

Prospecção do subsolo para fins geoambientais



D.Sc. Juliana Keiko Tsugawa

jukeiko@alumni.usp.br

Jkeiko.Tsugawa@gmail.com

18/08/2023

Prospecção do subsolo com foco em obras de engenharia civil e ambiental



D.Sc. Juliana Keiko Tsugawa

jukeiko@alumni.usp.br

Jkeiko.Tsugawa@gmail.com

18/08/2023



3 Características do Solo/Rocha de Interesse para a Engenharia :

RESISTÊNCIA

DEFORMABILIDADE

PERMEABILIDADE

Investigação geológica-geotécnica do subsolo com foco em obras de engenharia civil e ambiental



D.Sc. Juliana Keiko Tsugawa

jukeiko@alumni.usp.br

Jkeiko.Tsugawa@gmail.com

18/08/2023



TODOS OS EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO PODEM SER UTILIZADOS TANTO NA ENGENHARIA CIVIL QUANTO NA AMBIENTAL.

A INVESTIGAÇÃO ESTÁ RELACIONADA ÀS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO/OBRA

PROSPECTAR/INVESTIGAR O QUE, PARA QUE E PORQUE?

PORQUE INVESTIGAR O SUBSOLO?

- Evitar projetos e obras inadequados
- Evitar atrasos
- Evitar aumento de custos



QUAL O OBJETIVO DA PROSPECÇÃO/INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO?

- Para elaboração de um projeto ou implantação de uma obra?
- Para investigar ou remediar uma área contaminada?

QUAL A OBRA DE ENGENHARIA A SER IMPLANTADA?

- Edifício / Residência
- Ponte
- Sistema de Água e Esgoto ou Gás
- Barragem
- Aterro
- Rodovia
- Tunel

ONDE A OBRA SERÁ IMPLANTADA?

- Várzea de rio (Solos Moles)
- Antiga fábrica ou lixão (Área Contaminada)
- Encosta
- Terreno plano, etc.

O QUE SE ESPERA OBTER COM A INVESTIGAÇÃO?

- Delimitação das condições geométricas e estruturais para projeto
- Parâmetros para projeto
- Modelo geológico-geotécnico conceitual
- Identificação de interferentes subterrâneos
- Delimitação de pluma de contaminação, etc.

QUAL / QUAIS A(S) ÁREA(S) DO CONHECIMENTO ENVOLVIDAS?

Geologia

Geotecnia

Meio Ambiente

Estruturas

Materiais

Exemplo - Interrelação entre áreas do conhecimento

MEIO AMBIENTE X GEOLOGIA X GEOTECNIA



ATERROS SANITÁRIOS

- Meio ambiente (contaminação, impactos meio físico, econômico e social, etc.).
- Geologia (material de empréstimo)
- Geotecnia (estabilidade, permeabilidade, etc)

