

Mapeamento contaminação do solo com geofísica

Vagner Roberto Elis
Departamento de Geofísica
IAG - USP

Maio de 2013

AGENTES CAUSADORES DE POLUIÇÃO

A crescente produção de resíduos industriais e urbanos vem gerando problemas em todo o mundo, no sentido de sua destinação final. Como citado anteriormente, normalmente os rejeitos sólidos são concentrados, e os líquidos tratados e diluídos, sendo em seguida colocados no ambiente sob alguma forma de disposição.

Essa forma de disposição, se não observar as características do ambiente e não obedecer técnicas seguras de instalação e manejo, pode causar poluição ambiental.

Principais Fontes de Contaminação

- Áreas de disposição de resíduos sólidos (urbanos e industriais);
- Lagoas de tratamento de efluentes industriais;
- Disposição de esgoto;
- Disposição de resíduos radioativos;
- Atividades agrícolas;
- Vazamentos de petróleo e derivados;
- Rejeitos de atividades mineradoras.

O PROBLEMA DO AUMENTO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O aumento da urbanização vem gerando um crescimento na produção de resíduos industriais e urbanos dos mais variados tipos. Esses resíduos compreendem uma extensa gama de substâncias químicas e são dispostos no ambiente, muitas vezes, de forma totalmente inadequada, sem observar critérios mínimos para a proteção do ambiente.

As áreas destinadas a disposição dos mais variados tipos de resíduos necessitam, portanto, ser instaladas em locais com determinadas características que evitem a entrada de substâncias contaminantes no ambiente natural.

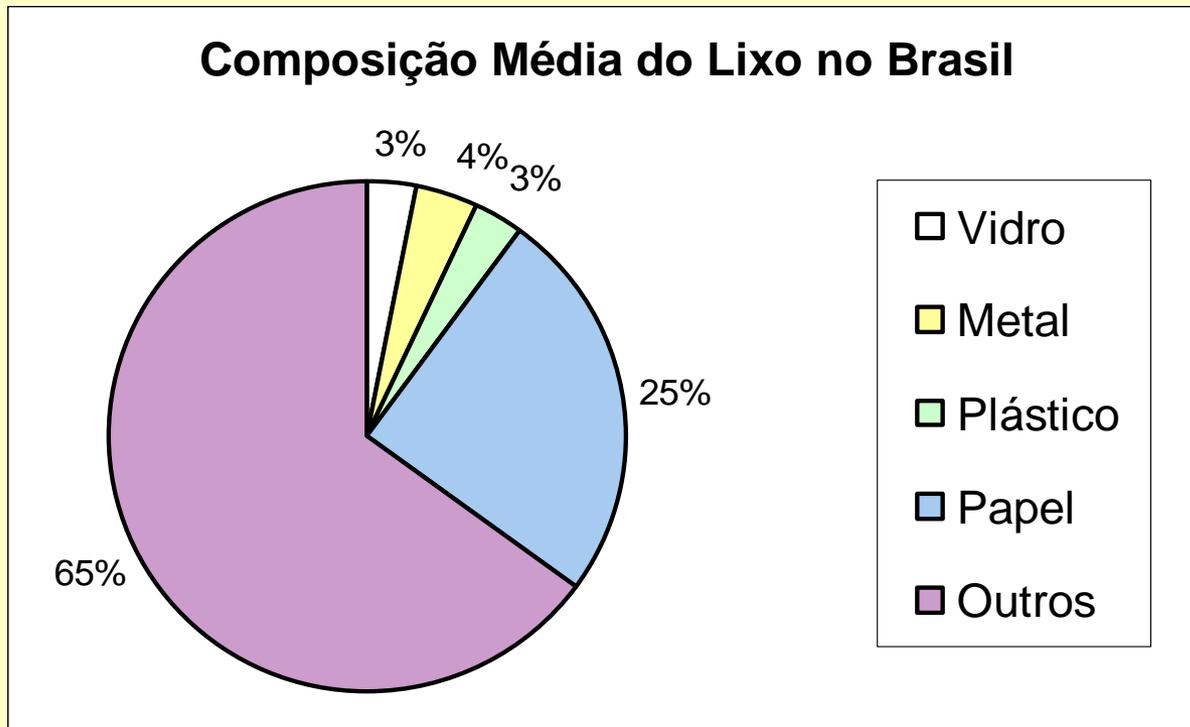
Um problema que ocorre atualmente em algumas grandes cidades brasileiras é a escassez de áreas com características adequadas para receber os resíduos.

São Paulo



Rio de Janeiro





Apenas uma parcela de 35% representa material potencialmente reciclável.

O restante do material (65%) é constituído por resíduos orgânicos (restos de animais mortos, alimentos, restos de podas de árvores e mato), rejeitos inertes de difícil reciclagem (entulho, por exemplo), lixo hospitalar e outros resíduos domésticos variados (óleos lubrificantes, tintas, pesticidas, etc.)

ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Como visto, somente uma pequena parcela dos resíduos coletados pode ser reaproveitada. O restante precisa ser colocado em um local adequado, o que na maioria das vezes não acontece.

- A disposição final dos resíduos sólidos urbanos é de responsabilidade dos órgãos governamentais, no caso, as **prefeituras municipais**.
- Esses órgãos na maioria das vezes não tratam de forma adequada os **resíduos gerados no município**, não observando as limitações impostas pelo **ambiente** e desobedecendo regras e técnicas de manejo adequado do local de disposição.
- É justamente esse descaso e a opção por alternativas de disposição de baixo custo - **lixões a céu aberto**, e em alguns casos a disposição de resíduos industriais juntamente com os domésticos - que fazem das áreas de disposição de resíduos urbanos uma das principais fontes (se não a principal) de poluição no Brasil.
- De acordo com IBGE (in IPT, 1995), o brasileiro convive com a maioria do lixo que produz, que em 1991 atingia cerca de 250 mil toneladas produzidas por dia.

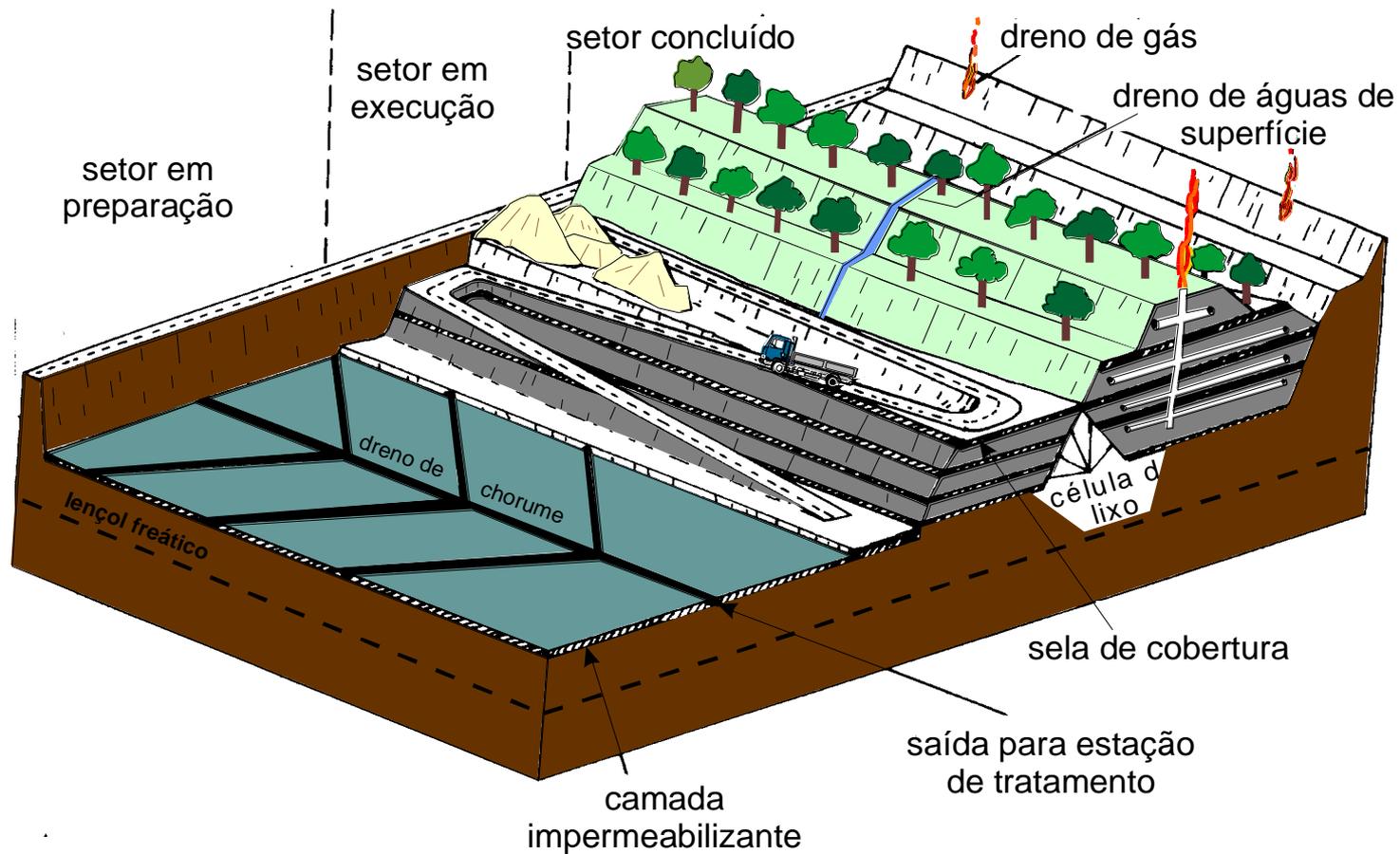
Lixão ou vazadouro



IPT/CEMPRE. 1995. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.
Publicação IPT no. 2163, Fig. 2, Pg 76.

Local inadequado sob todos os aspectos

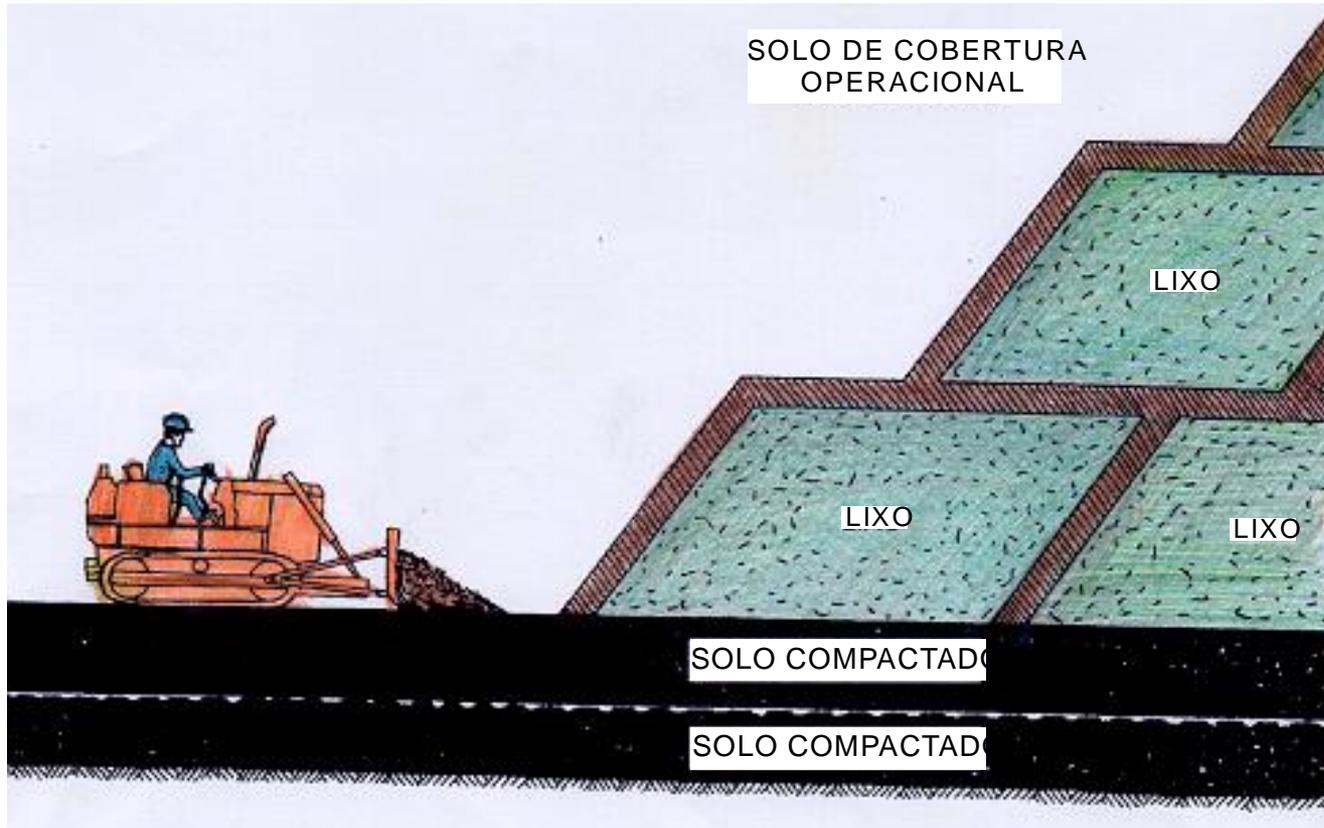
ATERRO SANITÁRIO



GERVASONI, S. 1991 in IPT/CEMPRE. 1995. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. Publicação IPT 2163. Fig. 1, Pg 75.

