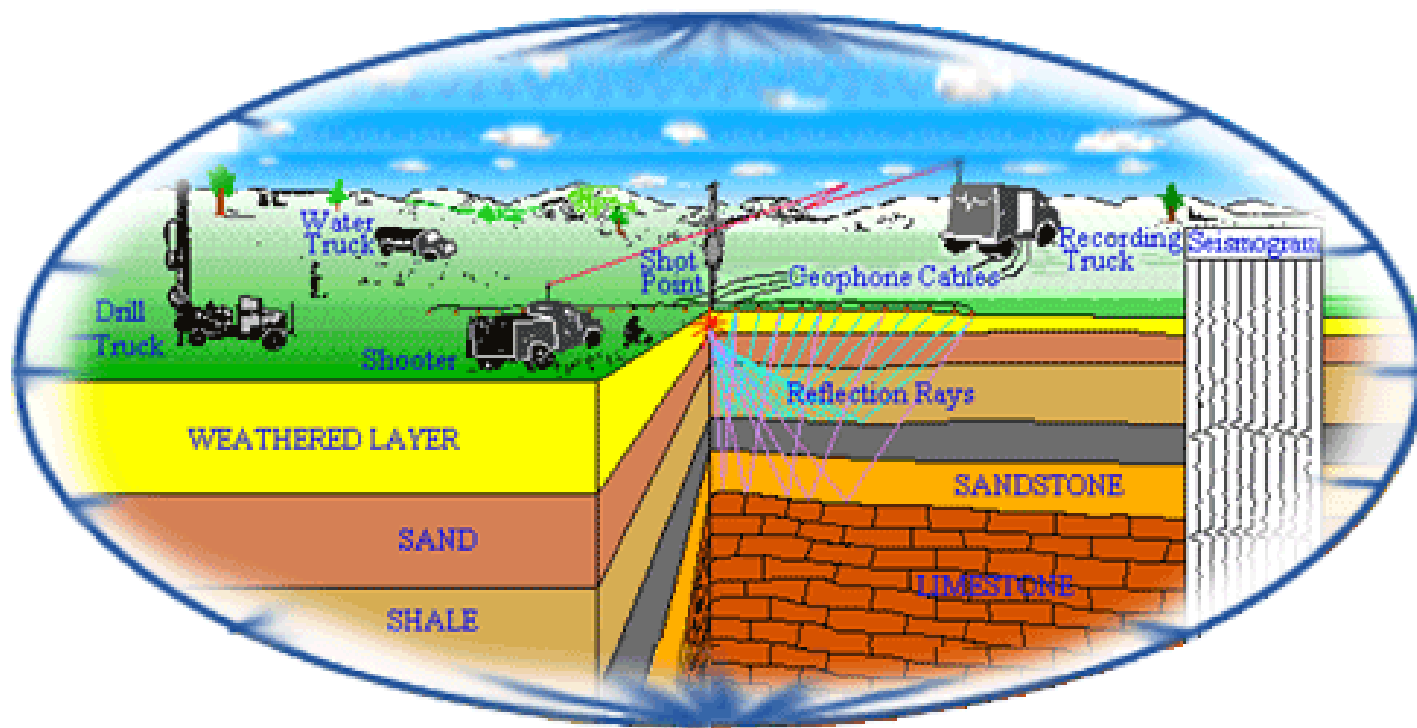
- 
-
- Dentre os métodos geofísicos, são mais utilizados na investigação geoambiental os sísmicos, os geoelétricos e o cone de resistividade.



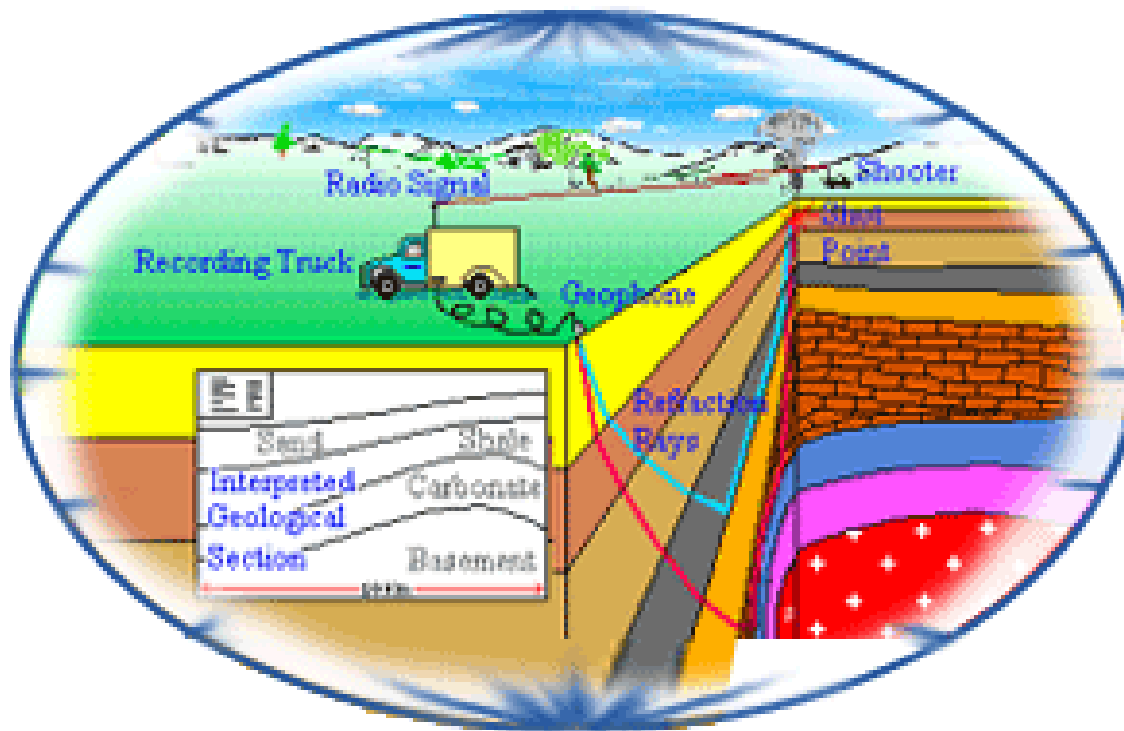
Métodos sísmicos

- Utilizam a velocidade de propagação de ondas elásticas geradas artificialmente (por explosivos, ar comprimido, queda de pesos ou vibradores) através do subsolo.
- As ondas podem ser geradas na superfície do terreno ou dentro de furos de sondagem.
- Nas interfaces onde mudam as propriedades do meio, as ondas podem sofrer difração, refração ou reflexão.
- As ondas percorrem determinada distância no subsolo e retornam à superfície, onde são captadas por sensores chamados geofones.
- Os sinais captados pelos geofones são transformados em registros sísmicos, cuja interpretação possibilita a caracterização de camadas de diferentes materiais no subsolo.

Método sísmico por reflexão



Método sísmico por refração





Métodos geoeletricos

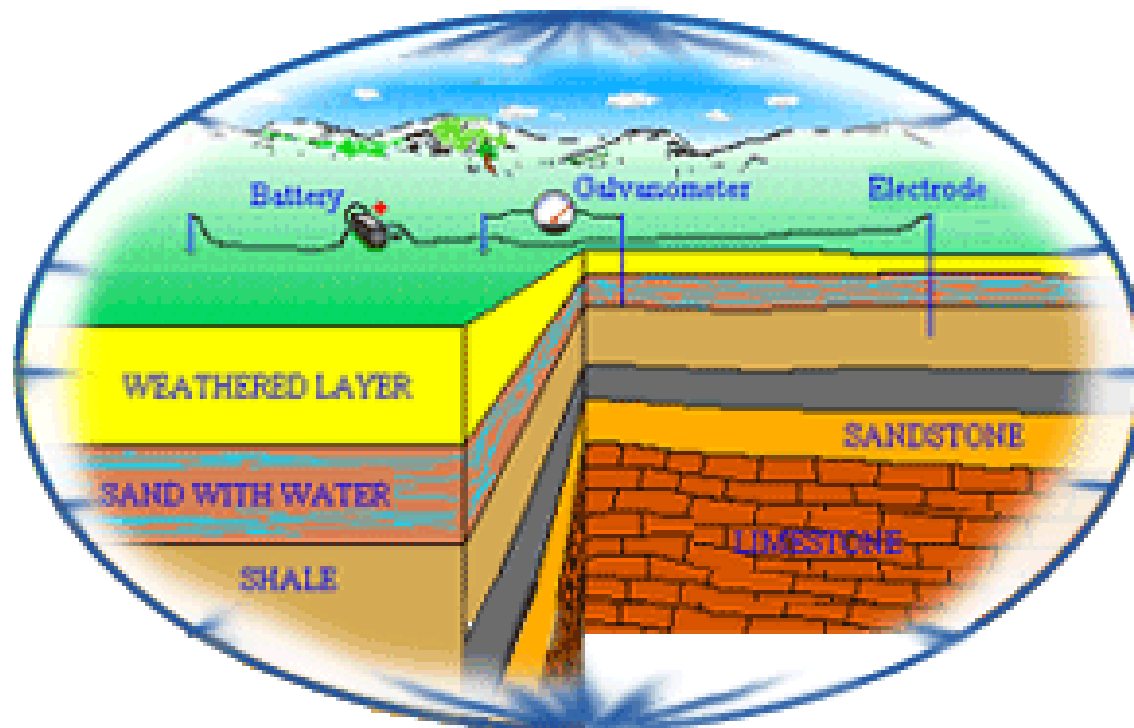
Baseiam-se em parâmetros elétricos do solo, como condutividade, resistividade, potencial espontâneo, polarização e campo eletromagnético



Métodos geoeletricos

- O método da eletrorresistividade utiliza uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno por meio de dois eletrodos, com o objetivo de medir o potencial elétrico gerado em outros dois eletrodos.
- Pode ser realizado na direção vertical (sondagem elétrica) ou paralelamente à superfície do terreno (caminhamento elétrico).
- A propriedade física medida é a resistividade elétrica.
- A resistividade de solos e rochas depende da composição mineralógica, porosidade, teor de umidade e quantidade e natureza de sais dissolvidos.

Método da eletrorresistividade



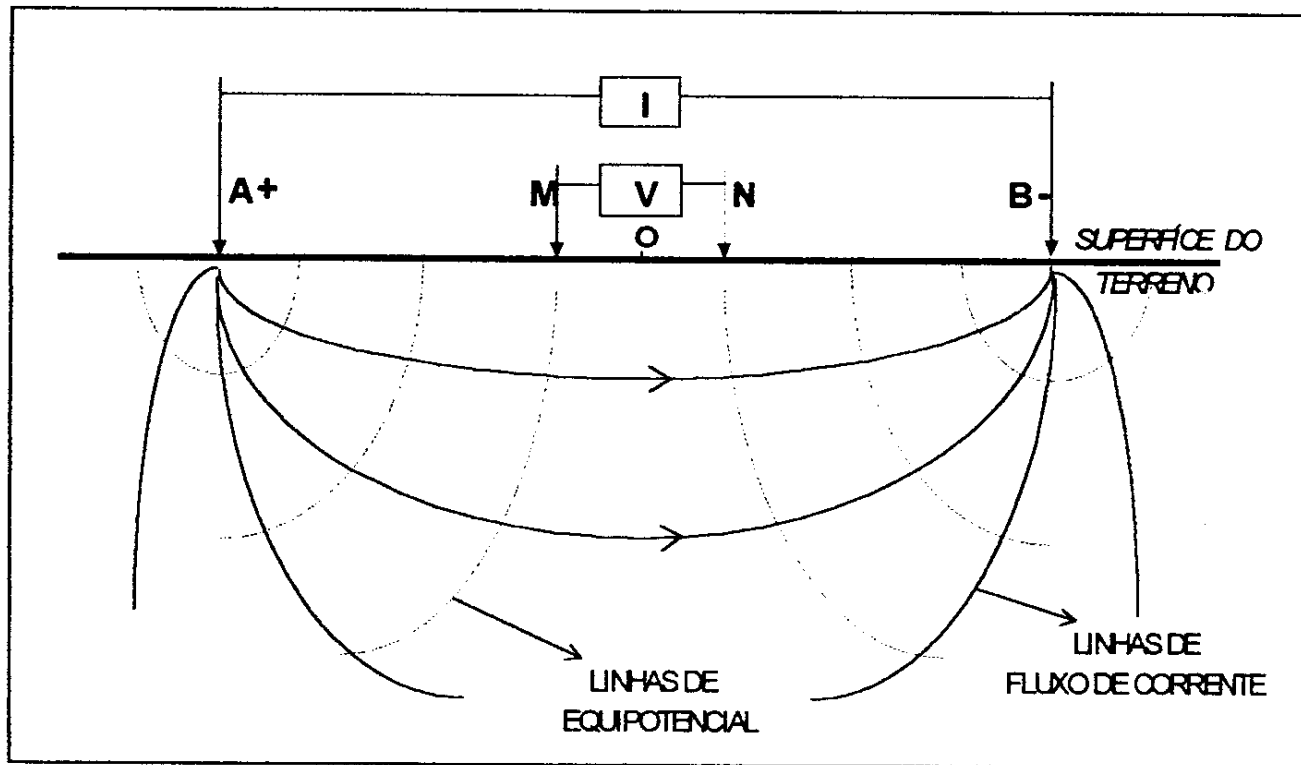


Figura 2.25. Arranjo de campo - sondagem elétrica vertical Schlumberger (ELIS, 1999).