CTR Caieiras – Aterro Classe II

Fonte: Cortesia Essencis Soluções Ambientais

Exemplo - Interrelação entre áreas do conhecimento

GEOTECNIA X MEIO AMBIENTE X MATERIAIS

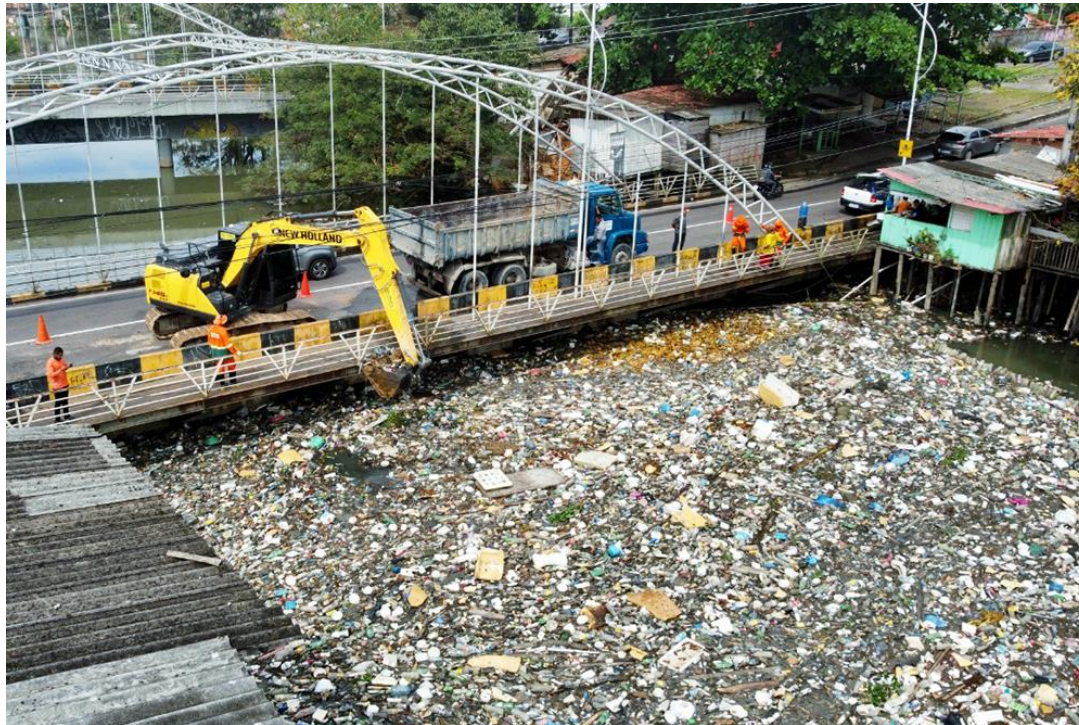


Foto ilustrativa.

Fonte: <https://www.portalmarcossantos.com.br/2022/05/31/prefeitura-recolhe-mais-lixo-acumulado-debaixo-da-ponte-do-sao-jorge-nesta-terca-feira-31/>

FUNDAÇÃO

- Estacas de concreto (fundação) reagiram ao lixiviado gerado por lixão clandestino (meio ambiente) perdendo totalmente sua resistência mecânica (durabilidade de materiais).
- Caso relatado pelo Prof. Aoki da EESC.

Exemplo - Interrelação entre áreas do conhecimento

MEIO AMBIENTE X GEOLOGIA X GEOTECNIA



Foto ilustrativa (Itaipu-SP).

Fonte: <https://www.itaipu.gov.br/energia/caracteristicas-da-barragem>

BARRAGENS

- Meio ambiente (grandes áreas inundadas).
- Geologia (material de empréstimo, fundação: tipo de solo e rocha, fraturamento, descontinuidades)
- Geotecnia (tipo de barragem, método construtivo, resistência, deformabilidade e permeabilidade, etc)



ESCOLHA DOS MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO E DOS ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO DEPENDE DE UMA SÉRIE DE FATORES.

- Natureza e estado dos solos e rochas
- Nível d'água
- Tipo de obra
- Complexidade da área
- Topografia e acessos
- Grau de perturbação de cada método investigativo.
- Tempo para execução
- Aspectos ambientais
- Outros (custo, orçamento, políticos)

ETAPAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

RECONHECIMENTO INICIAL

- Mapas geológico, geotécnico, pedológico e hidrogeológico
- Fotografias aéreas (topografia e geomorfologia, feições estruturais) – **Método Indireto**
- Banco de dados de investigações de áreas próximas