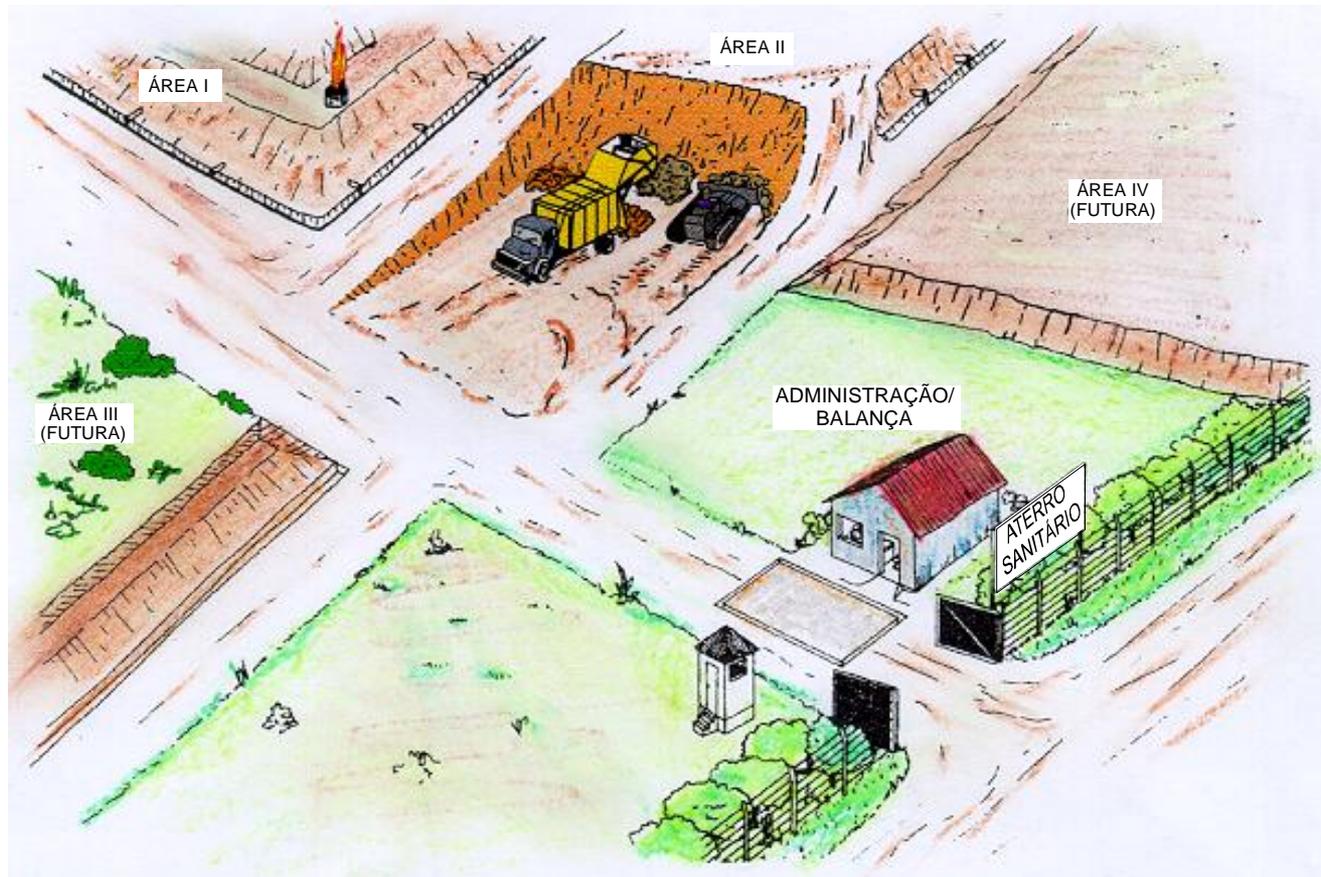
Forma de disposição de resíduos instalada em local com características favoráveis e que segue normas técnicas de instalação e operação

IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE (FUNDAÇÃO) DO ATERRO SANITÁRIO

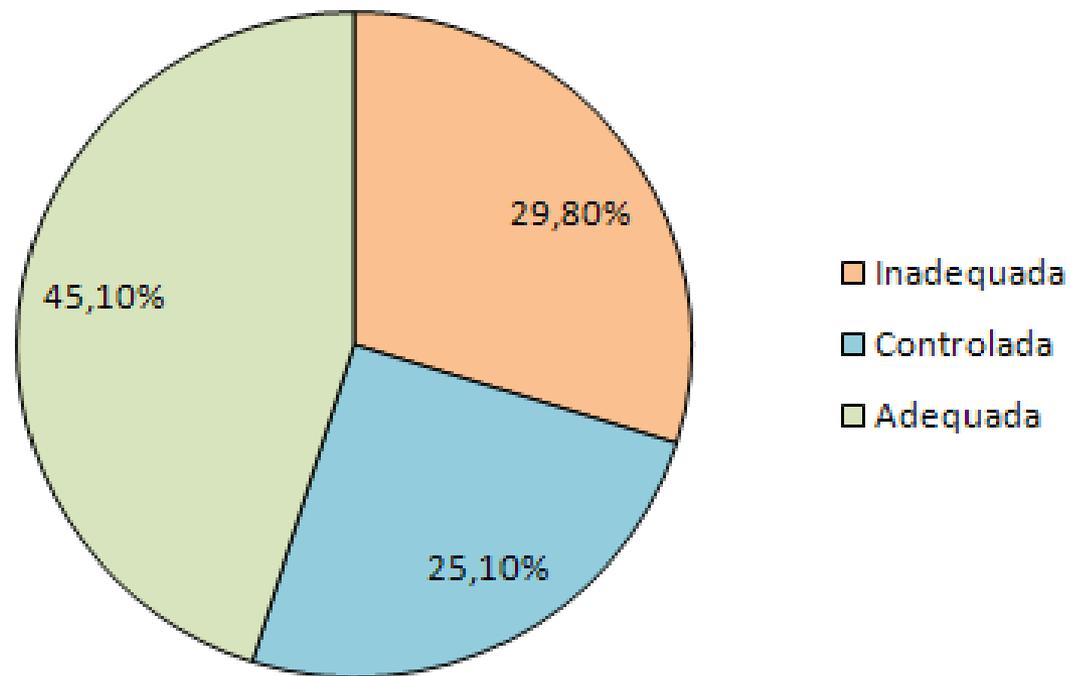


IPT/CEMPRE. 1995. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.
Publicação IPT no. 2163. Fig. 9, Pg 91.

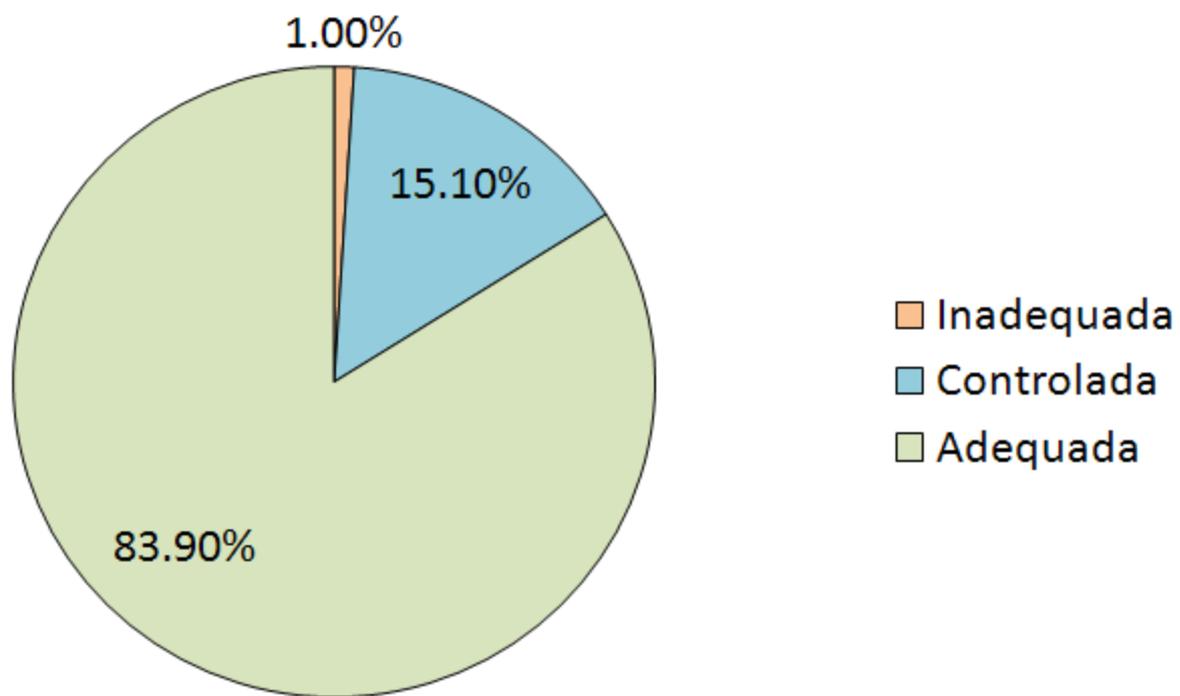
ASPECTOS OPERACIONAIS DO ATERRO SANITÁRIO COM CRITÉRIOS DE ÁREA, RECEBIMENTO DOS RESÍDUOS, INSPEÇÕES, MANEJO ADEQUADO E COBERTURA DIÁRIA



Situação das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo (CETESB, 2002)