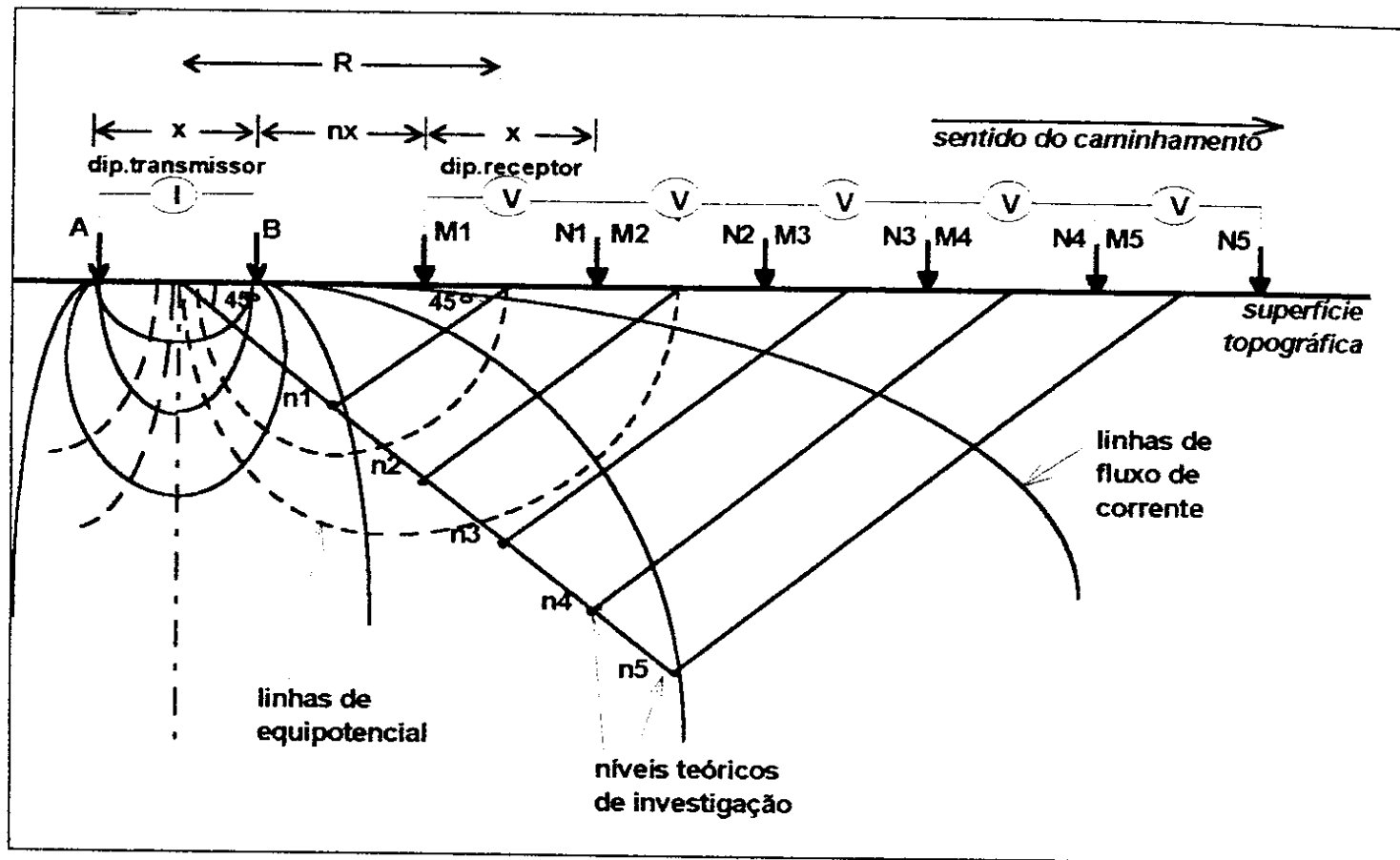
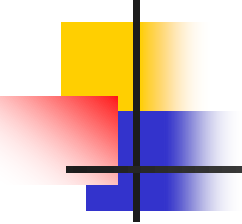


Figura 2.26. Disposição no campo do arranjo Dipolo-Dipolo - Caminhamento Elétrico (ELIS, 1999).



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

ρ_a = resistividade aparente (ohm.m)

ΔV = diferença de potencial criada entre os eletrodos M e N

I = corrente elétrica aplicada

$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

Resultados de sondagens elétricas verticais

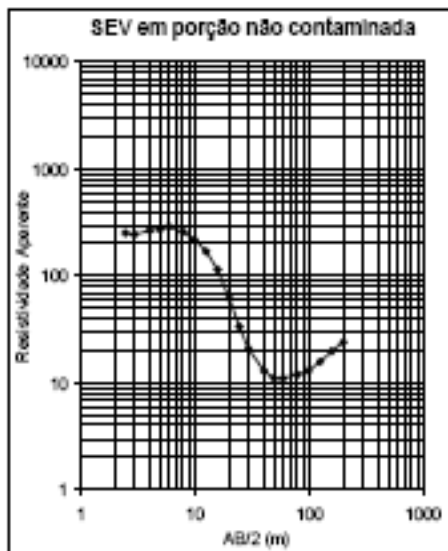


Figura 6200-10: Sondagem elétrica vertical externa à área de indústria suspeita de contaminação.

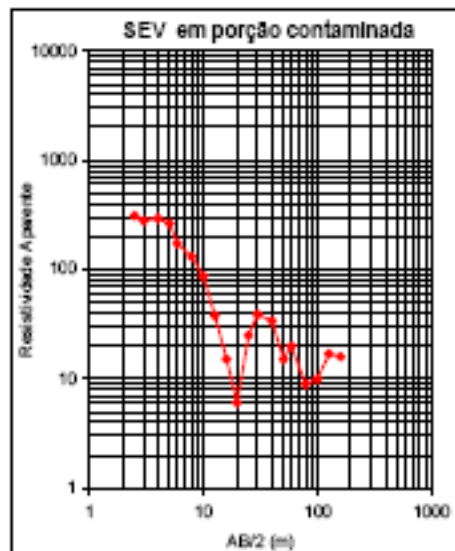


Figura 6200-11: Sondagem elétrica vertical realizada em local de infiltração de resíduos industriais.

(Mondelli, 2004)

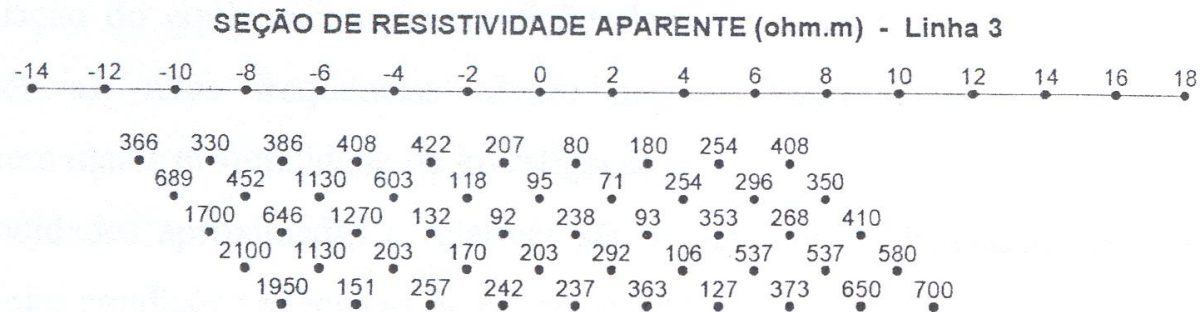
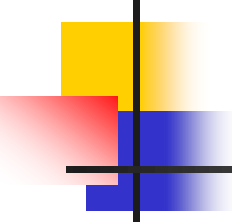
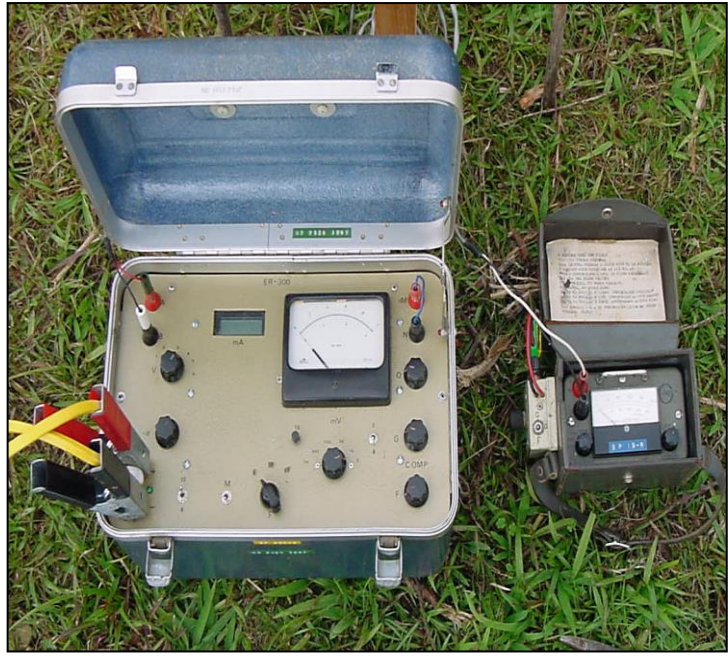
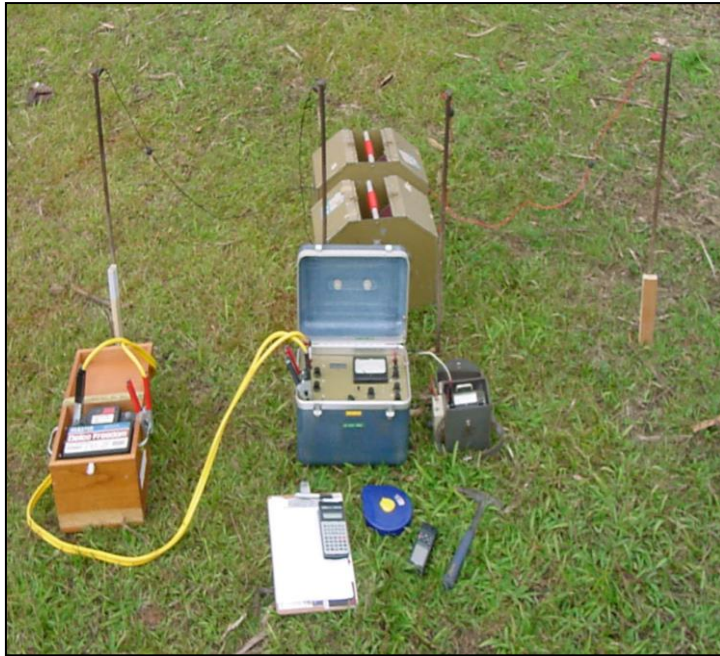
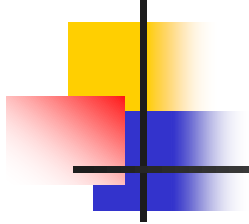


Figura 2.27. Sistema de plotagem da técnica do CE - arranjo Dipolo-Dipolo/Método da Eletroresistividade (ELIS, 1999).