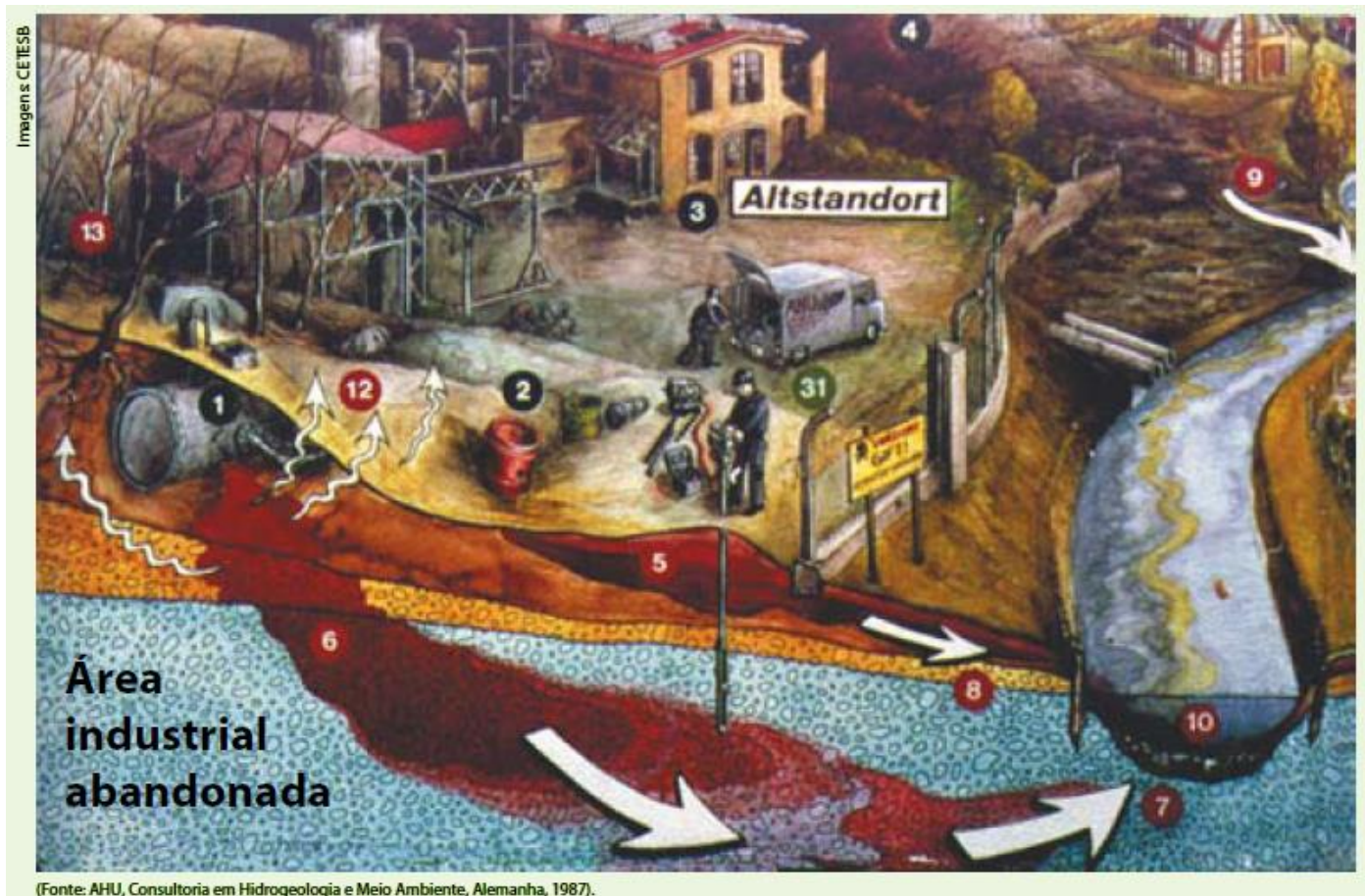
INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR

- **Métodos indiretos:**
 - Geofísica
 - Sensoriamento Remoto
- **Métodos diretos:**
 - Sondagem a trado, percussão e rotativa
 - Ensaio de palheta (Vane test) – NBR 10905
 - Ensaaios laboratoriais
- **Métodos semi diretos:**
 - Cone Penetration Test (CPT) – ABNT MB 3046
 - Piezocone (CPTu)

INVESTIGAÇÃO COMPLEMENTAR

- Mapeamento de campo
- Ensaios laboratoriais e in situ para determinação de parâmetros de projeto