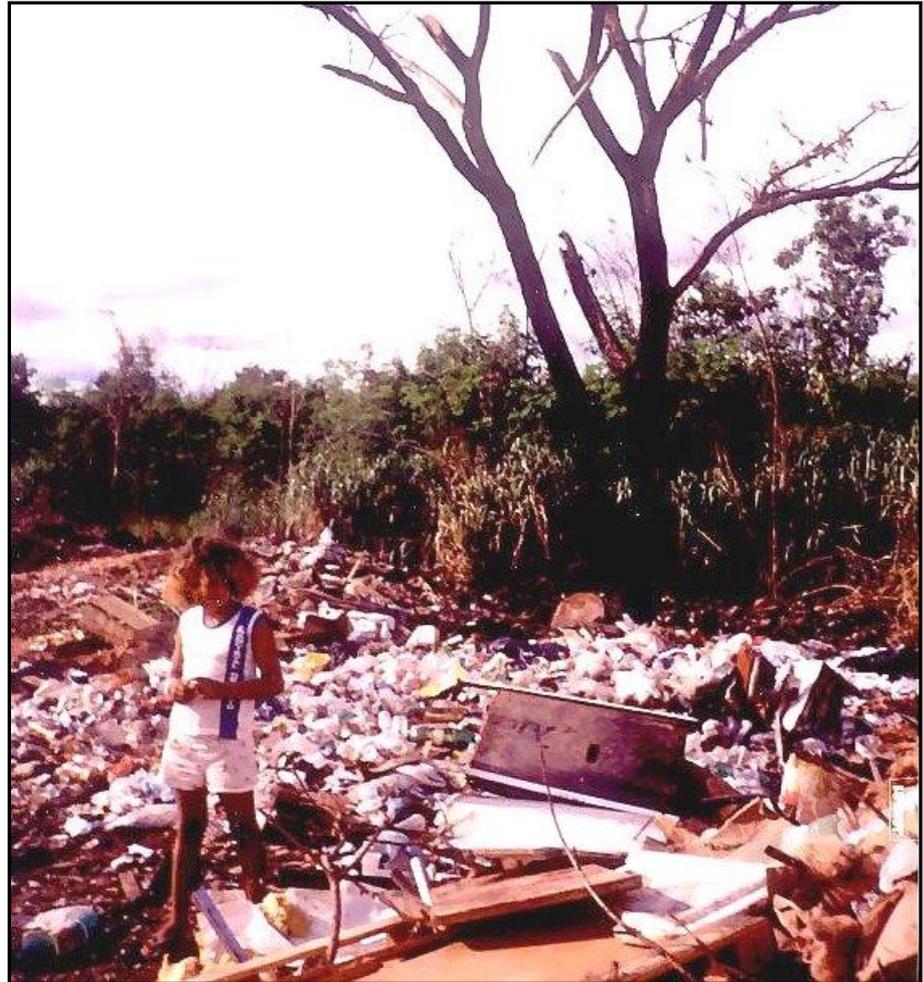
Situação das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo (CETESB, 2009)



Problemas da disposição inadequada

Presença de catadores

Contato com resíduos perigosos e vetores de doenças





RESÍDUOS A CÉU ABERTO

VAZAMENTO DE CHORUME

Contaminação de cursos d'água superficiais



Aparência de um “Lixão”



Materiais dispostos inadequadamente

Restos de animais e resíduos de
serviços de saúde



Lixão - Resíduos dispostos a céu aberto



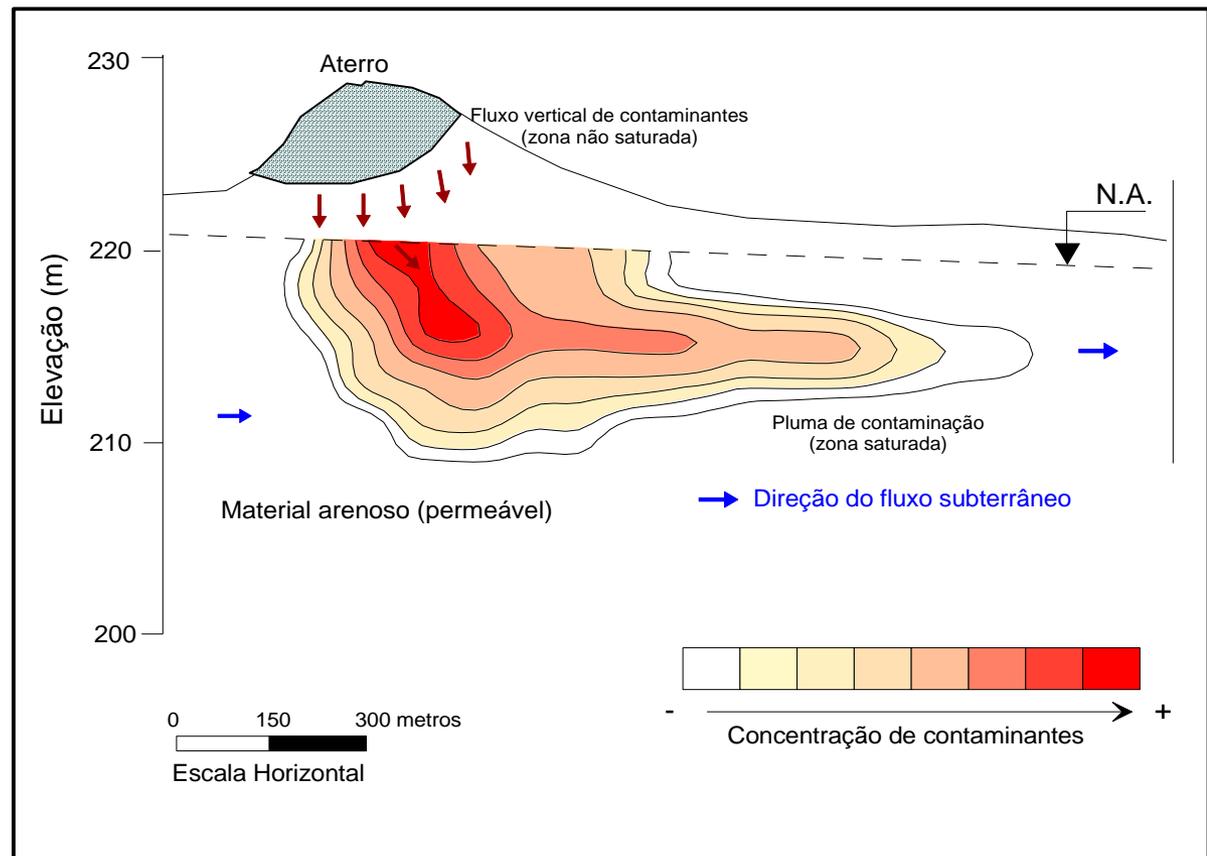
Aparência de um “Lixão”

Vazamento de chorume para curso d'água superficial
risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas

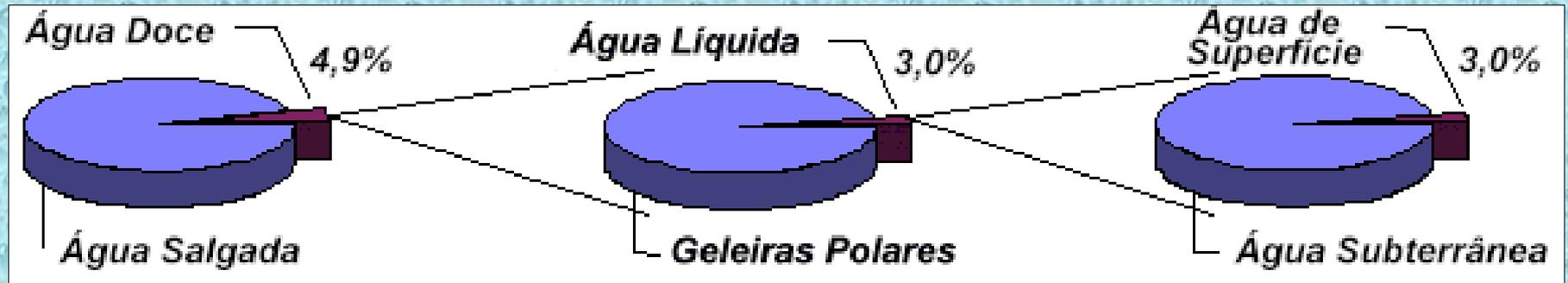


Contaminação de águas subterrâneas

Em áreas de disposição de resíduos inadequadas a contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer por meio da percolação de águas pluviais e outros líquidos gerados pela própria degradação dos resíduos, que por infiltração no solo sob o aterro atingem o nível d'água. O líquido derivado desse processo de percolação através dos resíduos é denominado de chorume. Esse líquido, em locais onde a colocação do lixo é feita sem observar se existem características geológicas favoráveis, pode infiltrar no solo e atingir o lençol freático, gerando uma pluma de contaminação que acompanha o fluxo das águas subterrâneas e se espalha por uma área muito maior que a ocupada pelos resíduos, causando a poluição das águas.



Distribuição da Água no Planeta Terra



Importância das Águas Subterrâneas

- 1) Reserva estratégica para o abastecimento populacional a nível mundial.**
- 2) Grande parte das águas de superfície estão poluídas, devidos aos impactos de minerações, refinarias e lixões.**
- 3) As águas subterrâneas estão mais protegidas da poluição, são geralmente de boa qualidade para o consumo humano, sem necessidade de tratamentos especiais.**

Parâmetros físico-químicos de percolados (chorumes) de aterros sanitários de São Paulo

Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
pH	5,9 - 8,7	P total	3,7 - 14,3 mg/l
Sólidos totais diss.	3100 - 26300 mg/l	Fe	2 - 6000 mg/l
N amoniacal	6 - 2900 mg/l	Cu	0,01 - 1,2 mg/l
Nitrito	0 - 0,04 mg/l	Pb	0 - 2,3 mg/l
Nitrato	0,03 - 5,53 mg/l	Zn	0,12 - 35,6 mg/l
DBO (5 dias, 20°C)	480 - 19800 mg/l	Mn	0,09 - 26 mg/l
DQO	966 - 2800 mg/l	Cd	0 - 0,2 mg/l
Cl ⁻	50 - 11000 mg/l	Cr Hexav.	0,01 - 0,014 mg/l
SO ₄ ⁻²	0 - 1800 mg/l	Cr total	0,01 - 3,85 mg/l

Fonte: Boian (1993)

Localização de “Plumas” de Contaminação

Metodos Geofisicos: Elétricos e Eletromagnéticos

→ Método da Eletrorresistividade

Método da Eletrorresistividade.

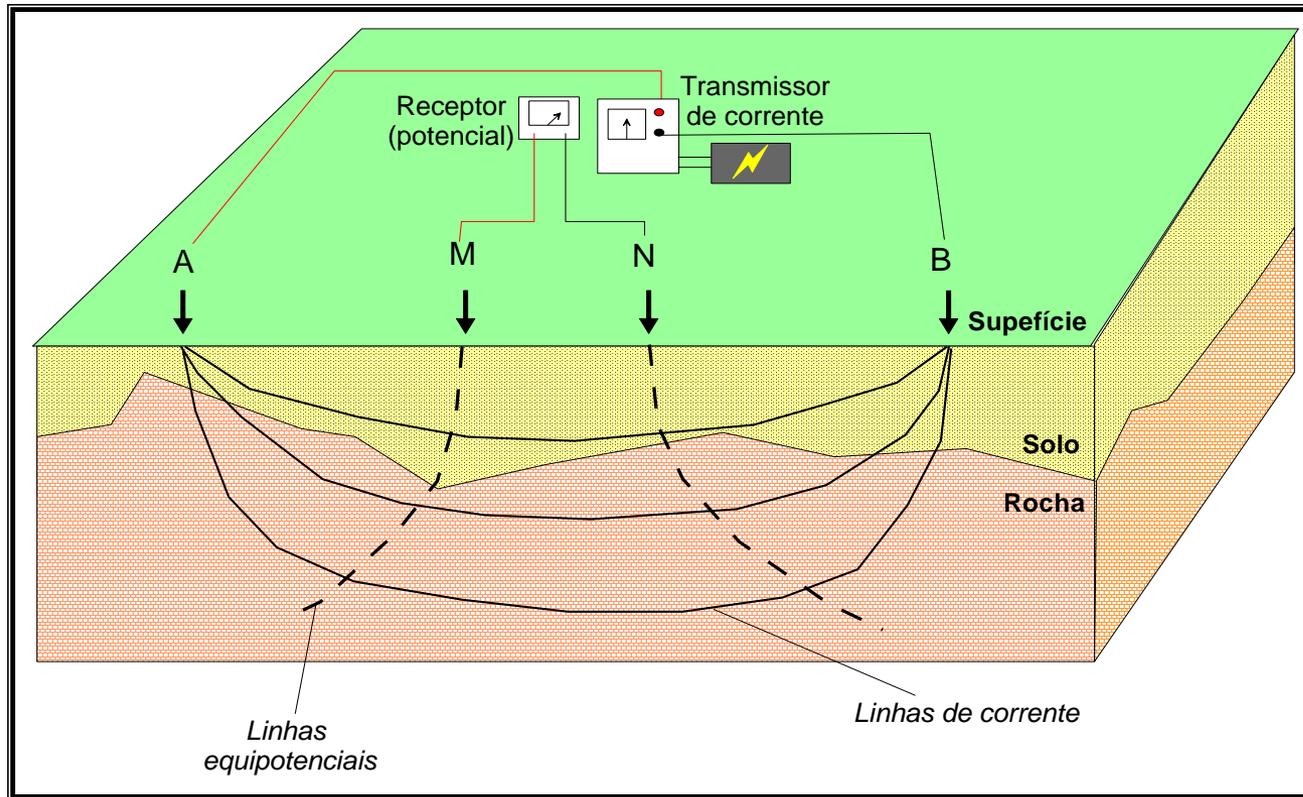
O que é o método da eletrorresistividade?