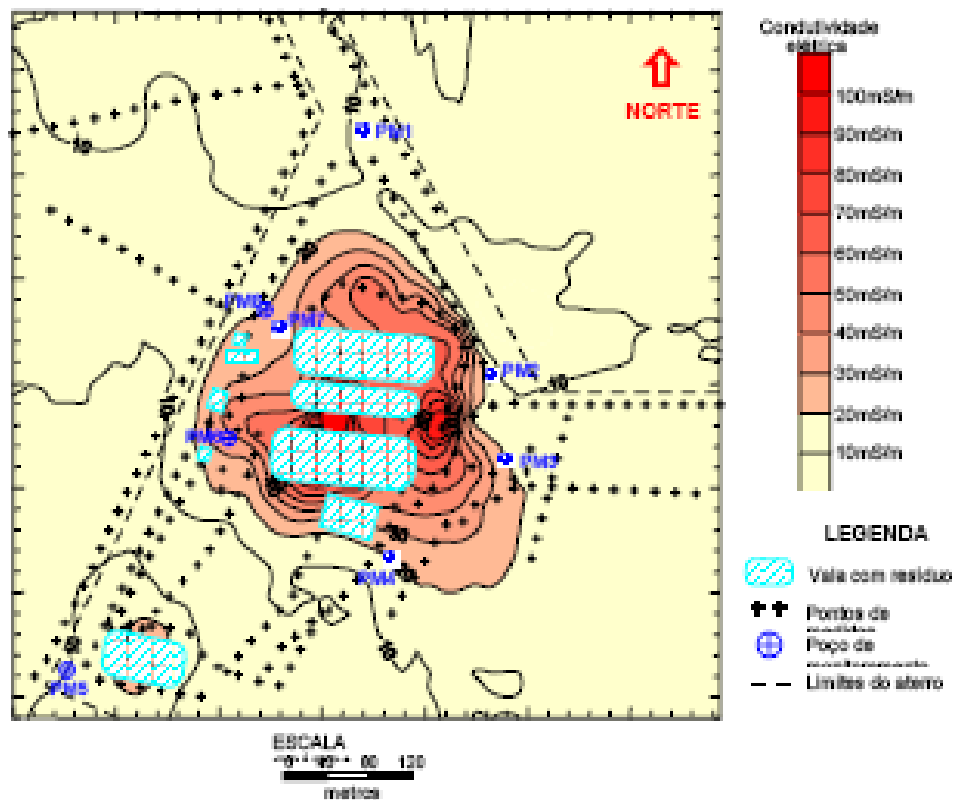


Métodos geoeletricos

- O método eletromagnético indutivo compreende a propagação de campos eletromagnéticos de baixa frequência, que induzem correntes elétricas, que geram um campo secundário, o qual é medido em uma bobina receptora.
- Os ensaios são geralmente realizados em perfil.
- A propriedade física medida é a condutividade elétrica.



Mapa de profundidade de investigação = 15





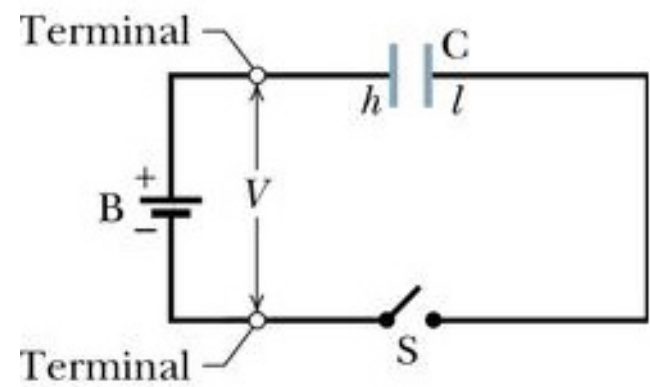
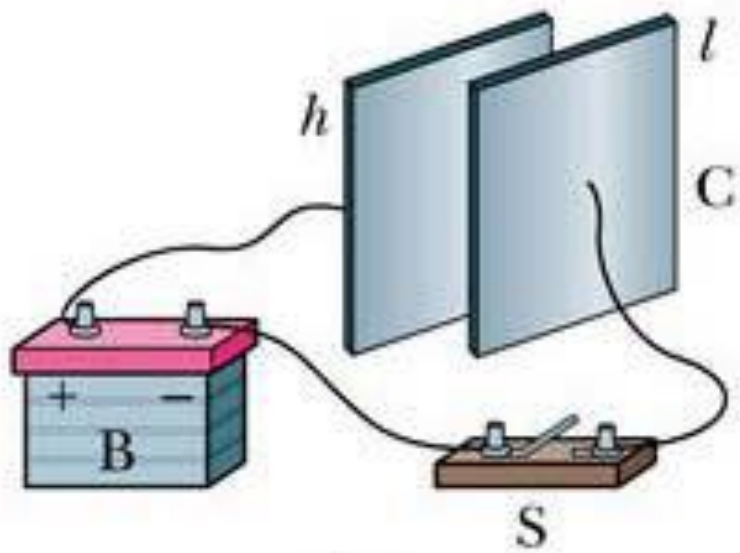
Métodos geoeletricos

- O geo-radar investiga as camadas mais rasas.
- Uma onda eletromagnética de alta frequência é transmitida ao solo; uma antena transmite o sinal eletromagnético e outra recebe os sinais refletidos ou refratados.
- A propriedade física medida é a permissividade dielétrica.



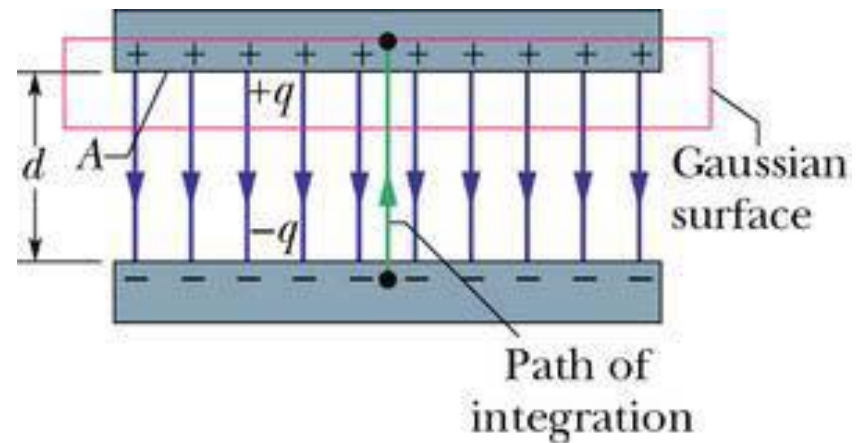
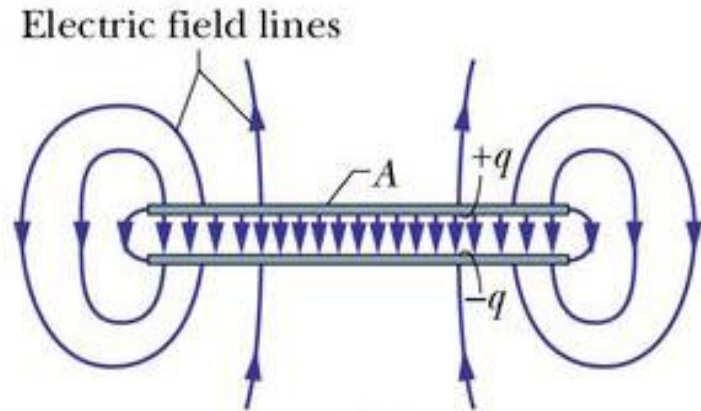
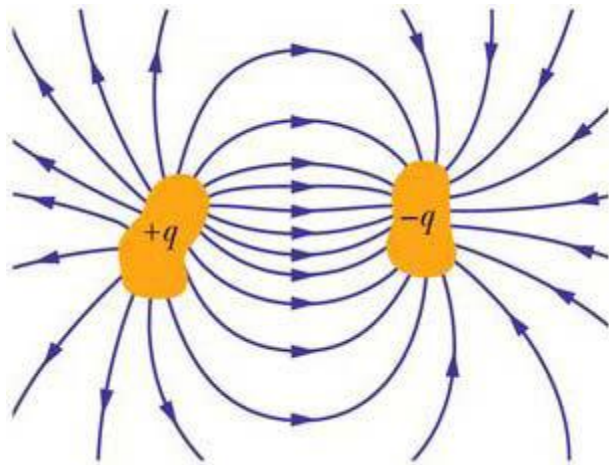
Permissividade elétrica

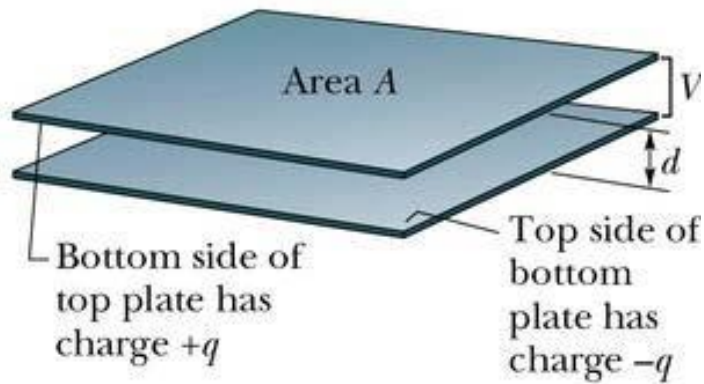
- Constante física que descreve como um campo elétrico afeta e é afetado por um meio. A permissividade do vácuo (ϵ_0) é $8,8541878176 \times 10^{-12}$ F/m.
- Determinada pela habilidade de um material se polarizar em resposta a um campo elétrico aplicado e cancelar parcialmente o campo dentro do material. Por exemplo, em um capacitor uma alta permissividade faz que a mesma quantidade de carga elétrica seja guardada com um campo elétrico menor e, portanto, a um potencial menor, levando a uma maior capacitância do mesmo.



- No momento em que a chave é fechada, elétrons começam a sair da placa h e se acumulam na placa l, depois de passarem pela resistência e pela bateria. A corrente é inicialmente elevada, limitada apenas pela resistência do circuito. Com o tempo a corrente diminui, e após um certo tempo temos uma carga positiva na placa h. Os elétrons se acumulam na placa l com a mesma rapidez que deixam a placa h. Esta transferência de elétrons continua até que a diferença de potencial entre as placas seja exatamente igual à tensão da bateria. O resultado final é uma carga positiva na placa h e uma carga negativa na placa l.

Este elemento, constituído por apenas dois condutores isolados com formato qualquer, separados por um material isolante (no caso o ar), é chamado **CAPACITOR**.





Inicialmente supõe-se que não haja nenhum material entre as placas. Quando um capacitor está carregado, suas placas possuem cargas iguais e opostas, **+ q e -q**. As placas condutoras são superfícies equipotenciais, e há uma diferença ΔV entre elas. A carga e a diferença de potencial para um capacitor são proporcionais: **$q = C.V$** .

A constante de proporcionalidade **C** é a **capacitância** do capacitor, e representa uma medida da quantidade de carga que o capacitor pode armazenar em suas placas. Um capacitor possui uma capacitância de 1 farad se uma carga de 1 coulomb for depositada em suas placas por uma diferença de potencial de um volt entre elas.

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

ϵ_0 = constante de permissividade do vácuo = $8,85 \times 10^{-12}$ F/m

Lei de Gauss (relação entre fluxo elétrico e carga elétrica):

$$q = \epsilon_0 EA$$

Um agente externo deve realizar trabalho para carregar um capacitor. O trabalho necessário para carregar um capacitor é armazenado na forma de energia potencial elétrica U no campo elétrico entre as placas. Esta energia pode ser recuperada a qualquer instante descarregando-se o capacitor em um circuito.

Quando o espaço entre as placas de um capacitor é preenchido com um dielétrico, isto é, com um material isolante, a capacitância aumenta de um fator numérico κ , que Faraday chamou de *constante dielétrica*.

Em uma região completamente preenchida por um material dielétrico de constante dielétrica κ , todas as equações eletrostáticas devem ser modificadas substituindo ϵ_0 por $\kappa \epsilon_0$.

Para uma carga pontual no interior de um dielétrico, o campo elétrico resultante é:

$$E = \frac{1}{4\pi \kappa \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

O efeito de um dielétrico é enfraquecer o campo.

A introdução de um dielétrico entre as placas de um capacitor limita a diferença de potencial que pode ser aplicada entre as placas a um valor máximo V_{max} , chamado *potencial de ruptura*.

Todo material dielétrico possui uma rigidez dielétrica característica, que é o valor máximo de campo elétrico que pode tolerar sem se romper. Valores maiores destroem algumas ligações moleculares internas, possibilitando o aparecimento de uma corrente. Quando a ruptura ocorre, o capacitor passa a ter características semelhantes às de um condutor.

Um exemplo típico de ruptura é o raio que ocorre quando a diferença de potencial entre uma nuvem e a Terra se torna tão grande que pode haver escoamento de cargas de uma para a outra através da atmosfera, que se comporta como um dielétrico.

Pode-se obter valores diferentes de capacitância para o mesmo par de placas paralelas, simplesmente inserindo vários materiais isolantes sobre elas.

Como o material é isolante, os elétrons não conseguem deixar seus átomos e migrar para a placa positiva. Os prótons e elétrons de cada átomo se rearranjam formando dipolos.

Independentemente das moléculas terem momento de dipolo permanente ou não, as moléculas adquirem momento de dipolo por indução quando colocadas num campo elétrico externo. Quando se aumenta a intensidade do campo aplicado, o alinhamento dos dipolos produz um campo elétrico orientado no sentido oposto ao do campo e menos intenso. Quando os dipolos se alinham dizemos que o material está polarizado.

O objetivo do dielétrico é criar um campo elétrico com sentido oposto ao campo criado pelas placas, diminuindo a intensidade do campo quando o dielétrico é introduzido.

Entretanto, com ou sem dielétrico, o campo elétrico total deve permanecer inalterado se a mesma V e a mesma separação d for mantida entre as placas, **$E = V / d$** .

Para garantir que o campo elétrico se mantenha constante, a quantidade de carga nas placas deve aumentar, aumentando conseqüentemente a capacitância, **$C = Q / V$** .