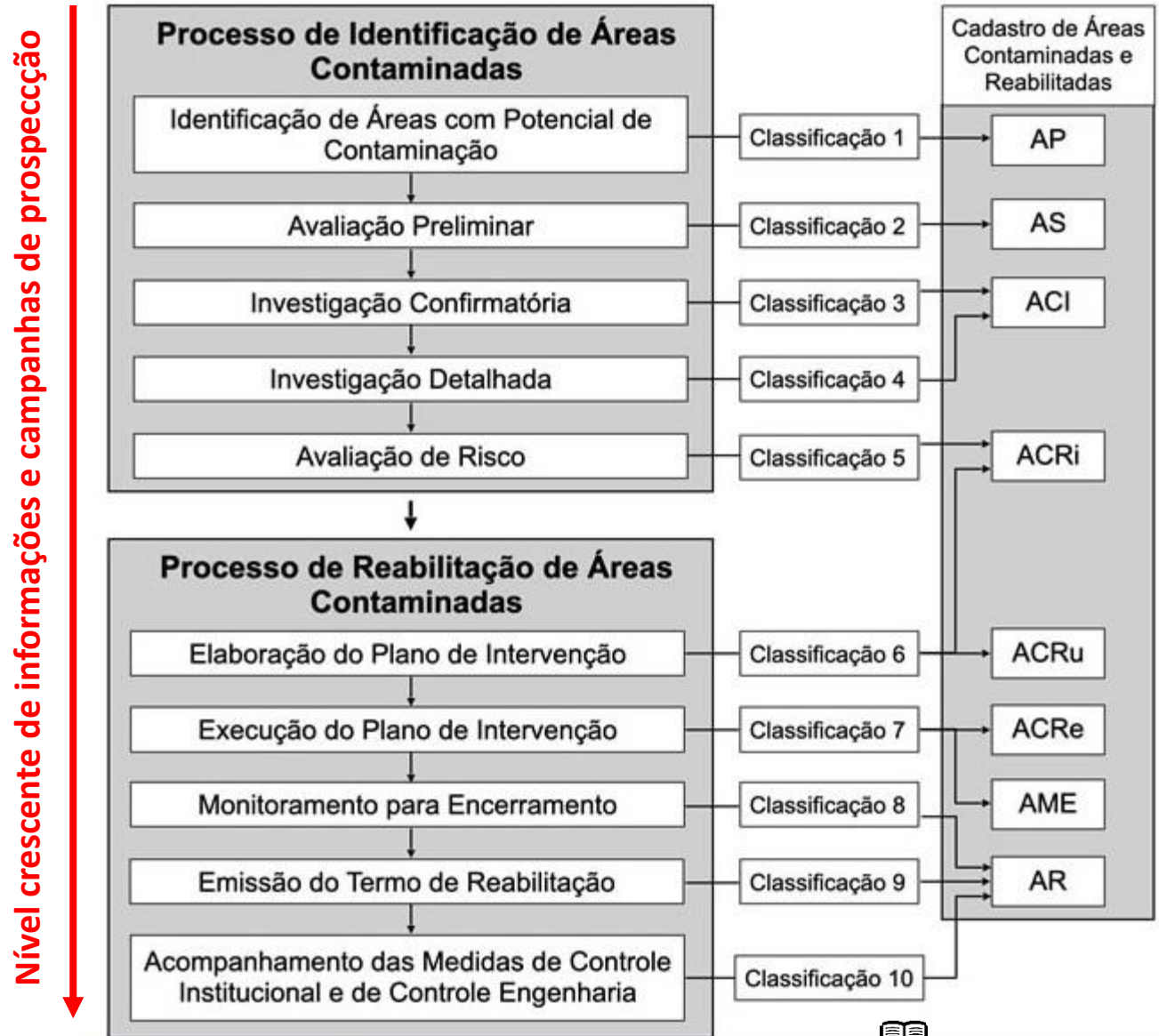
Investigação geológica-geotécnica com foco em Áreas Contaminadas



QUANDO DEVEMOS PROSPECTAR OS SUBSOLO?

ETAPA DO GERENCIAMENTO DE AC (GAC)

- AP: Área com potencial de contaminação.
- AS: Área suspeita de contaminação.
- ACI: Área contaminada sob investigação.
- ACRi: Área contaminada c/ risco confirmado.
- ACRu: Área contaminada em processo de reutilização.
- ACRe: Área contaminada em processo de remediação.
- AME: Área em processo de monitoramento para encerramento.
- AR: Área reabilitada para uso declarado.