É um método de prospecção elétrica que usa o parâmetro físico resistividade (o inverso da condutividade elétrica) para investigar indiretamente alvos geológicos de interesse.

Esse método utiliza uma **corrente elétrica** artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de **A** e **B**), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados de M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade real ou aparente em subsuperfície

Profundidade de investigação depende da abertura entre **eletrodos de corrente** e potência do equipamento - varia de alguns metros até centenas de metros

Princípios do método



Os valores de corrente são lidos na unidade de transmissão em mA e os potenciais gerados no meio são lidos na unidade de recepção em mV. Utilizando um fator K que é função do arranjo geométrico dos eletrodos a resistividade elétrica ρ pode ser calculada.

$$\rho = K \cdot \Delta V / I \quad (\Omega \cdot m)$$

Princípios do método

A resistividade elétrica (e seu inverso, a condutividade elétrica) relacionam-se aos mecanismos de propagação de corrente elétrica nos materiais.

Condutividade eletrônica - é devida a presença de minerais metálicos e grafita (condutores) na rocha

Condutividade eletrolítica - é devida ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras dos solos e rochas.

Em geral, a condutividade é eletrolítica, pois apenas em casos específicos os minerais condutores ocorrem em rochas em quantidades suficientes para aumentar sua condutividade global.

A resistividade dos solos e rochas que possuem condutividade eletrolítica é afetada principalmente por quatro fatores:

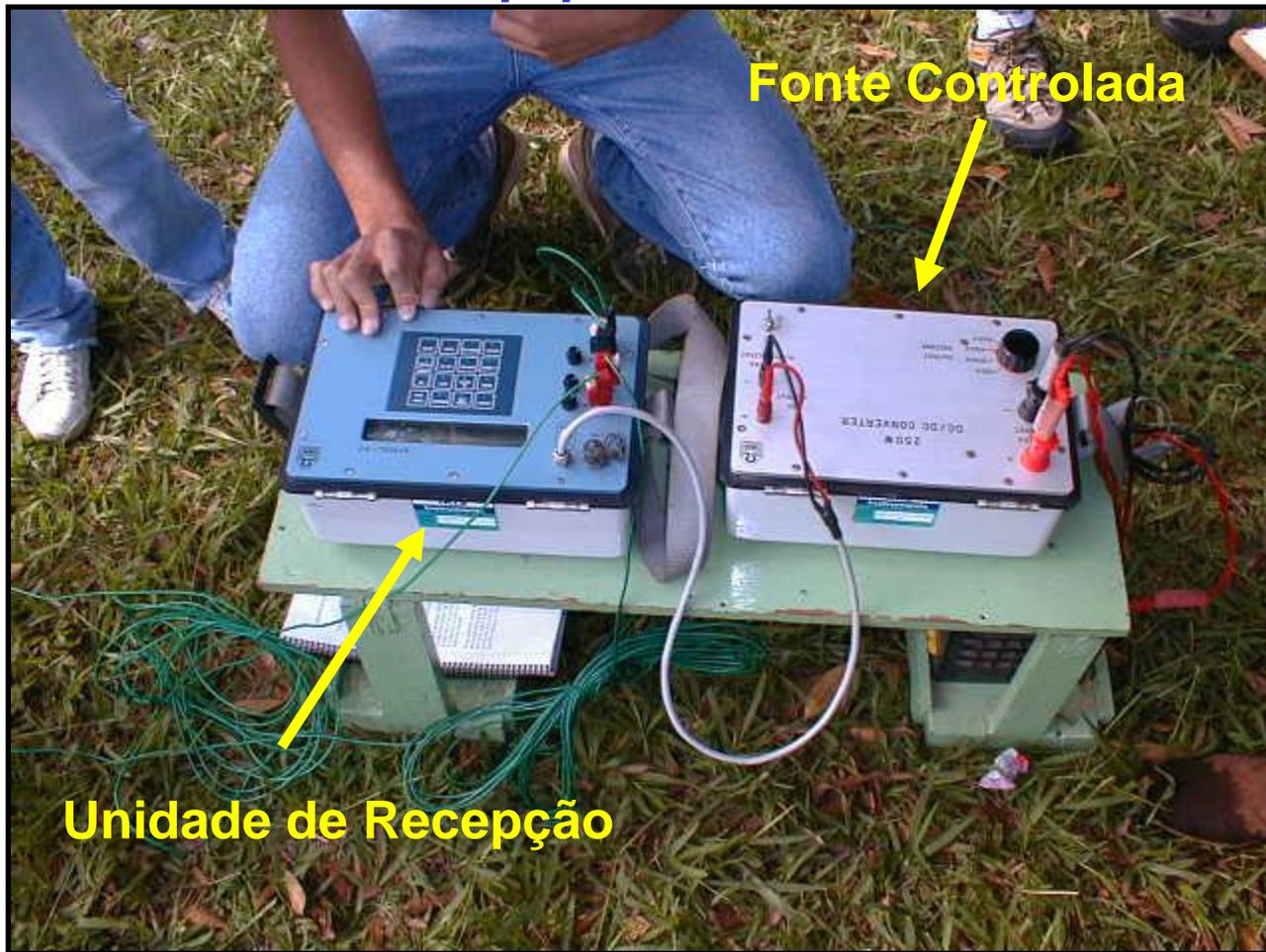
- composição mineralógica;
- porosidade;
- teor em água;
- quantidade e natureza dos sais dissolvidos.

Princípios do método

Dentre os fatores que afetam a resistividade, os mais importantes são, sem dúvida, a quantidade de **água** contida e a **salinidade** dessa água. O aumento do valor desses fatores, teor de umidade e quantidade de sais dissolvidos, leva a uma diminuição dos valores de resistividade. Devido a essa série de fatores, o parâmetro resistividade varia entre largos limites, mesmo para um único tipo de rocha, como pode ser observado na tabela ao lado

Material	Resistividade (ohm.m)
ar	∞
→ águas doces superficiais	$10 - 10^3$
→ águas marinhas	0,2
argilas	$10 - 10^2$
→ areias	$10^2 - 10^4$
→ areia saturada com água mineral	$10^{-1} - 10$
aluvião	$10 - 10^3$
conglomerados	$10 - 10^4$
arenitos	$10 - 10^8$
margas arenosas	$10 - 10^2$
calcários	$10^2 - 10^4$
basaltos	$10^2 - 10^5$
granitos	$10^2 - 10^5$
xistos	$10 - 10^3$
gnaiesses	$10^2 - 10^4$

Equipamento

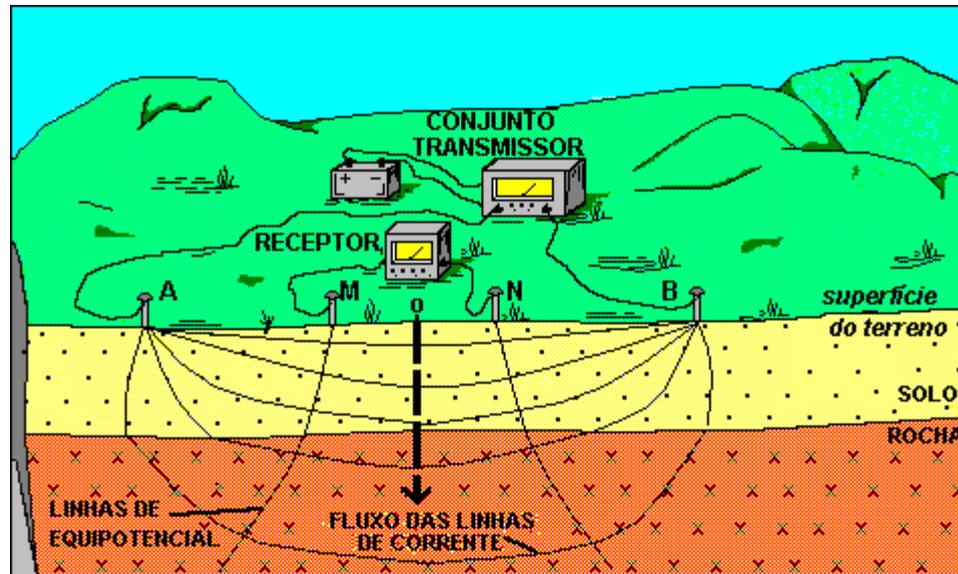


Equipamento Syscal R2, composto por uma fonte controlada de corrente elétrica e unidade de recepção para leitura de potencial.

Ensaio de Campo - Sondagem Elétrica

Existem duas formas principais de aplicações dos ensaios no campo - sondagem elétrica e caminhamento elétrico.

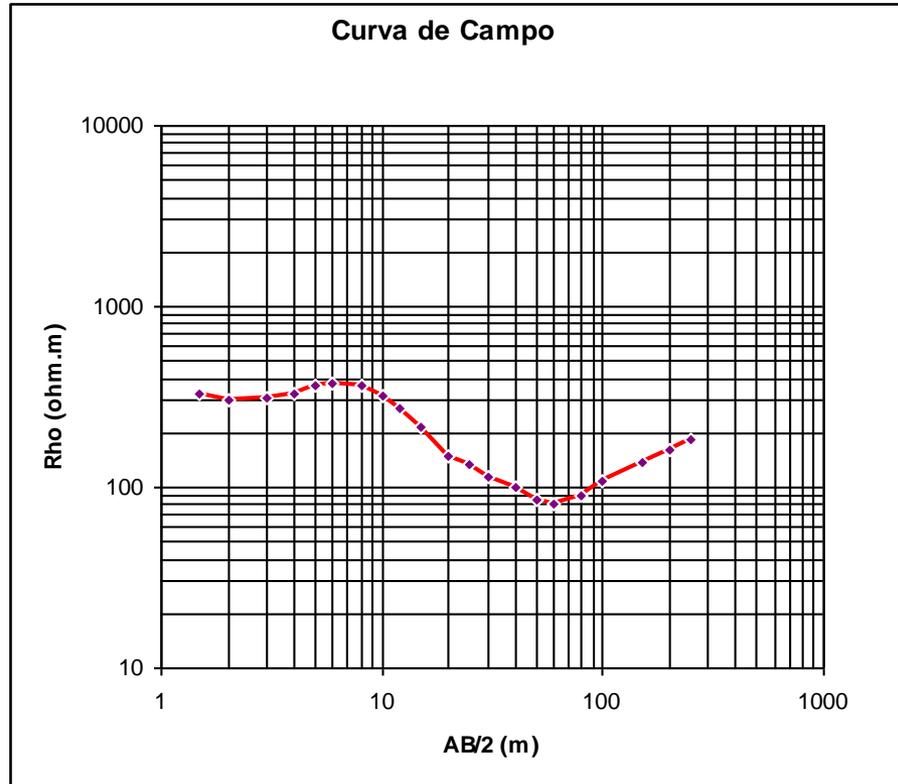
Os ensaios de sondagem elétrica são aplicados quando é desejada uma informação pontual com observação da variação vertical da resistividade. Na prática é escolhido o ponto de interesse e o ensaio é conduzido com o afastamento sucessivo dos eletrodos de corrente, possibilitando assim que a corrente penetre profundidades cada vez maiores.