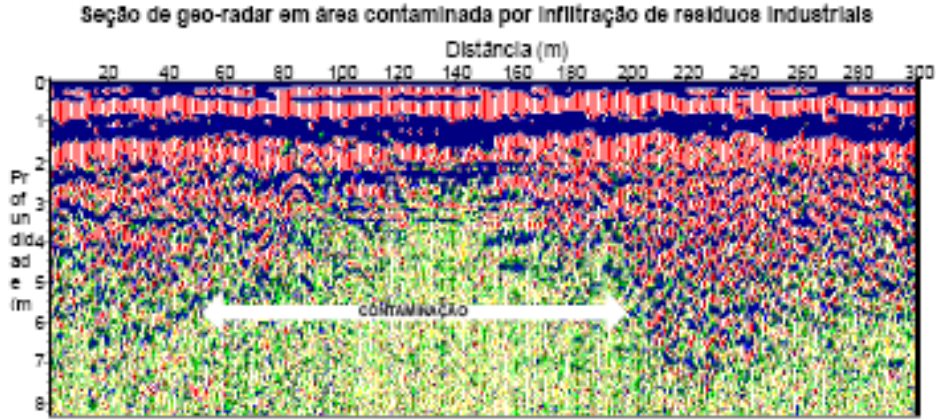
O dielétrico determina o número de linhas de campo elétrico entre as duas placas, e também a densidade de fluxo, isto é, o número de linhas por unidade de área.

A razão entre a densidade de fluxo e a intensidade de campo elétrico é a permissividade do dielétrico ϵ .

A permissividade é uma medida da facilidade com que o dielétrico permite o estabelecimento de linhas de campo em seu interior.

Quanto maior a permissividade, maior a quantidade de carga depositada nas placas .

Geo-radar





Métodos geoeletricos

- A magnetometria mede a suscetibilidade magnética.
- É utilizada na prospecção de materiais magnéticos, como minérios de ferro, ou para detectar tanques e tambores enterrados.

Método	Geo-radar (GPR- Ground Penetrating Radar)	Eletromagnético indutivo (EM)	Eletrorresistividade (ER)	Magnetometria
Propriedade física	Permissividade dielétrica	Condutividade elétrica	Resistividade elétrica	Suscetibilidade magnética
Princípio	Análise da onda eletromagnética refratada e refletida	Análise da indução de campo eletromagnético no subsolo	Análise da injeção de corrente no solo	Determinação de anomalias de materiais ferromagnéticos
Equipamento	Geo-radar e Antenas	Conditivímetros	Resistivímetro	Magnetômetro
Características	Método de maior definição Detecção de qualquer objeto enterrado	Caminhamentos	Sondagem elétrica vertical – Arranjo Schlumberger Caminhamento elétrico – Arranjo dipolo-dipolo	Detecção e quantificação de objetos metálicos
Profundidade de investigação	Até 30 m	Até 60m	100 m ou mais	Até 20 m
Suscetibilidade de interferências	Rede elétrica Objetos metálicos próximos	Rede elétrica Objetos metálicos próximos	Mau contato dos eletrodos com o solo Outras correntes elétricas no solo	Linhas de alta tensão Objetos metálicos próximos

Método	Geo-radar	Eletromagnético indutivo	Eletrorresistividade	Magnetometria
Caracterização geológica e hidrogeológica	Adequado	Alternativo	Adequado	Não se utiliza
Mapeamento de pluma de contaminação inorgânica	Alternativo	Adequado	Alternativo	Não se utiliza
Localização de valas de resíduos e determinação dos limites de aterros e lixões	Adequado	Adequado	Alternativo	Não se utiliza
Investigação de resíduos e pluma orgânica	Adequado	Alternativo	Alternativo	Não se utiliza
Deteccão de objetos metálicos enterrados	Adequado	Alternativo	Não se utiliza	Adequado

Método	Geo-radar	Eletromagnético indutivo	Eletrorresistividade	Magnetometria
Argilas	-	-	X	X
Rochas arenosas	XX	XX	X	-
Rochas não consolidadas e materiais intemperizados	XX	XX	XX	-
Rochas fraturadas	-	XX	-	-
Áreas cársticas	XX	-	-	-



Piezocone de resistividade

- O ensaio de penetração com cone é bastante difundido na Geotecnia para identificação do perfil geotécnico e para a estimativa de parâmetros de projeto.
- CPT – Ensaio de Penetração Estática (EPE), Deep Sounding, Ensaio do Cone (Holandês).
- O ensaio consiste em cravar no solo uma ponteira cônica conectada a um conjunto de hastes a uma velocidade constante de 2 cm/s;
- A resistência à penetração do cone é medida continuamente por meio de células de carga alojadas na ponta do cone (resistência de ponta) e em uma luva de atrito (atrito lateral local).



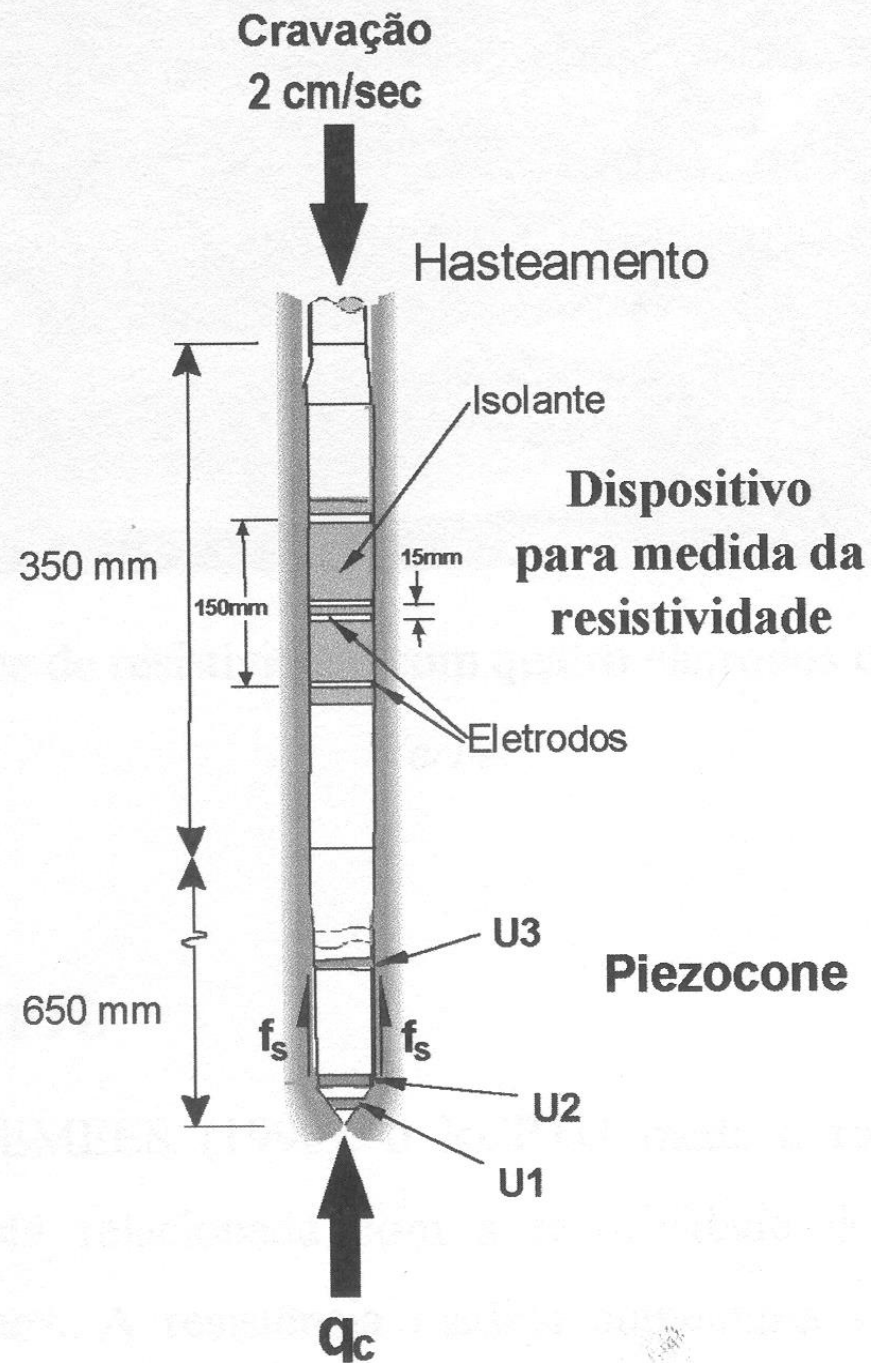
Piezocone de resistividade

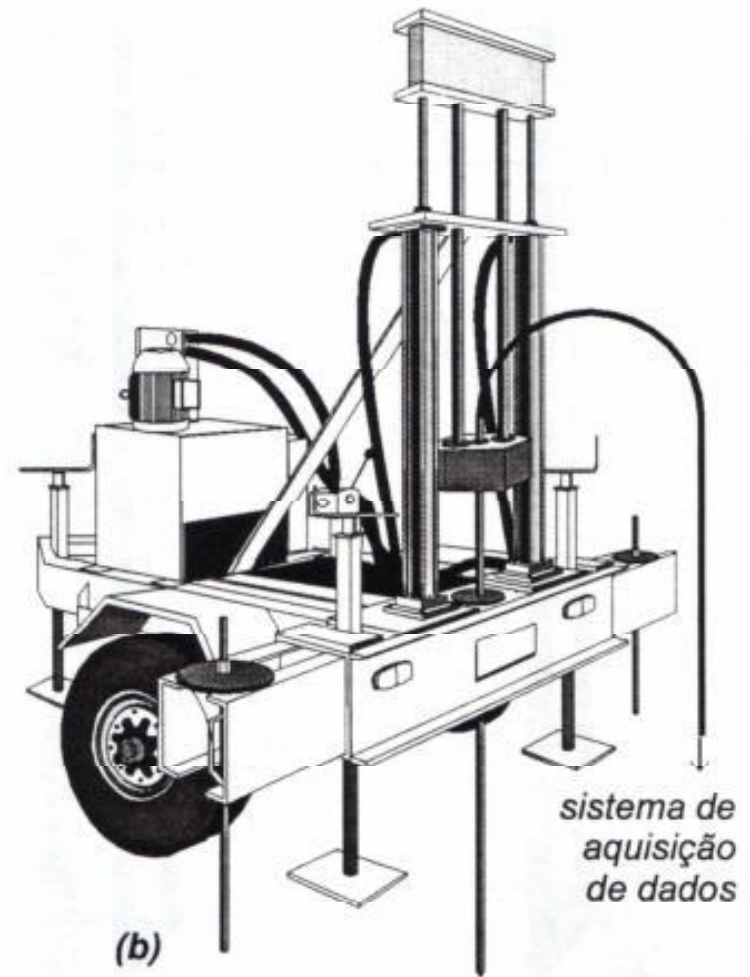
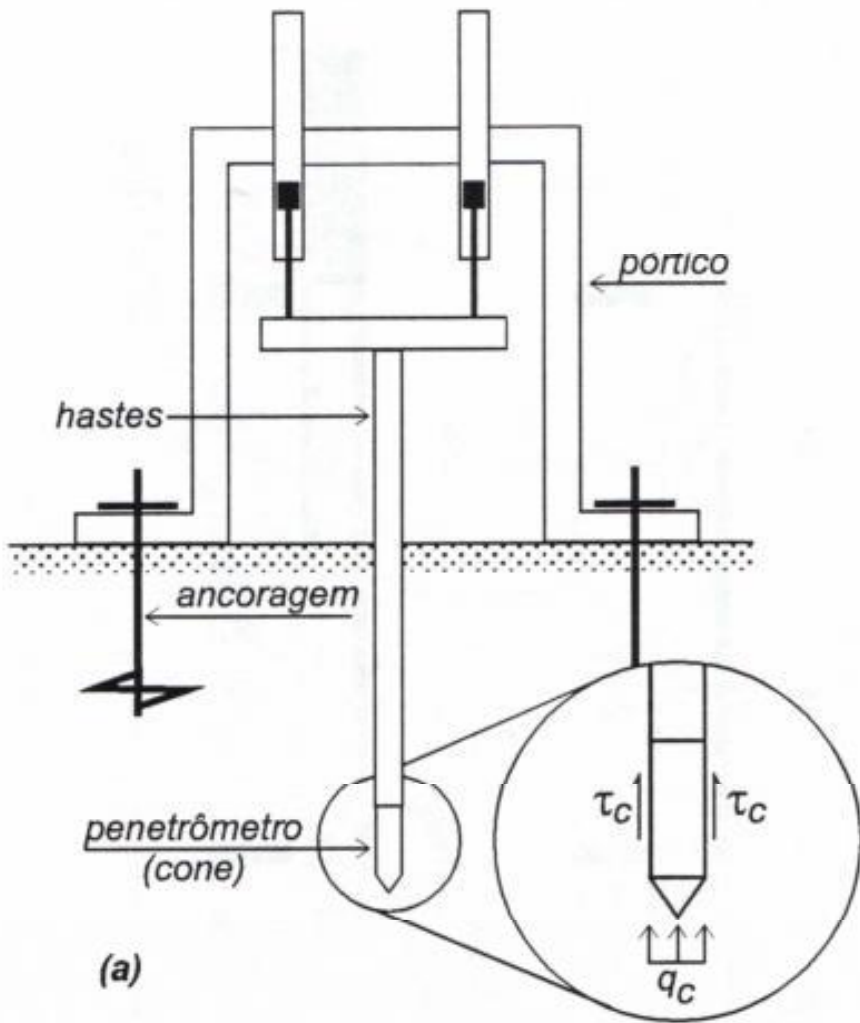
- Sinais transmitidos por cabo que passa pelo interior das hastes de cravação do cone.
- Cone: área da seção transversal de 10 cm^2 e ângulo de 60° .
- Pressão neutra: pedra porosa na ponta e transdutores de pressão.
- Piezocone (CPTU).