- Cenário 1: etapas do gerenciamento



Avaliação preliminar

Investigação confirmatória

Investigação detalhada

Avaliação de Risco

Elaboração Plano de Intervenção

**PROSPECÇÃO DO
SUBSOLO**



- Cenário 2: vida real



**Prospecção
do subsolo**

**Plano de
Intervenção**

GERENCIAMENTO DE AC

- MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

- 1ª. Ed.: 1999 (Cap. 0 ao VII) – ainda **não haviam instrumentos legais.**



- 2ª. Ed.: 2001 (Cap. 0 ao IX) – **base para instrumentos**



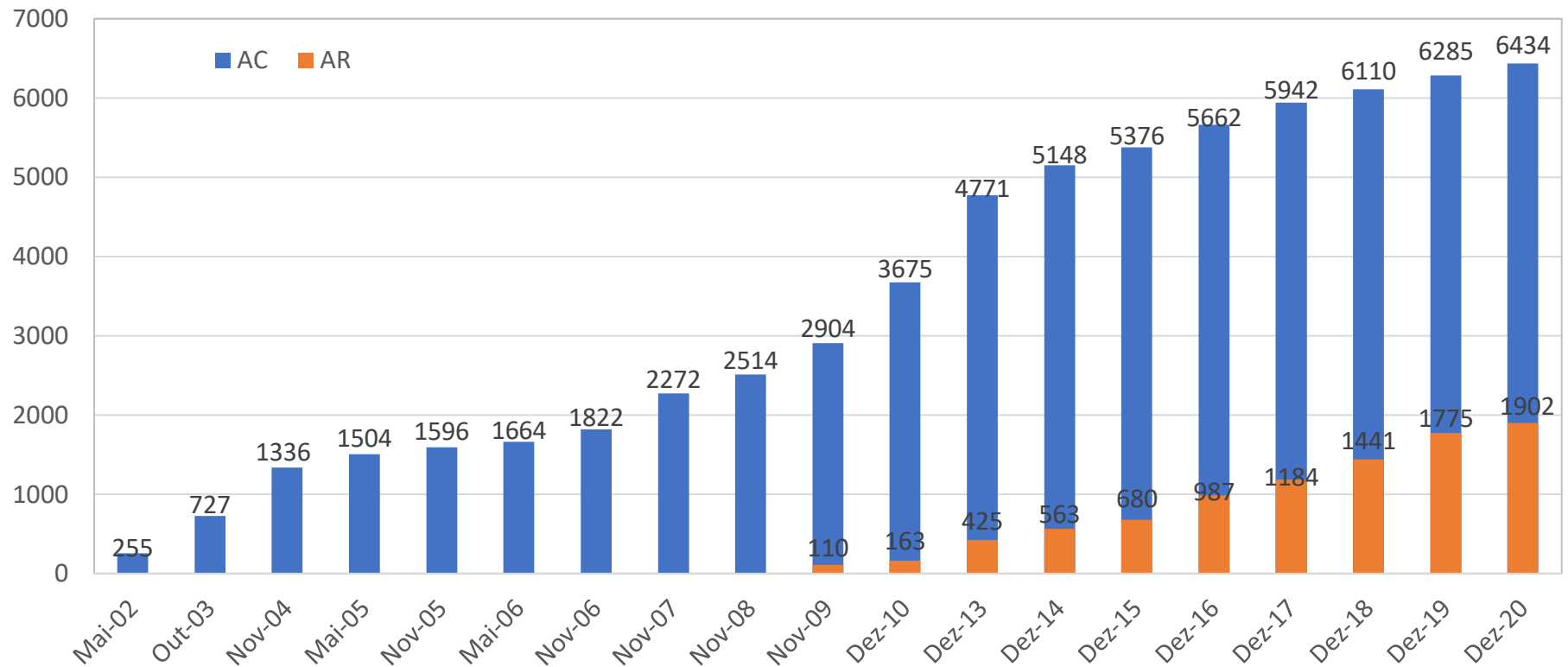
- **legais.**
- 3ª. Ed: versão parcial lançado em 08/04/2021– faltam inúmero capítulos previsão out/2021)

MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	
Informações Gerais ▾	
Capítulos	
1 - Introdução ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas ▾	
2 - Bases Legais ▾	
3 - Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas ▾	
4 - Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação ▾	
5 - Avaliação Preliminar ▾	
6 - Investigação Confirmatória ▾	
7 - Investigação Detalhada ▾	
8 - Avaliação de Risco ▾	
9 - Elaboração do Plano de Intervenção ▾	

9 - Elaboração do Plano de Intervenção ▾	
10 - Execução do Plano de Intervenção ▾	
11 - Monitoramento para Encerramento ▾	
12 - Emissão do Termo de Reabilitação para o Uso Declarado ▾	
13 - Acompanhamento das Medidas de Controle de Engenharia e de Controle Institucional ▾	
14 - Técnicas de Investigação de Áreas Contaminadas ▾	
15 - Medidas de Intervenção em Áreas Contaminadas ▾	
16 - Instrumentos ▾	