Ensaio de Campo - Sondagem Elétrica

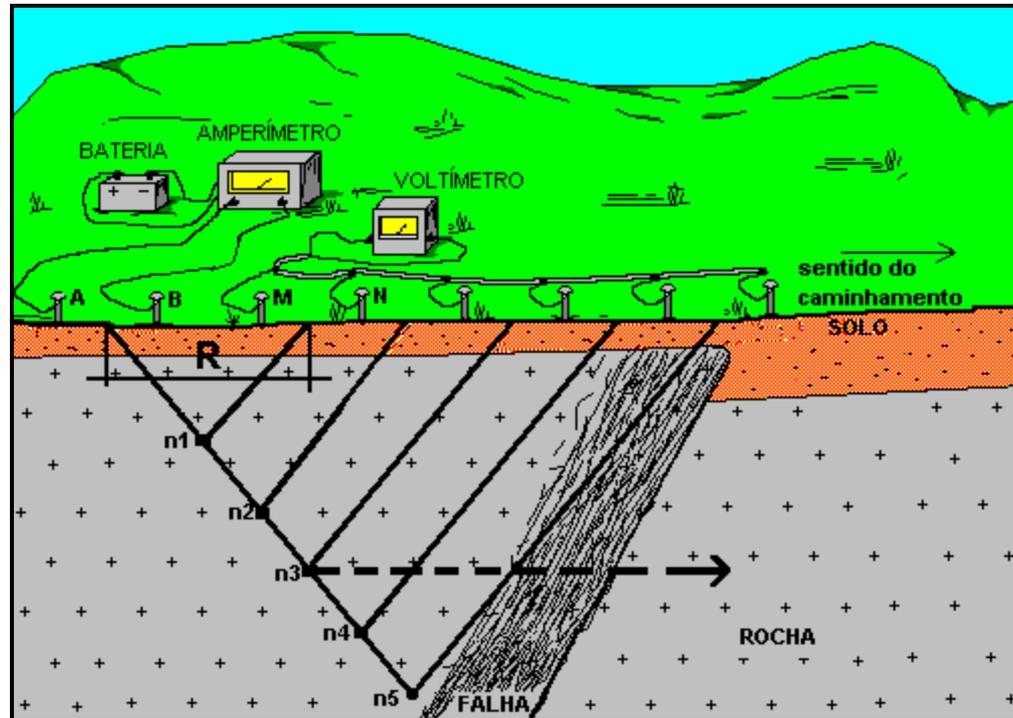
Os valores de resistividade lidos em cada estação de medida (diferentes posições dos eletrodos AB) são plotados em um gráfico bi-log em função da metade da distância AB investigada.

Esse gráfico é chamado de **curva de sondagem elétrica**, que através de softwares apropriados é interpretada, fornecendo os valores de resistividade e espessura dos estratos investigados, que são, então relacionados a materiais geológicos.



Ensaio de Campo - Caminhamento Elétrico

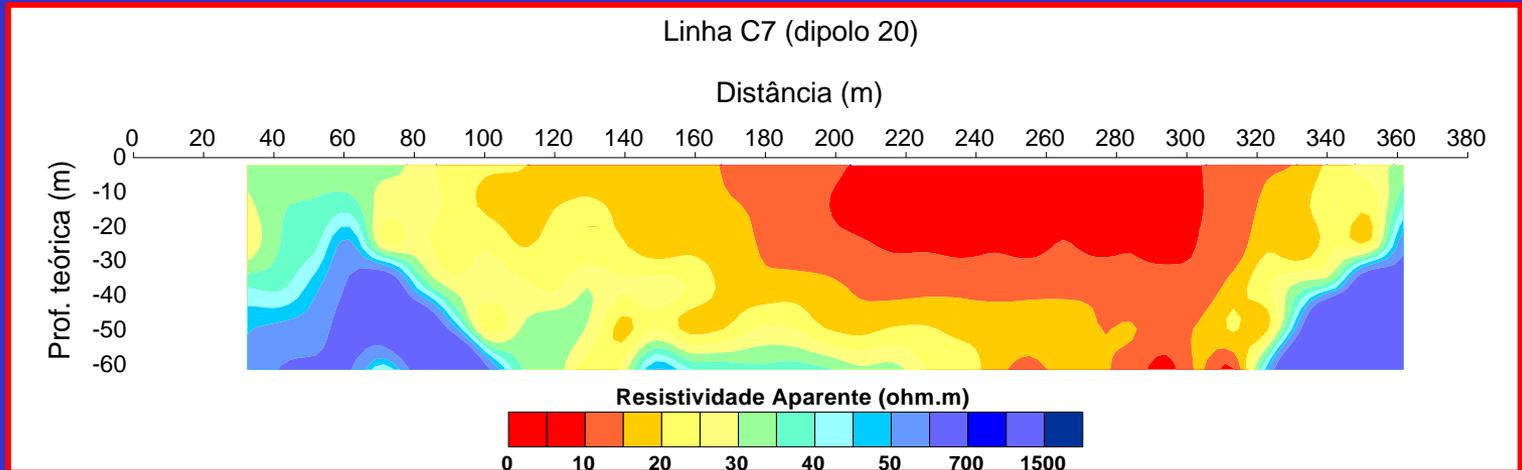
O caminhamento é aplicado quando o interesse é pelo estudo da variação lateral da resistividade em profundidade teoricamente constante. A figura mostra um esquema do ensaio de caminhamento dipolo-dipolo, que permite a investigação da variação lateral de resistividade em 5 níveis teóricos.



Método da Eletrorresistividade

Variação lateral de resistividade

Caminhamento Elétrico (2D)

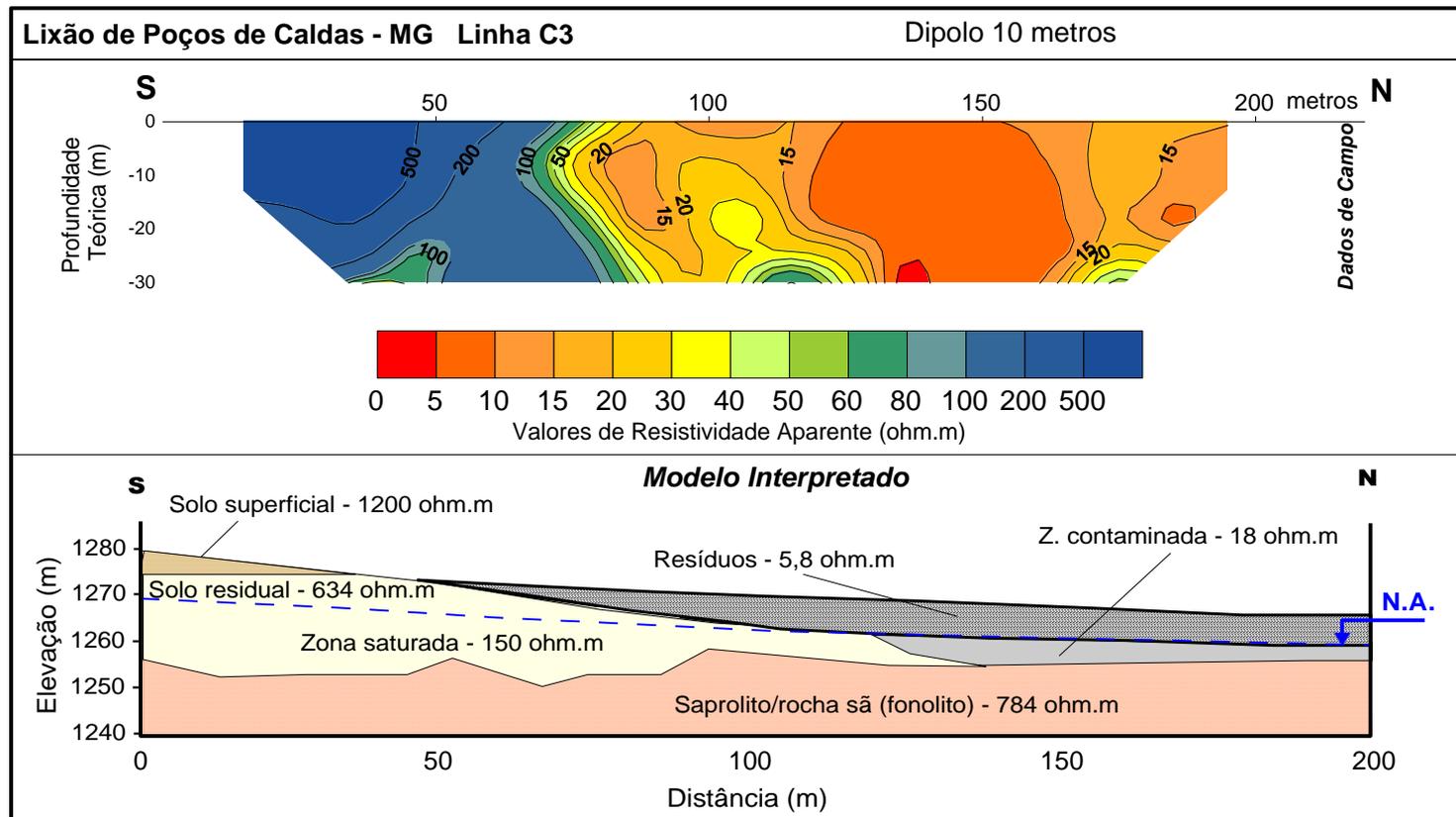


Ensaio de Campo - Caminhamento Elétrico

Interpretação quantitativa

Até pouco tempo atrás, somente a técnica de sondagem elétrica vertical, tinha disponíveis “softwares” para interpretação quantitativa.

Atualmente - **Modelagem 2D** de seções de resistividade aparente



Identificação de corpos e estruturas geológicas com mais detalhe.

Resultado geofísico - Perfil A

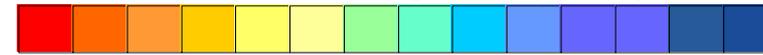
Baixa resistividade
(resíduos + chorume)

Distância (m)

Prof. Teórica



Resistividade aparente (ohm.m)

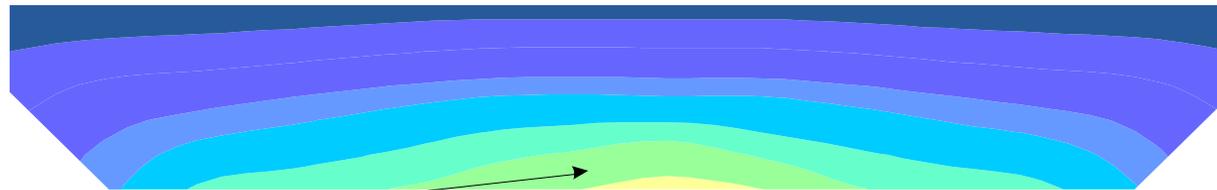


0 5 10 20 30 40 50 75 100 200 500

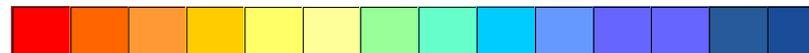
Resultado geofísico - Perfil B

Distância (m)

Prof. Teórica



Resistividade aparente (ohm.m)

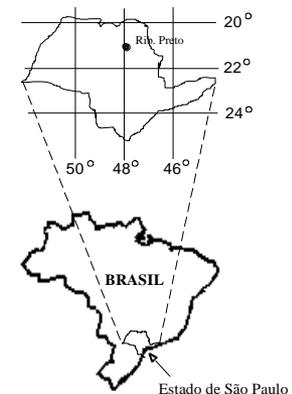
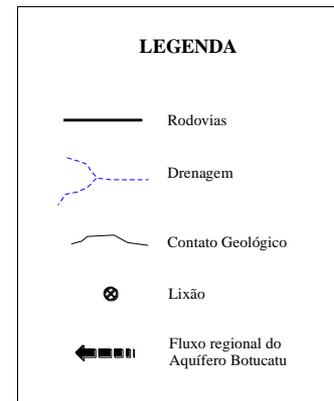
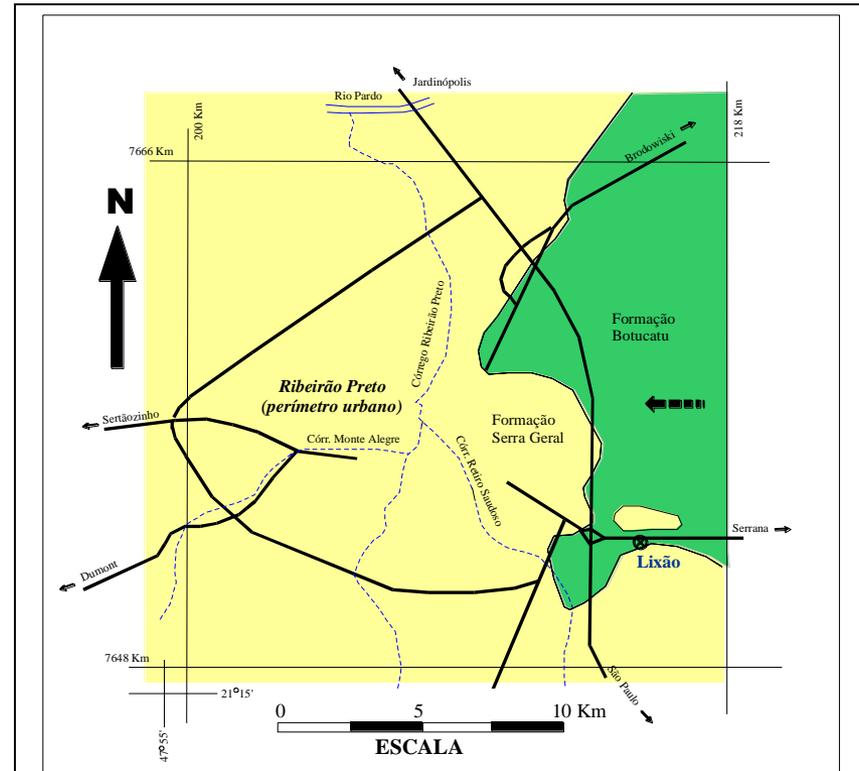


0 5 10 20 30 40 50 75 100 200 500

Diminuição da resistividade devido
à pluma de contaminação

Estudo de Caso - Lixão Desativado em Ribeirão Preto

Área de disposição de resíduos urbanos instalada diretamente sobre arenitos permeáveis da Formação Botucatu. Esse tipo de substrato rochoso, aliado a uma forma de disposição de resíduos inadequada, possibilita a infiltração de chorume no solo, podendo atingir a zona saturada.