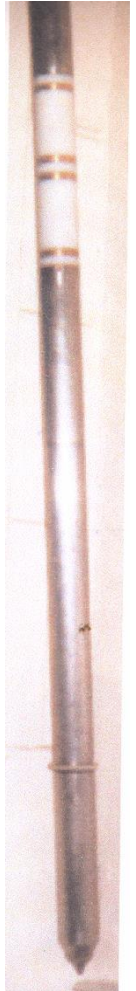
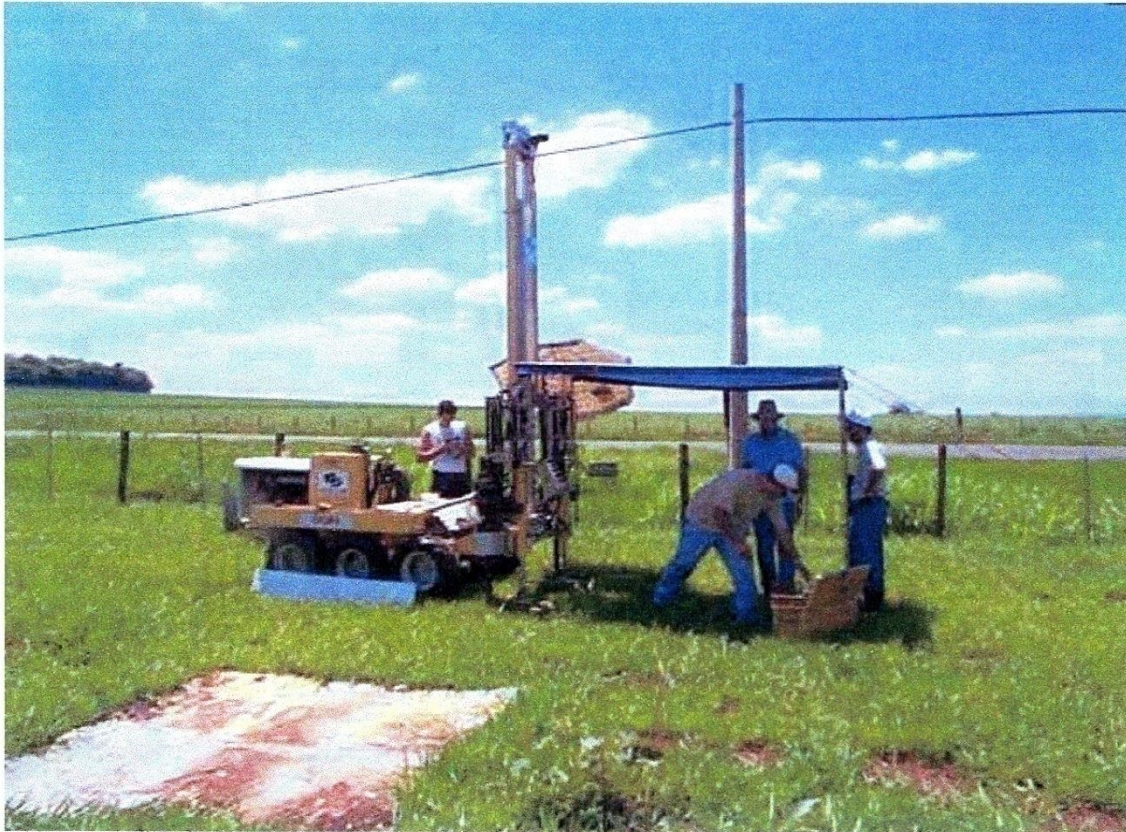
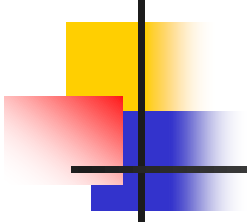


Piezocone de resistividade

- O piezocone de resistividade (RCPTU) é um piezocone padrão acrescido de um módulo que permite medir continuamente a resistência a um fluxo de corrente elétrica aplicada ao solo.
- A adição do módulo de resistividade proporciona a aplicação de um método geofísico que permite detectar a presença ou estimar a concentração de certas substâncias presentes nas águas subterrâneas. A resistividade é sensível a sais dissolvidos e a contaminantes orgânicos de baixa solubilidade.
- Outros acessórios: sensor de temperatura, emissão de nêutrons e radiação gamma (teor de umidade, densidade, contaminantes radioativos), pH, SCAPS (detecção de constituintes de produtos combustíveis e de óleos), potencial de redução de oxigênio (controle de atividade biológica), vídeo e outros.







Test parameters

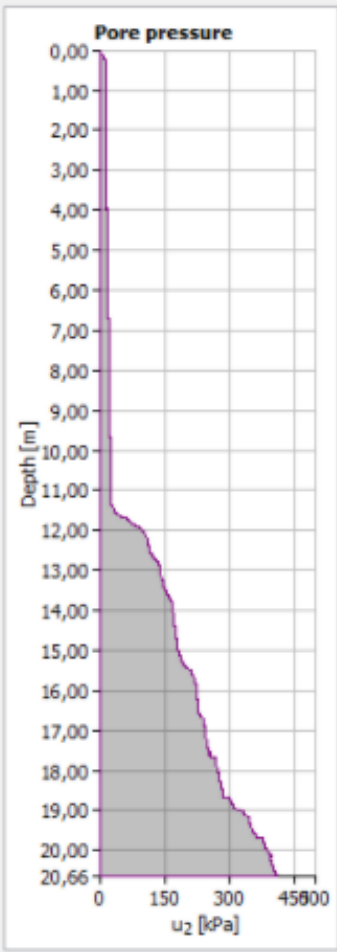
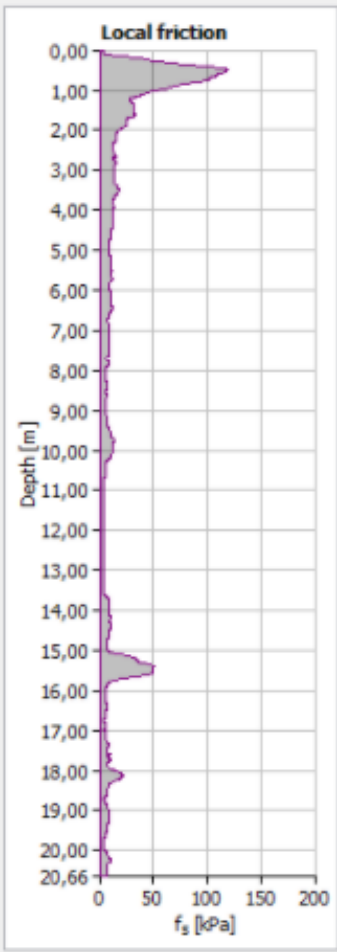
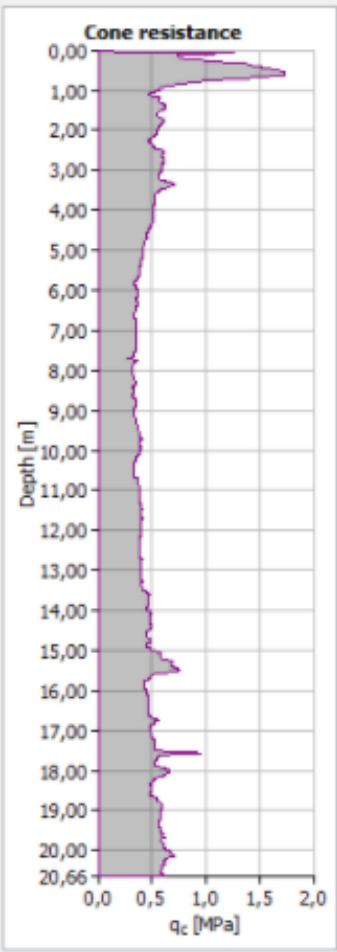
Name of test : CPT 1 test

Depth of the 1st point from original terrain : $d_1 =$ [m]

Points of test

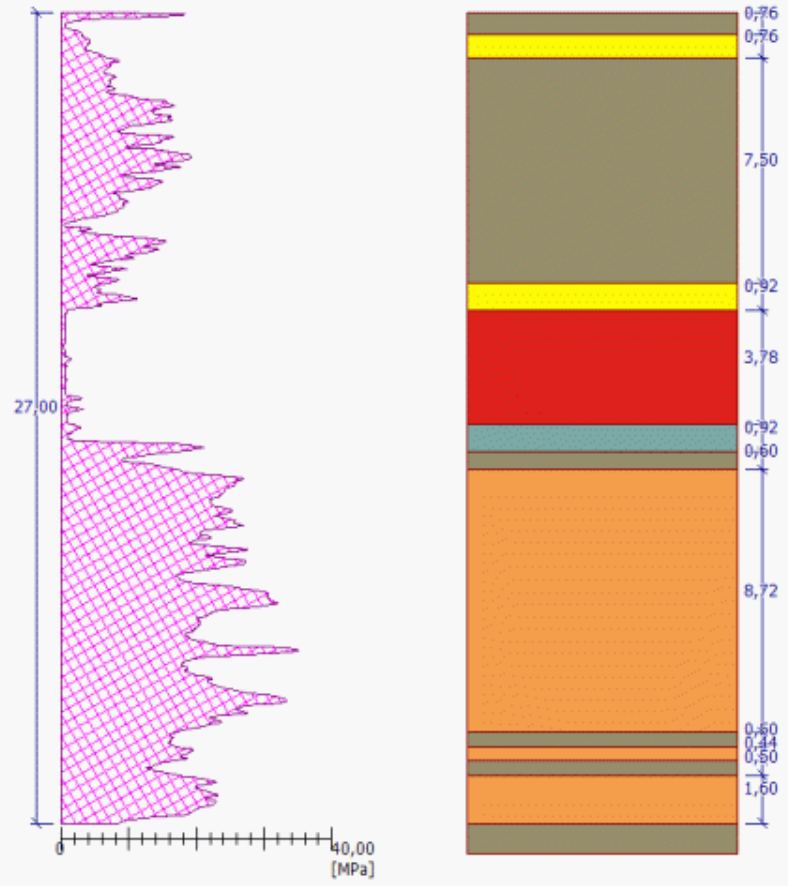
Number of point	Depth d [m]	Cone resistance q_c [MPa]	Local friction f_s [kPa]	Pore pressure u_2 [kPa]
> 1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,01	0,02	4,00	0,00
3	0,02	0,03	4,00	0,00
4	0,03	0,05	4,01	0,00
5	0,04	0,23	4,01	0,09
6	0,05	0,65	4,03	0,18
7	0,06	1,24	4,03	0,54
8	0,07	1,26	4,07	2,33
9	0,08	1,22	4,10	2,51
10	0,09	0,96	4,16	4,04
11	0,10	0,82	4,23	4,75
12	0,11	0,76	4,23	5,20
13	0,12	0,73	7,62	6,37
14	0,13	0,73	14,89	8,79
15	0,14	0,73	17,24	9,60
16	0,15	0,73	19,75	10,04
17	0,16	0,73	22,75	10,40
18	0,17	0,75	29,17	10,85
19	0,18	0,77	31,91	11,03
20	0,19	0,78	35,11	11,12
21	0,20	0,78	37,36	11,39
22	0,21	0,79	39,48	11,57
23	0,22	0,80	40,65	11,75

+ Add



2D
3D
Zoom
Pan
Reset
Settings

Classificação do solo CPT : DKM 27



- Sensitive fines
- Silty sand to sandy silt
- Sand, silty sand
- Sand
- Gravelly sand to sand

Modos

- Projeto
- Configurações
- Teste CPT
- GWT
- Classificação do solo
- Perfil
- Solos
- Atribuir
- Construção
- Geometria
- Capacidade de carga
- Assentamento

CPT para a classificação : DKM 27
Método de classificação : Robertson 1986
Coeficiente do penetrômetro : $\alpha = 0,75$ [-]
Peso específico γ : entrada 19,00 [kN/m³]
Espessura mínima da camada : h = 0,30 [m]