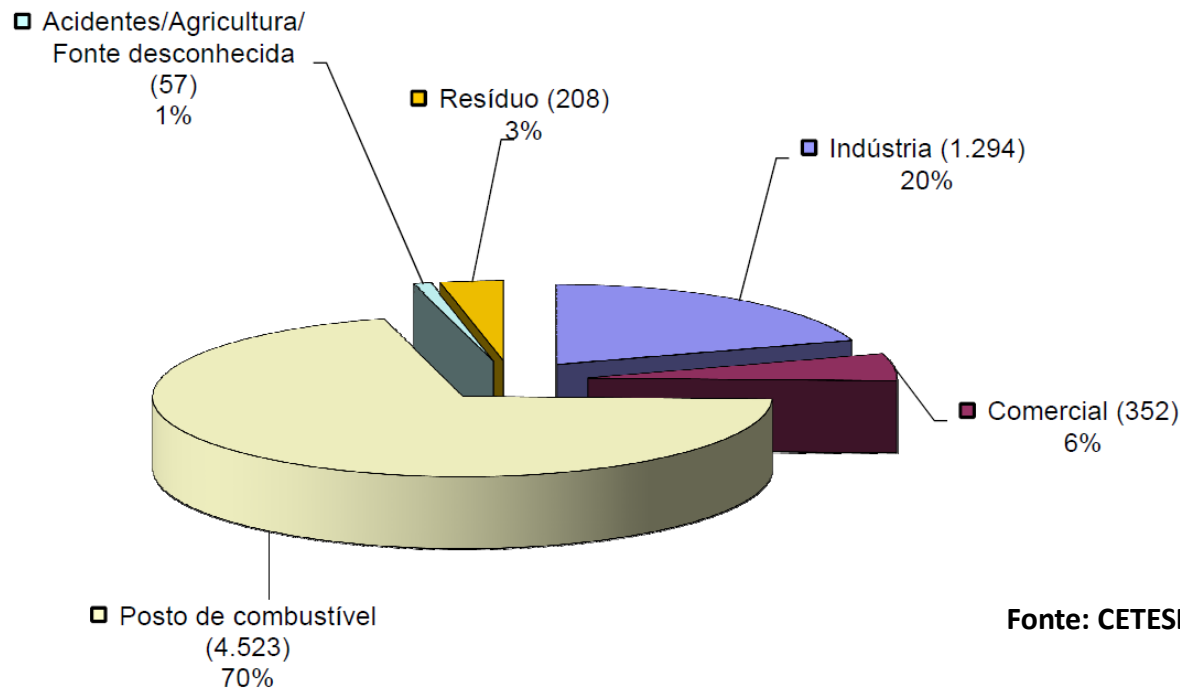
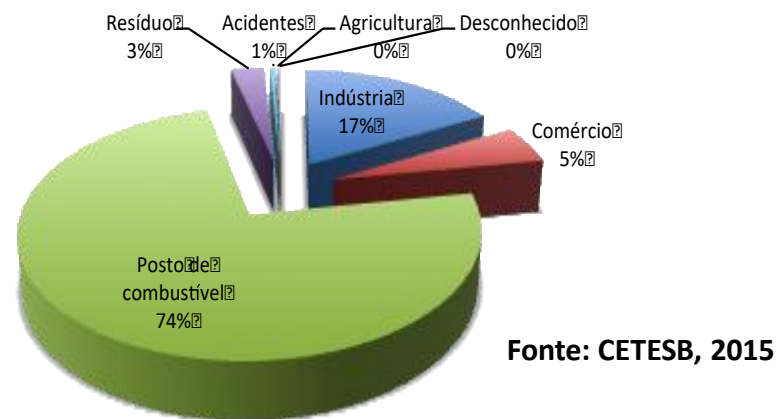
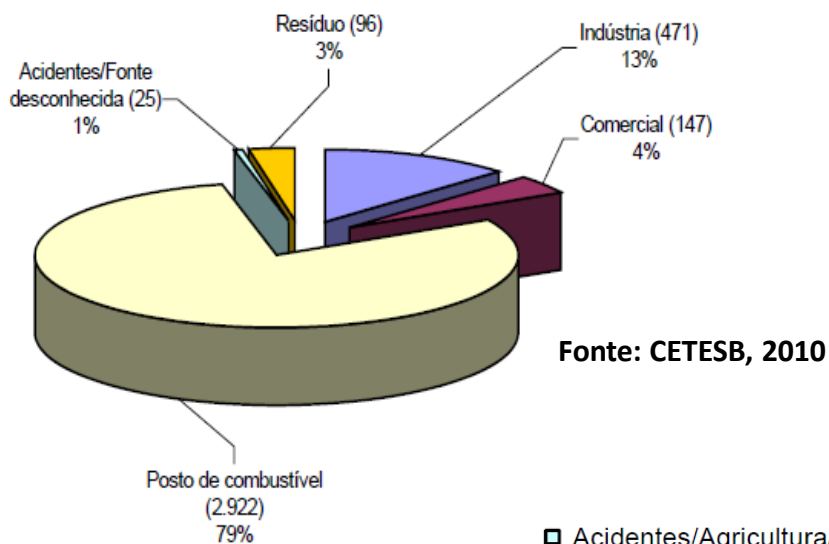
ÁREAS CONTAMINADAS IDENTIFICADAS EM SP