Lixão Desativado em Ribeirão Preto

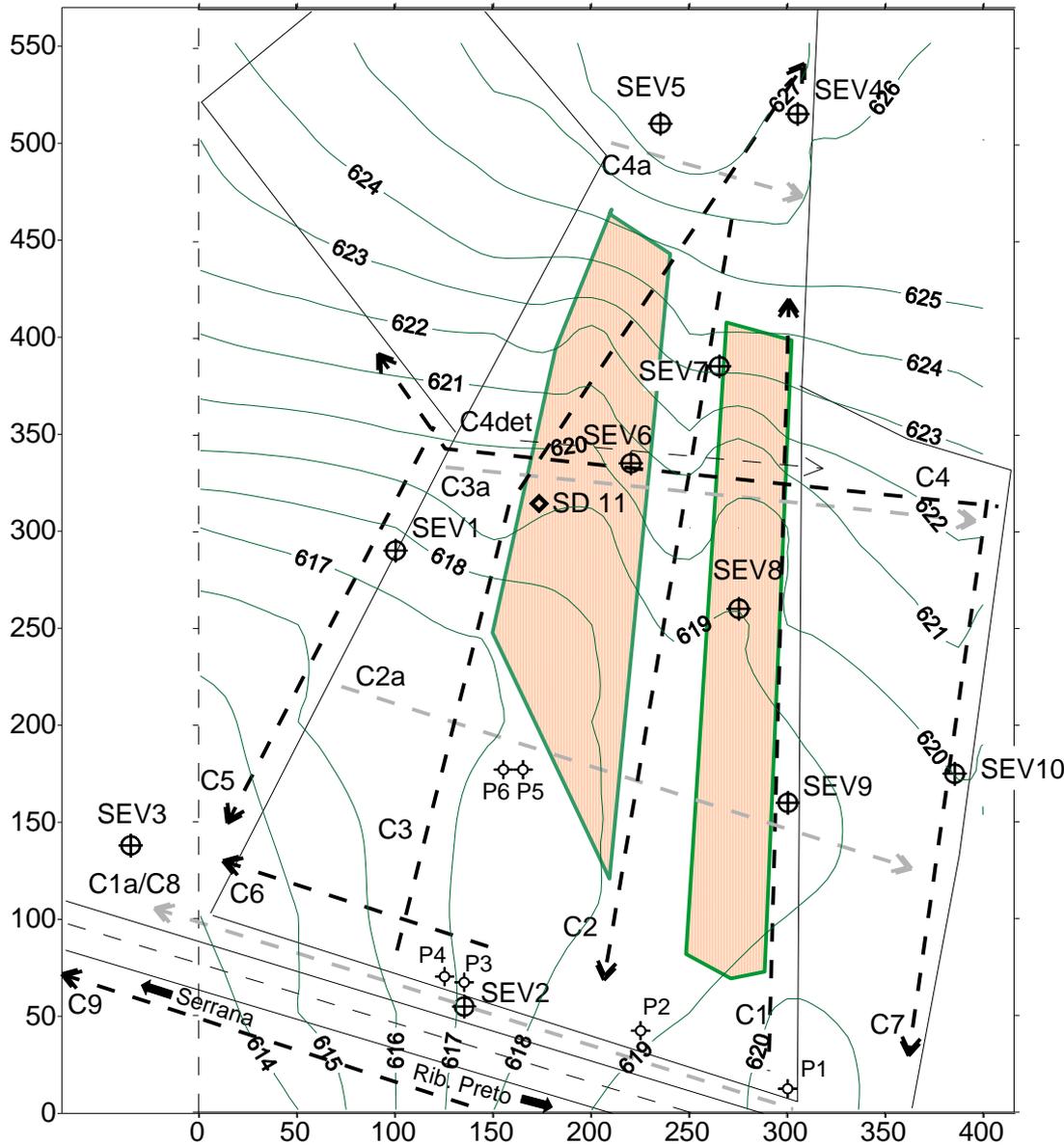


- Borda da cava preenchida com resíduos
- Notar o recalque na área dos resíduos



- Chorume aflorando em uma das cavas

Lixão Desativado em Ribeirão Preto - Mapa de localização dos ensaios



Legenda:

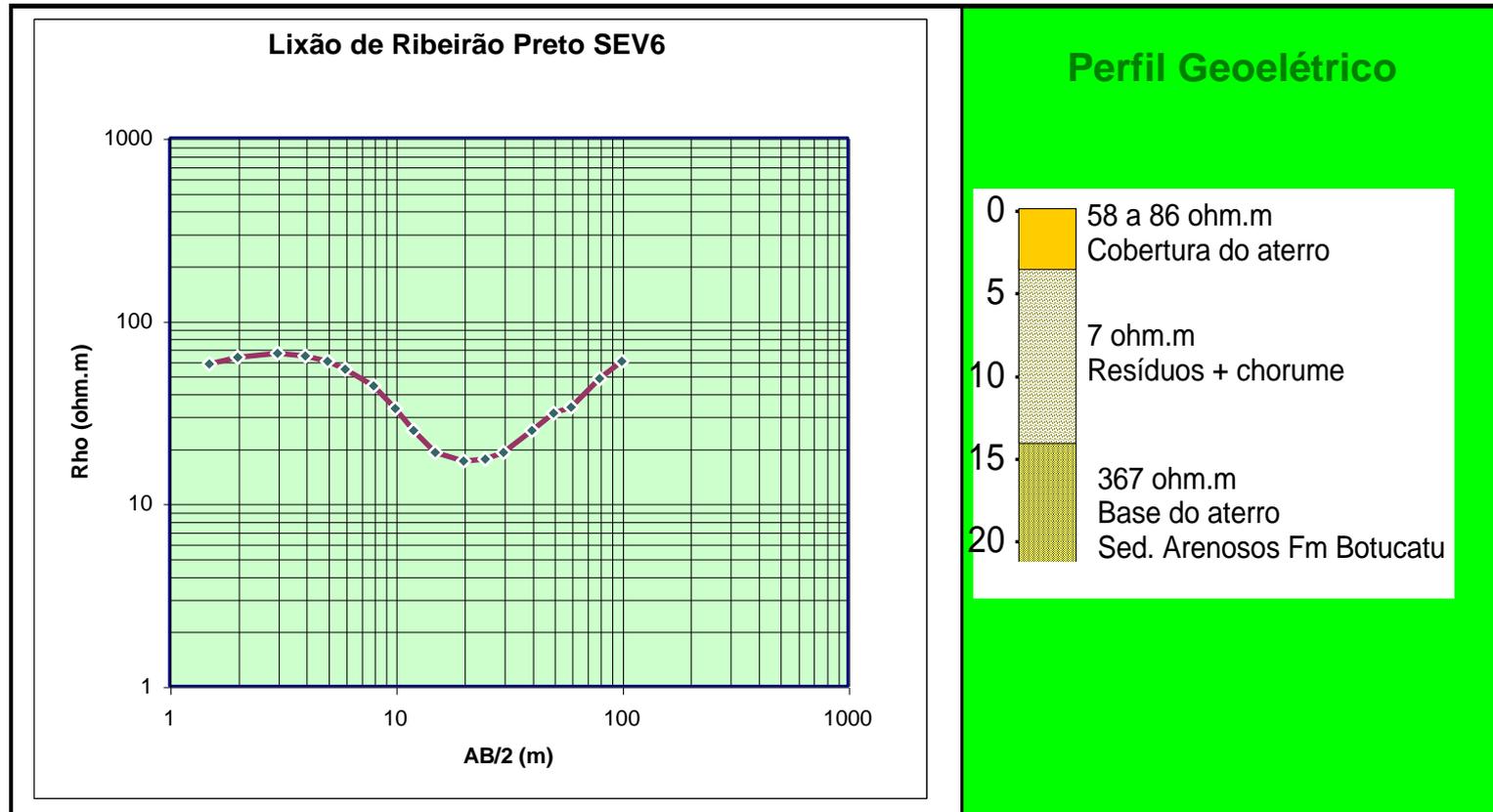
-  Cavas preenchidas com resíduos
-  C1 → Linha de Caminhamento Elétrico (D=10m)
-  C1a → Linha de Caminhamento Elétrico (D=20m) e IP (D=10m)
-  C4det → Linha de CE detalhe (espaço/o 2 m)
-  SEV1 → Sondagem Elétrica Vertical
-  SD 11 → Sondagem Dipolar
-  P1 → Poços de monitoramento