Resultados

Adicionar imagem

Classificação do solo : 0
Total : 0

Lista de imagens



Exemplo

- Aterro Sanitário de Bauru
- (Mondelli 2004)
- Eletrorresistividade: sondagens elétricas verticais e caminhamentos elétricos
- Piezocone de resistividade

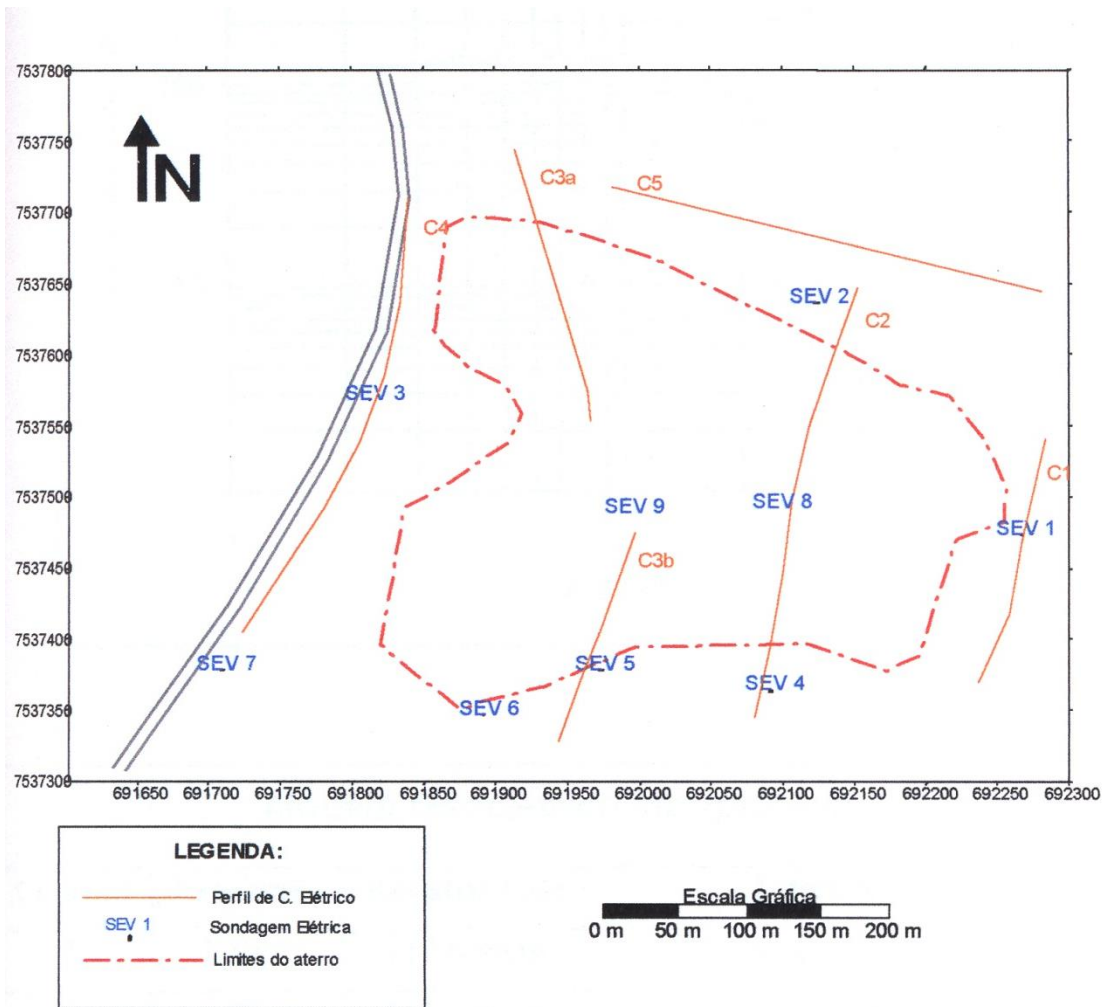
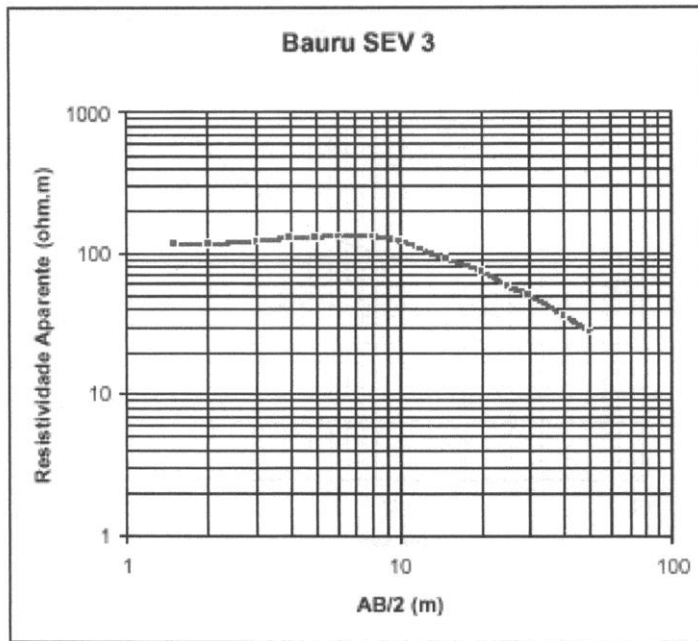


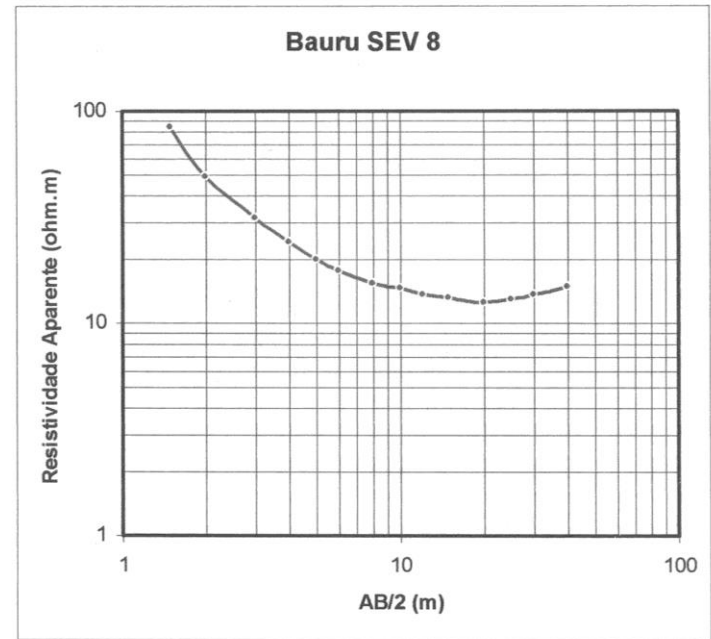
Figura 4.8. Mapa de localização dos ensaios geofísicos realizados no aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru (LAGO, 2004).



Modelo Geoelétrico Interpretado

Camada	Espessura	Resistividade	Interpretação
1	1.59 m	112 ohm.m	Solo Superficial
2	5.93 m	151 ohm.m	Solo Não-Saturado
3	2.61 m	81.3 ohm.m	Zona de Capilaridade
4		22.3 ohm.m	Zona Saturada

Jusante da cava de resíduos



Modelo Geoelétrico Interpretado

Camada	Espessura	Resistividade	Interpretação
1	0.73 m	166 ohm.m	Material de cobertura do aterro
2	4.05 m	18.8 ohm.m	Resíduos
3	16.4 m	10.4 ohm.m	Resíduos + chorume
4		28.9 ohm.m	Base da cava

Dentro da cava de resíduos

Lixão de Ribeirão Preto (Mondelli, 2004)

Montante da cava				Dentro da cava			
Camada	Espessura	Resistividade	Interpretação	Camada	Espessura	Resistividade	Interpretação
1	0,7 m	314 ohm.m	Solo superficial	1	1,2 m	58 ohm.m	Cobertura do aterro
2	1,7 m	1724 ohm.m		2	2,6 m	86 ohm.m	
3	2,6 m	224 ohm.m	Solo não saturado	3	10,2 m	7 ohm.m	Resíduos + chorume
4	16,9 m	2328 ohm.m		4		367 ohm.m	
5	1,2 m	908 ohm.m	Zona de capilaridade				
6		88 ohm.m	Zona saturada				

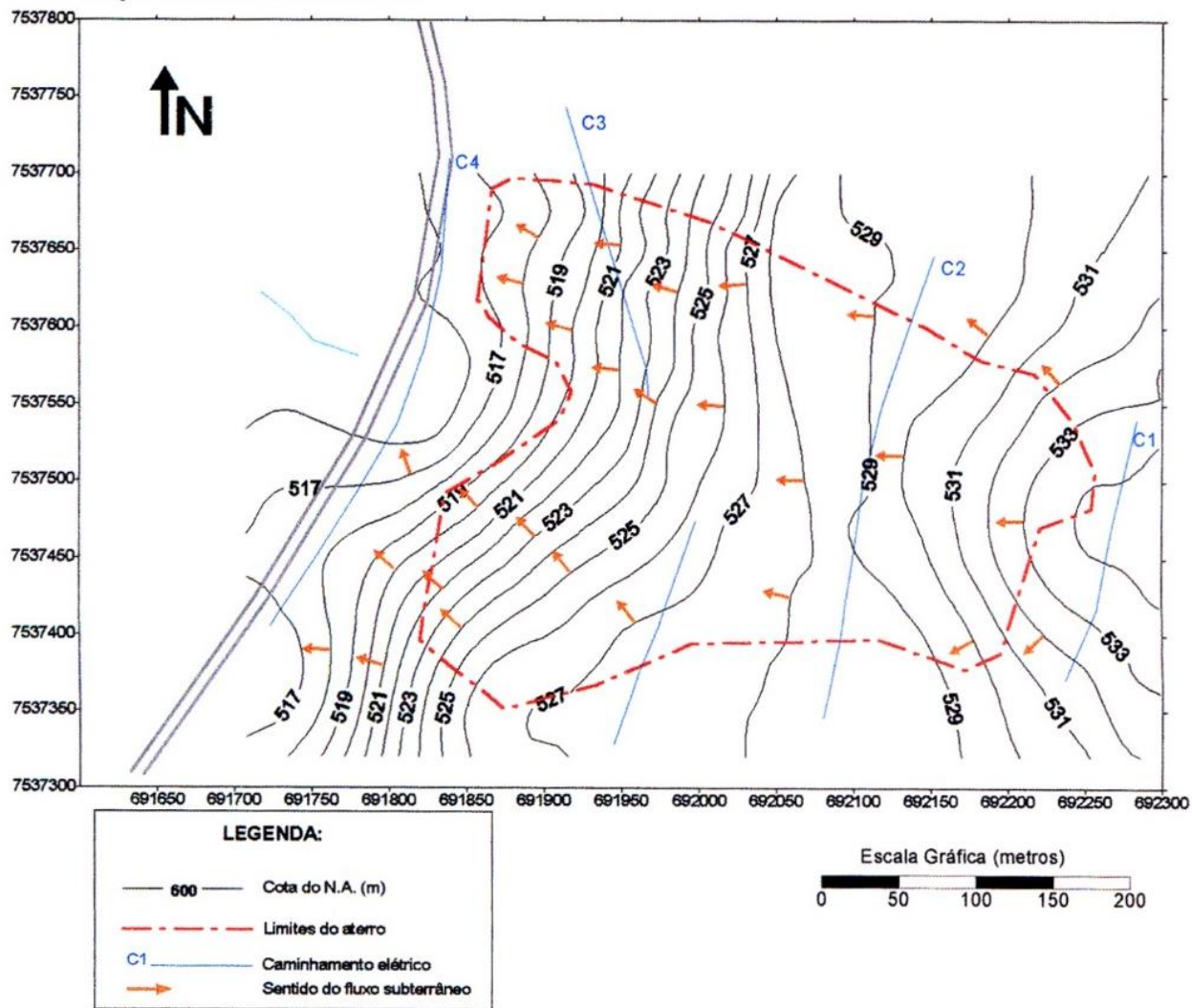


Resultados das sondagens elétricas de superfície

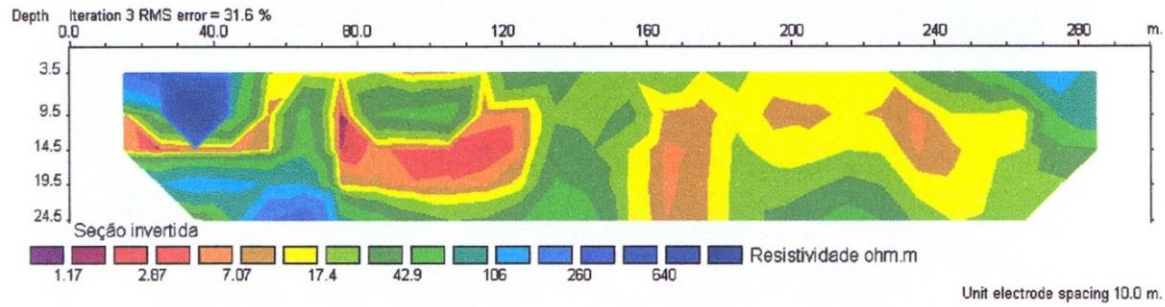
- Fora da cava: dados sobre nível d'água e posicionamento dos diversos materiais; resultados auxiliaram a elaboração do mapa de fluxo subterrâneo
- Dentro da cava: espessura da cava (resistividade baixa).

Aterro Sanitário de Bauru

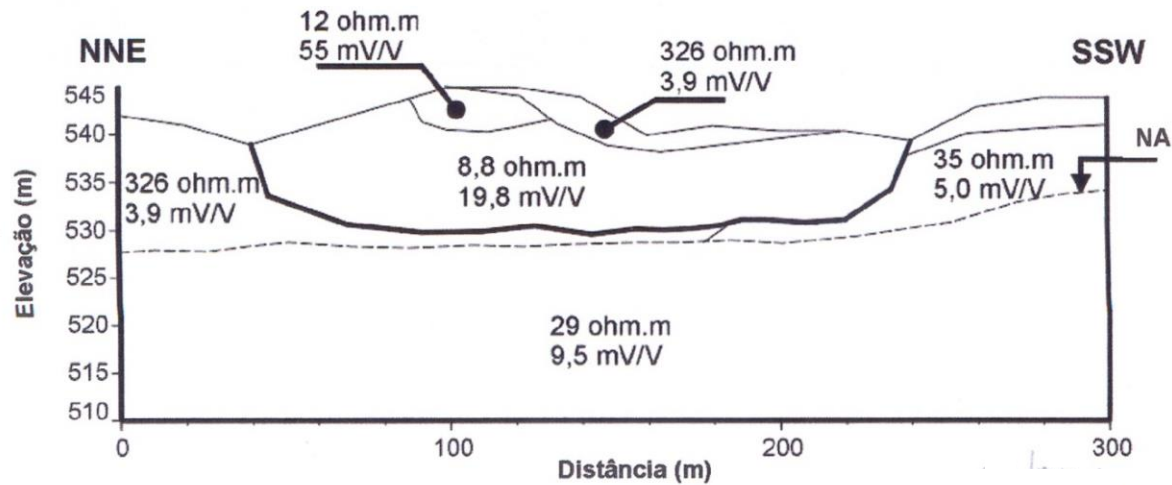
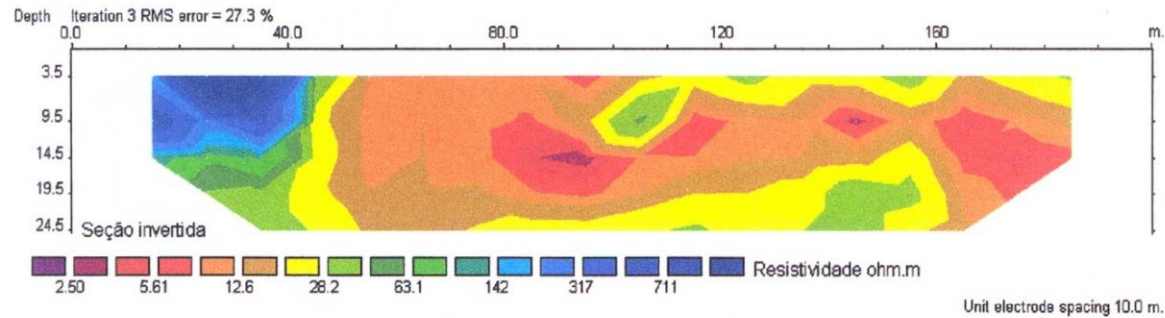
Mapa de Fluxo Subterrâneo



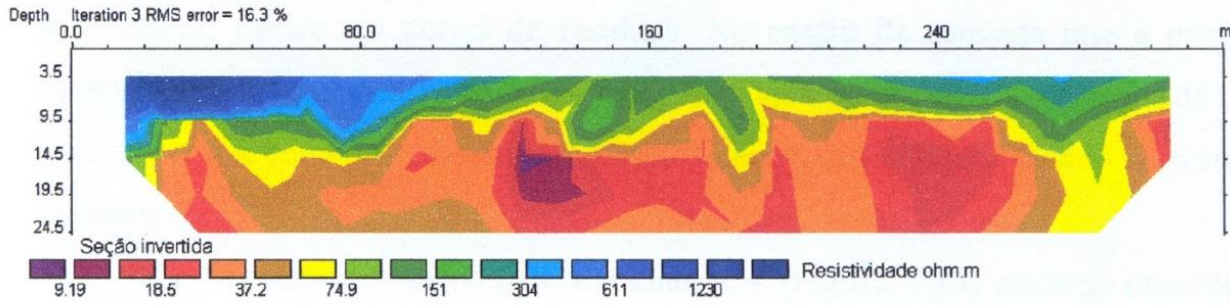
Linha C2 – Fase 1



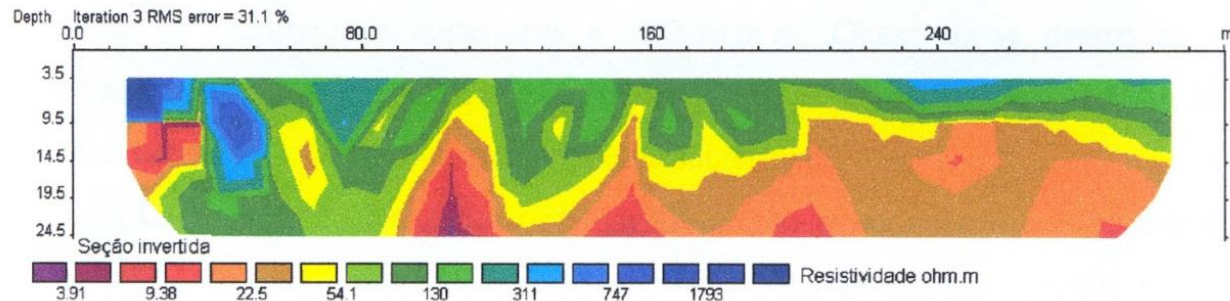
Linha C2 – Fase 2



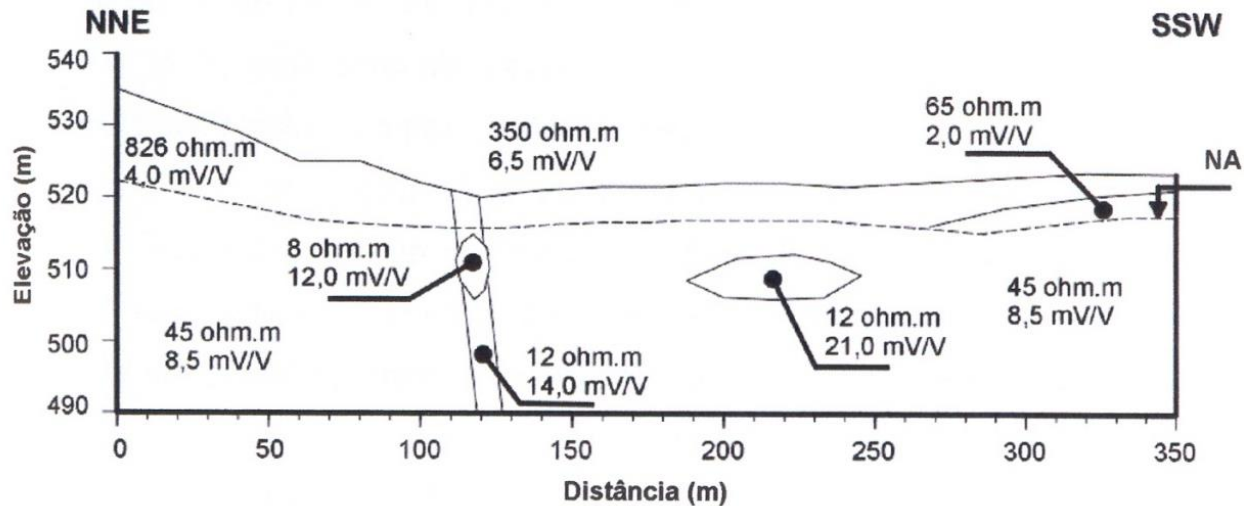
Linha C4 – Fase 1



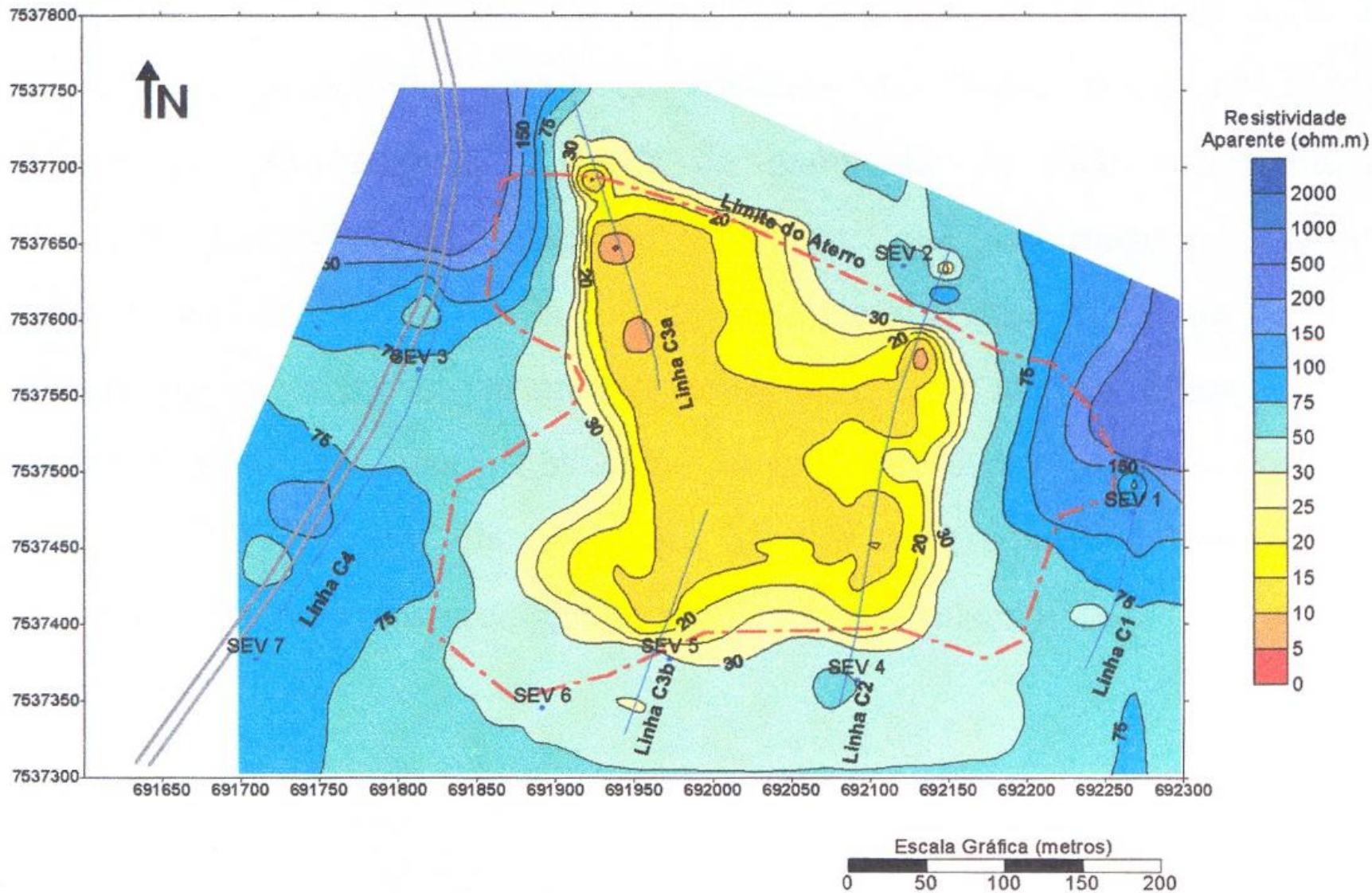
Linha C4 – Fase 2



Unit electrode spacing 10.0 m.