Obs. As setas indicam o sentido das linhas de caminhada elétrica



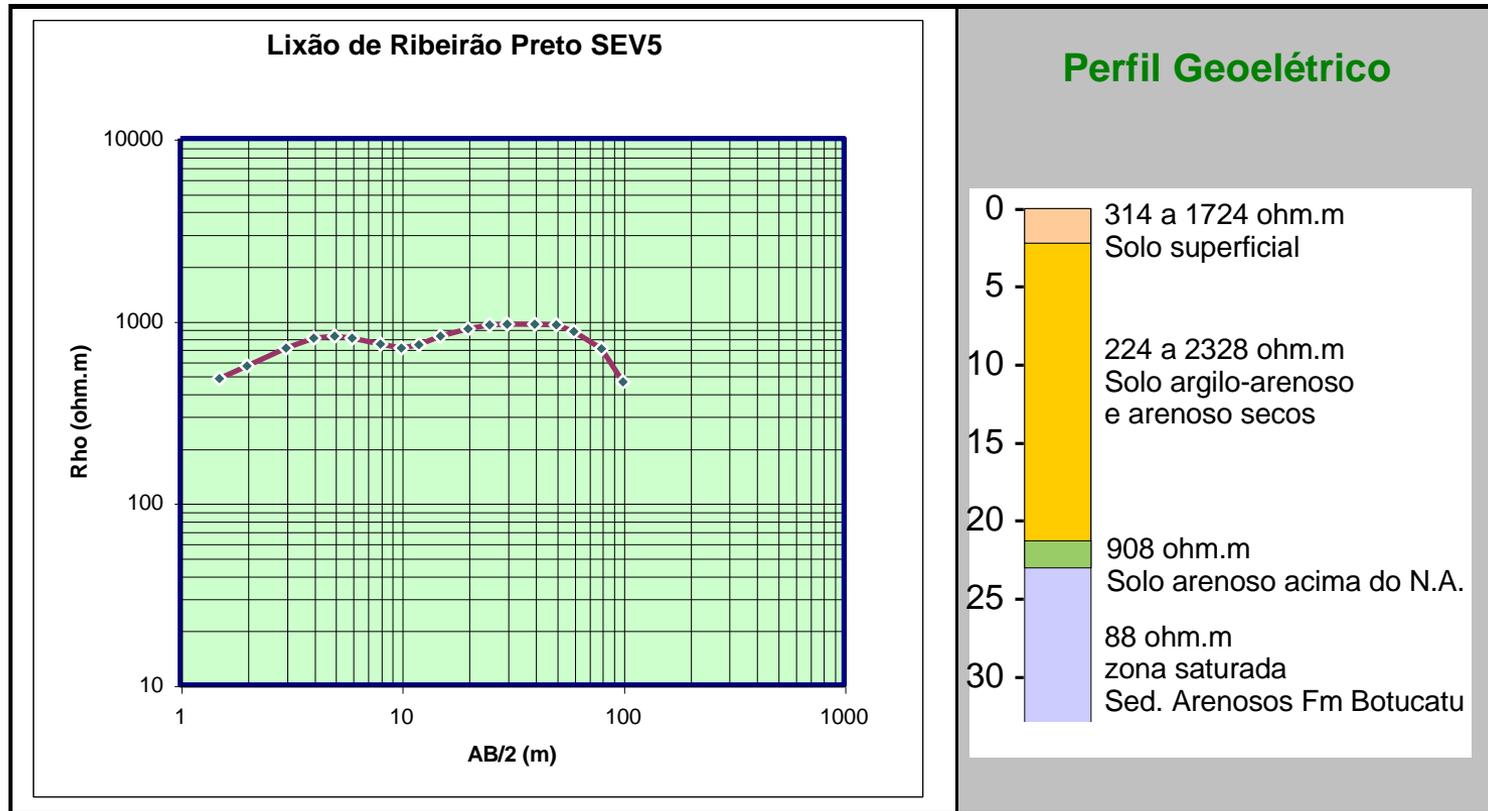
Lixão Desativado em Ribeirão Preto

Estrutura do aterro e espessura da camada de resíduos - SEVs

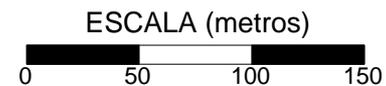
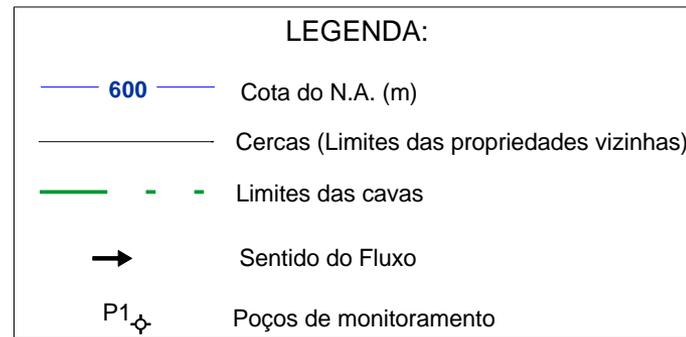
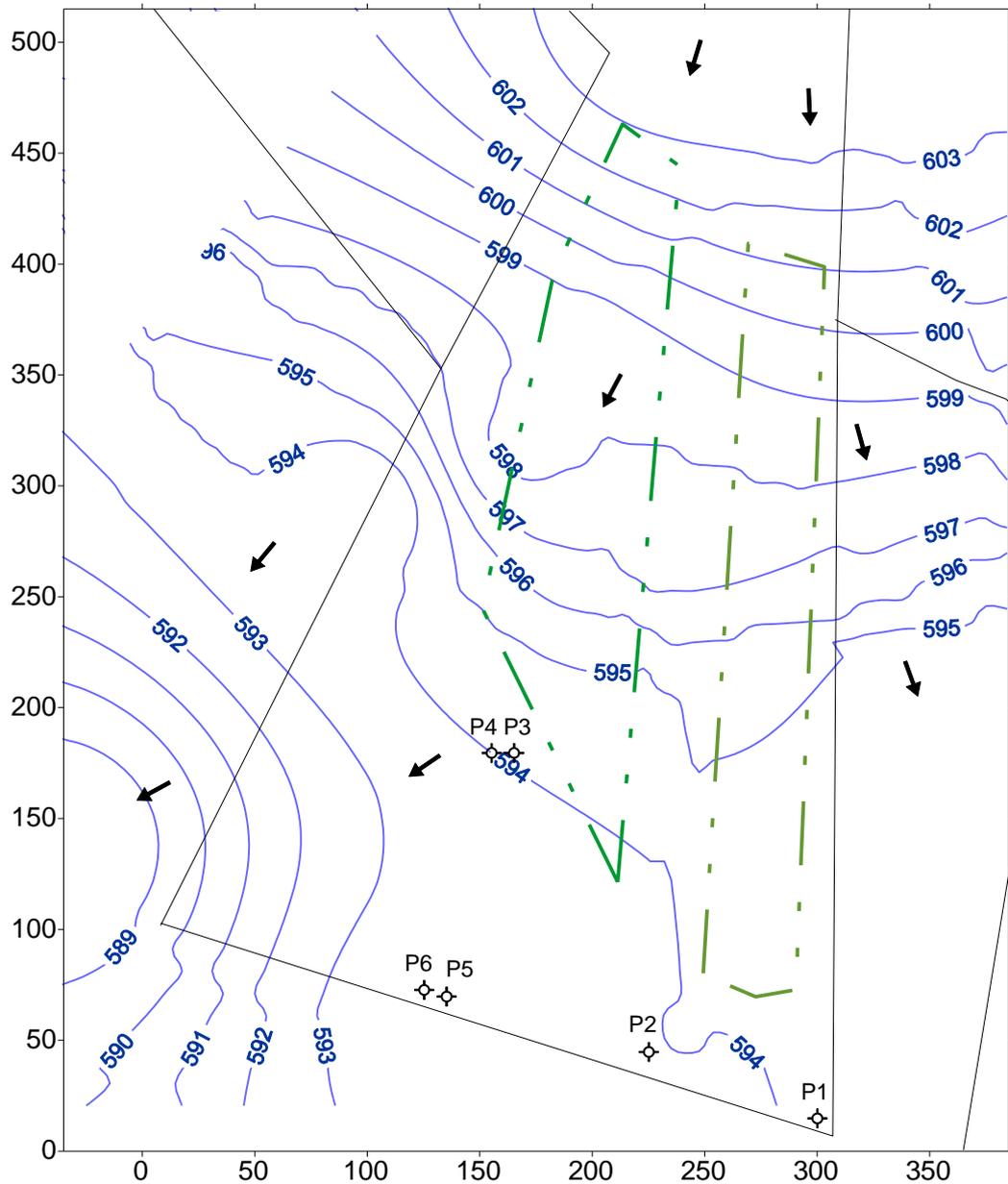