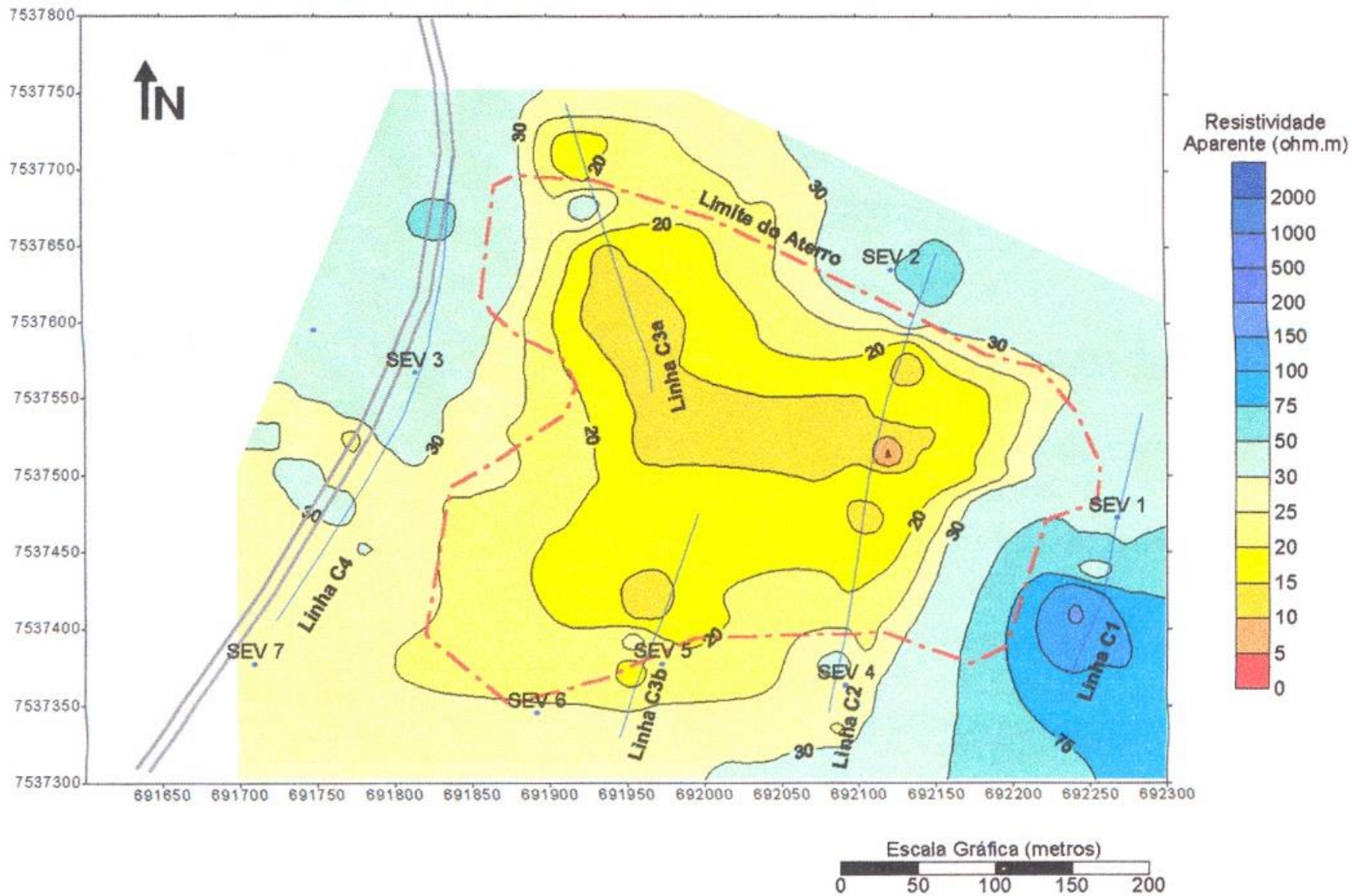
Aterro Sanitário de Bauru
Mapa de Resistividade Aparente
Nível Teórico 15 metros



Aterro Sanitário de Bauru

Mapa de Resistividade Aparente

Nível Teórico 30 metros



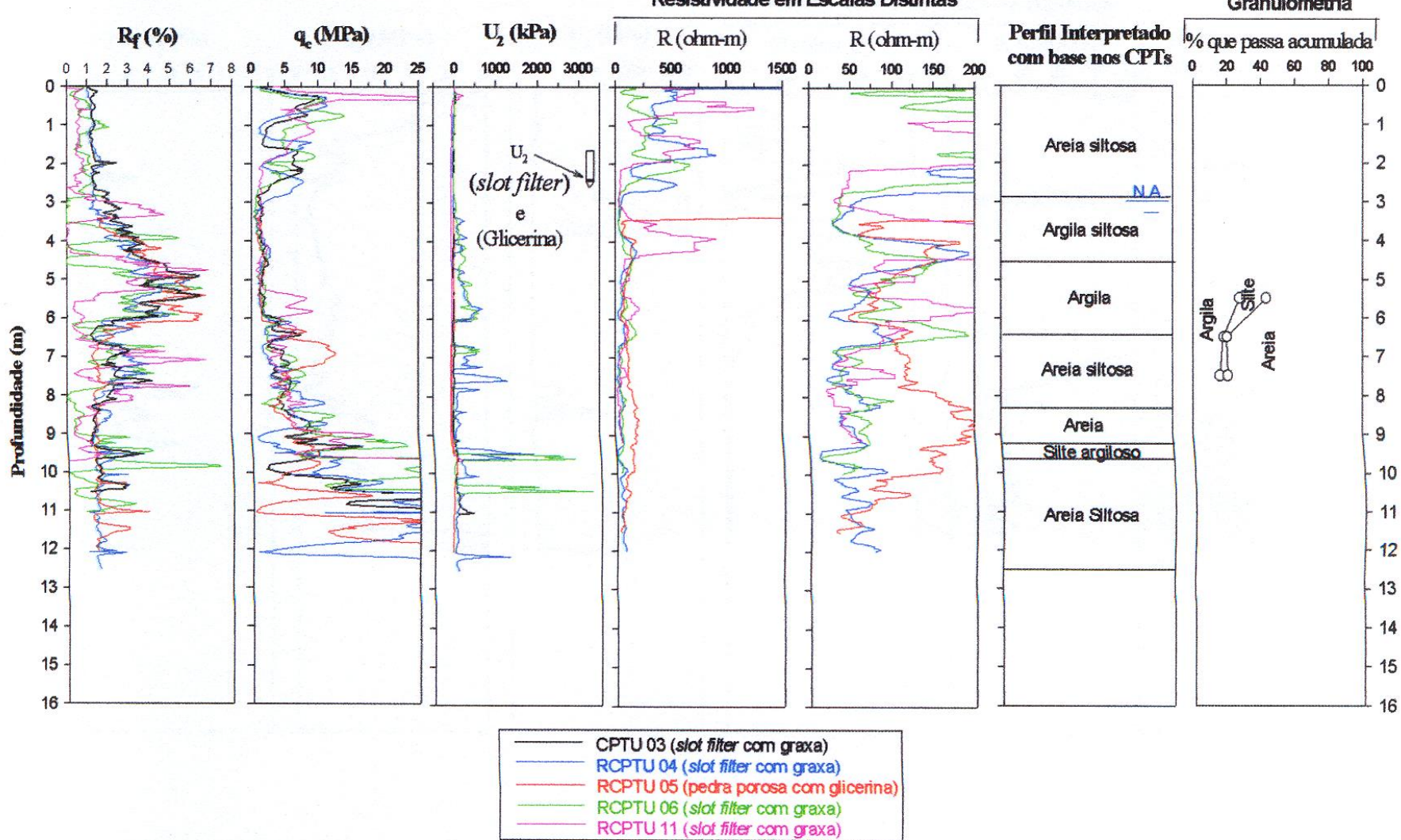


Figura 4.25. Resultados dos ensaios de piezocone CPTU 03, RCPTU 04, 05, 06 e 11 realizados à jusante do aterro e no entorno do poço de monitoramento temporário

PT-1.

Aterro Sanitário de Bauru
Mapa de Resistividade Aparente
Nível Teórico 15 metros

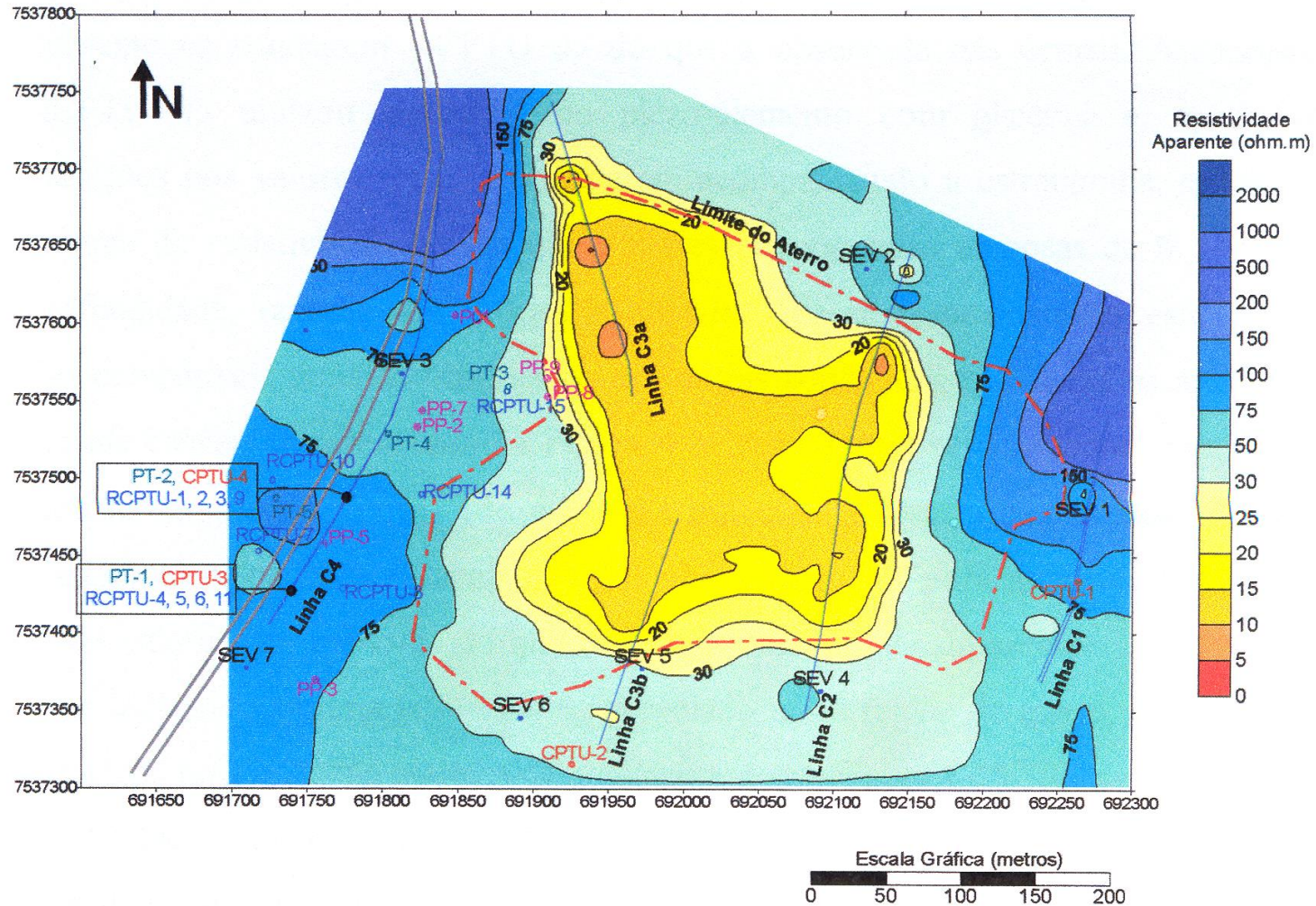


Figura 4.35. Mapa de resistividade do nível teórico 15 m do aterro de resíduos sólidos de Bauru. As regiões com valores de resistividade menores que 75 ohm.m indicam a contaminação da zona saturada.



Referências

- ABNT (1983). NBR-8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios.
- ABNT (2001). NBR-6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.
- ALMEIDA, M.S.S.; MIRANDA NETO, M.I. (2003). Investigação e monitoramento de áreas contaminadas. REGEO'2003 – V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental / GEOSSINTETICOS'2003 – IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Anais, volume único, pp. 303-317, Porto Alegre.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1999). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp.
- ELIS, V.R. (1999) Avaliação da Aplicabilidade de Métodos Elétricos de Prospeção Geofísica no Estudo de Áreas utilizadas para Disposição de Resíduos. Tese de Doutorado, UNESP.
- GIACHETTI, H.L.; ELIS, V.R.; MIO, G.; CAVALCANTE, E.H. (2006). Ensaio de campo na investigação geotécnica e geoambiental. COBRAMSEG ´ 2006 – XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Anais, Volume de palestras, pp. 1–24, Curitiba.
- MONDELLI, G. (2003). Investigação geoambiental em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos utilizando a tecnologia do piezocone. Dissertação de mestrado, 264 p., Escola Politécnica da USP, São Paulo.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA (2007). A Geofísica. Disponível em <http://www.sbgf.org.br/geofisica/geofisica.html>.
- UFSCAR (2009). Curso de Física III-Eletromagnetismo. Disponível em [ww.df.ufscar.br/Capacitancia.pdf](http://www.df.ufscar.br/Capacitancia.pdf)