Lixão Desativado em Ribeirão Preto

Perfil vertical do solo e profundidade da zona saturada - SEVs

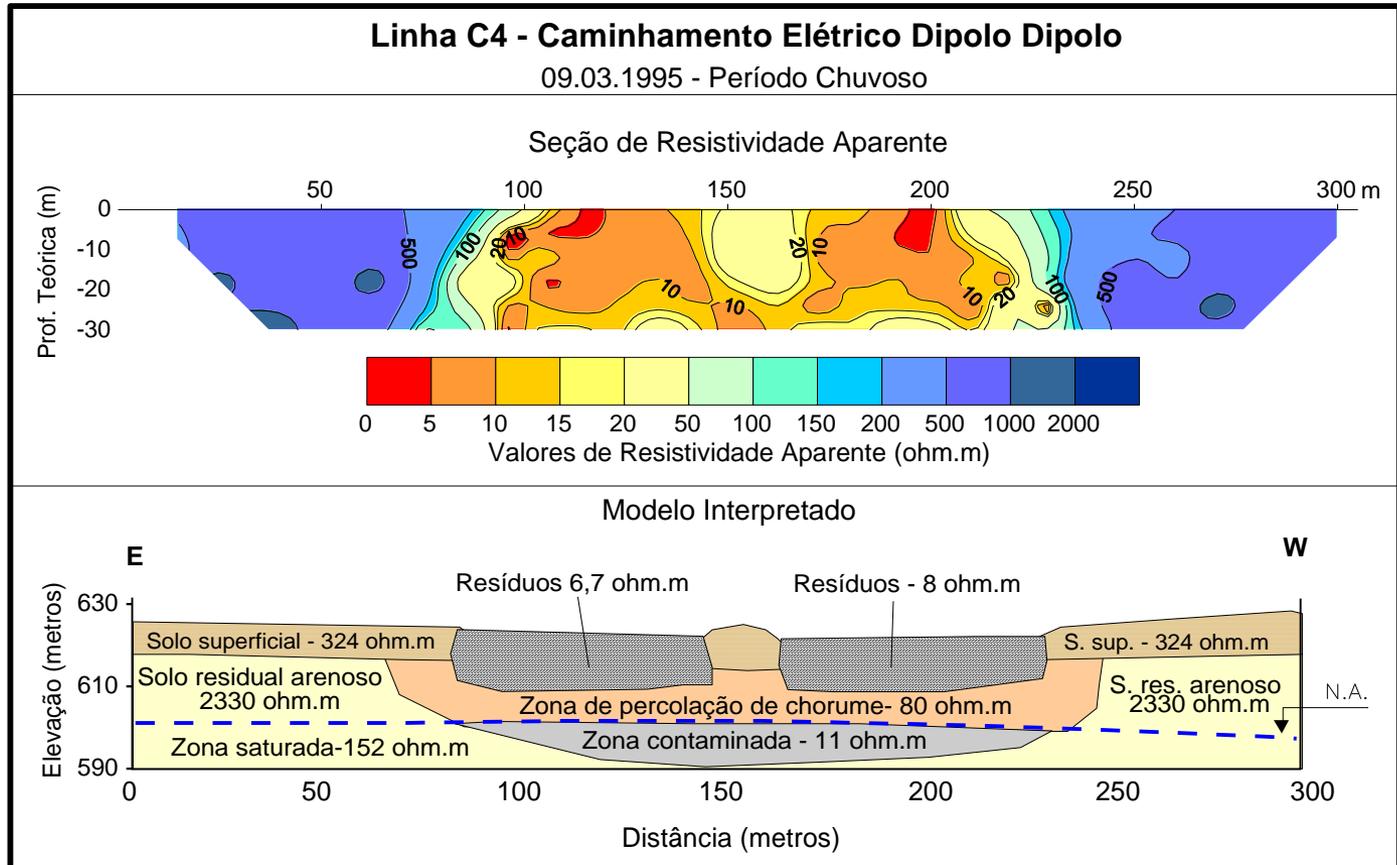


Lixão Desativado em Ribeirão Preto - Mapa de fluxo subterrâneo



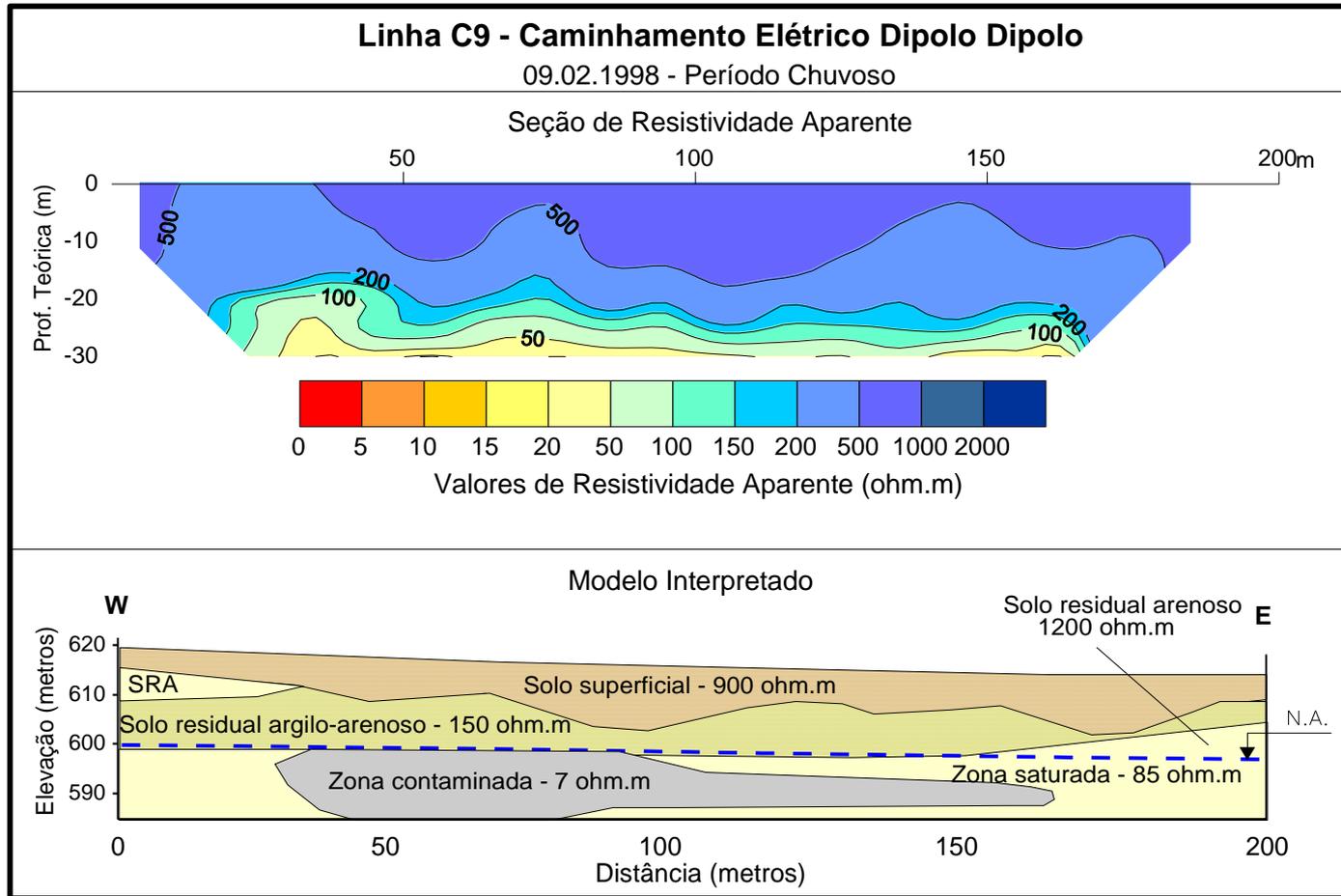
Lixão Desativado em Ribeirão Preto

CE dipolo-dipolo - Delimitação da estrutura do aterro, profundidade da zona saturada e estudo da contaminação



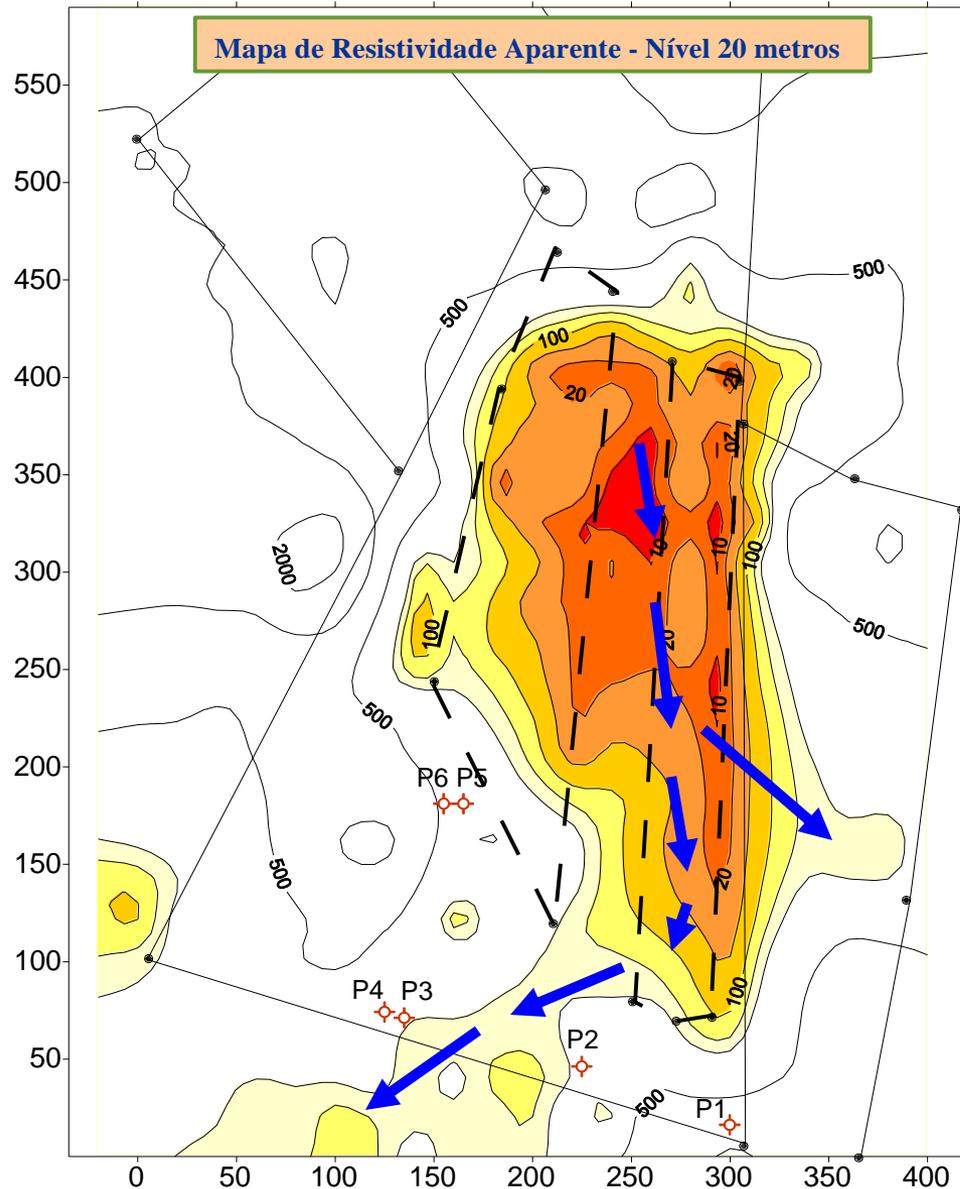
Lixão Desativado em Ribeirão Preto

CE dipolo-dipolo - Determinação da profundidade da zona saturada e estudo da contaminação

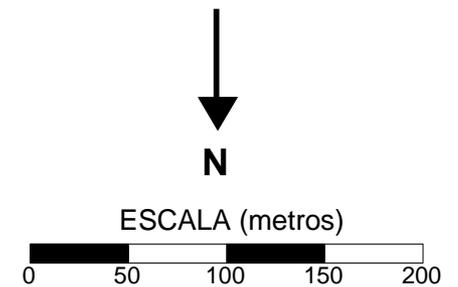
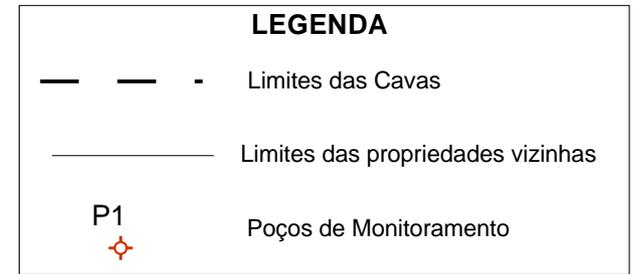
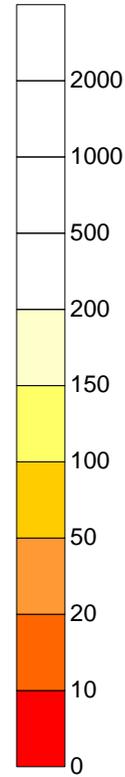


Lixão Desativado em Ribeirão Preto

Mapeamento do formato e extensão da pluma de contaminação

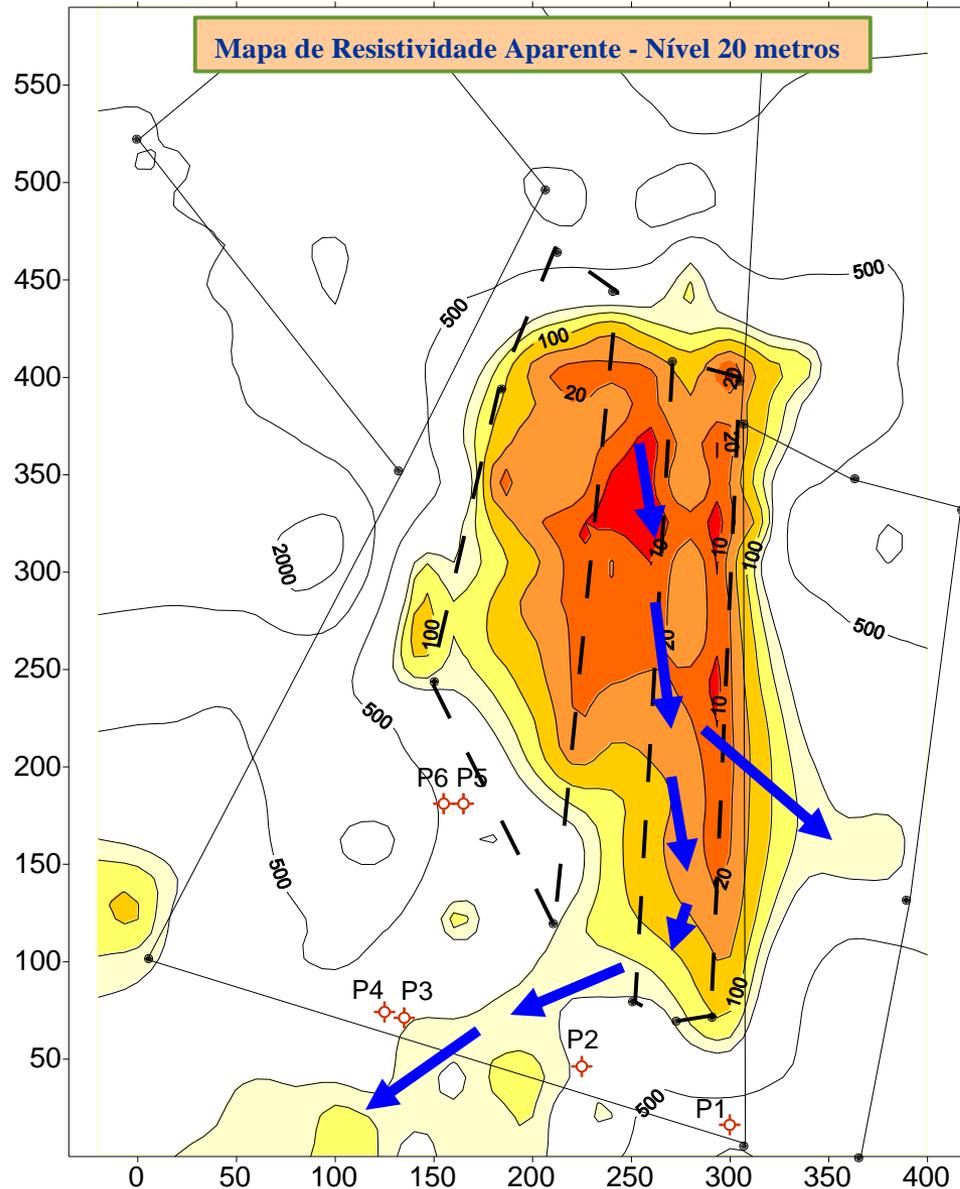


Rho Aparente
(ohm.m)

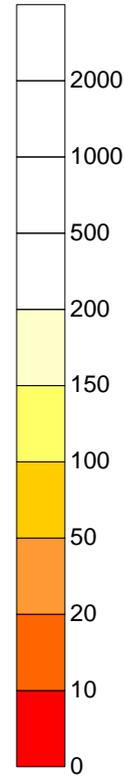


Lixão Desativado em Ribeirão Preto

Mapeamento do formato e extensão da pluma de contaminação



Rho Aparente
(ohm.m)



LEGENDA

- — — Limites das Cavas
- — — Limites das propriedades vizinhas
- P1 Poços de Monitoramento



ESCALA (metros)



F I M