- Forte atuação forte do órgão Ambiental de SP - CETESB
- Áreas têm sido descobertas → Tendência de aumento





ÁREAS CONTAMINADAS IDENTIFICADAS EM SP



Informações necessária para o Planejamento da Investigação do Subsolo

1. Definir os compartimentos do meio ambiente a serem investigados →
2. Tipos de contaminantes envolvidos e suas propriedades →
3. Modelo conceitual da contaminação (meio x contaminante x transporte de poluentes) →
4. Fontes de contaminação (inclusive naturais) →
5. Características do local a ser investigado →

COMPARTIMENTOS DO MEIO AMBIENTE

- Solos
- Sedimentos
- Rochas
- Aterro
- Construções
- Águas subterrâneas e superficiais
- Ar
- Organismos vivos



TIPOS DE CONTAMINANTES

- Carga orgânica, nutrientes e patógenos fecais
- Salinidade
- Compostos orgânicos sintéticos
 - Compostos de petróleo
 - VOCs (BTEX)
 - PAHs (benzo-a-pireno, naftaleno)
 - Solventes Clorados
 - PCE, TCE, TCA, MC, VC, PCBs
 - Pesticidas clorados ou fosforados
- Metais de interesse ambiental (antigos “metais pesados”)
 - arsênio, cádmio, cromo, chumbo, níquel, zinco e mercúrio

PRINCIPAIS TIPOS DE CONTAMINANTES EM SP



Hidrocarbonetos aromáticos (VOCs): líquido ou sólido (à pressão e temp. ambiente). Ex: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX). Presente em derivados do petróleo, como os combustíveis líquidos (gasolina).

PAHs – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: formam-se da combustão incompleta da matéria orgânica (ex.: queima de florestas e emissões vulcânicas). Ex: benzopireno, benzofluoreno, criseno, dibenzo antraceno, etc.

TPHs – Hidrocarbonetos totais de petróleo: mistura de  hidrocarbonetos leves LNAPLs.

Hidrocarbonetos halogenados : gás ou líquido (à pressão e temp. ambiente). Ex: cloreto de metileno, dicloreto de etileno, tetra cloro etileno, tetracloroeto de carbono, tricloro etano e tricloro etileno. Presente gases de refrigeração– CFCs, anestésicos e pesticidas.

PCBs – Bifelinas policloradas (ascarel): organoclorado usado em transformadores, óleo de corte, lubrificantes, tintas e adesivos.



PRINCIPAIS TIPOS DE CONTAMINANTES EM SP



Fenóis halogenados: composto orgânico com hidroxila (OH) associado. Presente em carvão com alta concentração de carbono (carvão hulha).

Biocidas: inibidor de microorganismos patogênicos. Presente em shampoos, detergentes, amaciantes, etc (conservante) e, em desinfetantes.

Ftalatos: composto orgânico usado na fabricação de plásticos.

Dioxinas e furanos: organoclorado gerado durante a combustão à temperatura entre 300-400°C na presença de ácido clorídrico, oxigênio e água. Ex: tetraclorodibenzeno, pentaclorodibenzofurano, etc.

Anilinas (fenilamina ou aminobenzeno): usada na fabricação de inúmeros produtos: espuma de poliuretano, vernizes, explosivos, pinturas, etc.

Radionuclídeos: átomos instáveis que emitem radiação; utilizado no tratamento de doenças.

SOLUBILIDADE DE METAIS

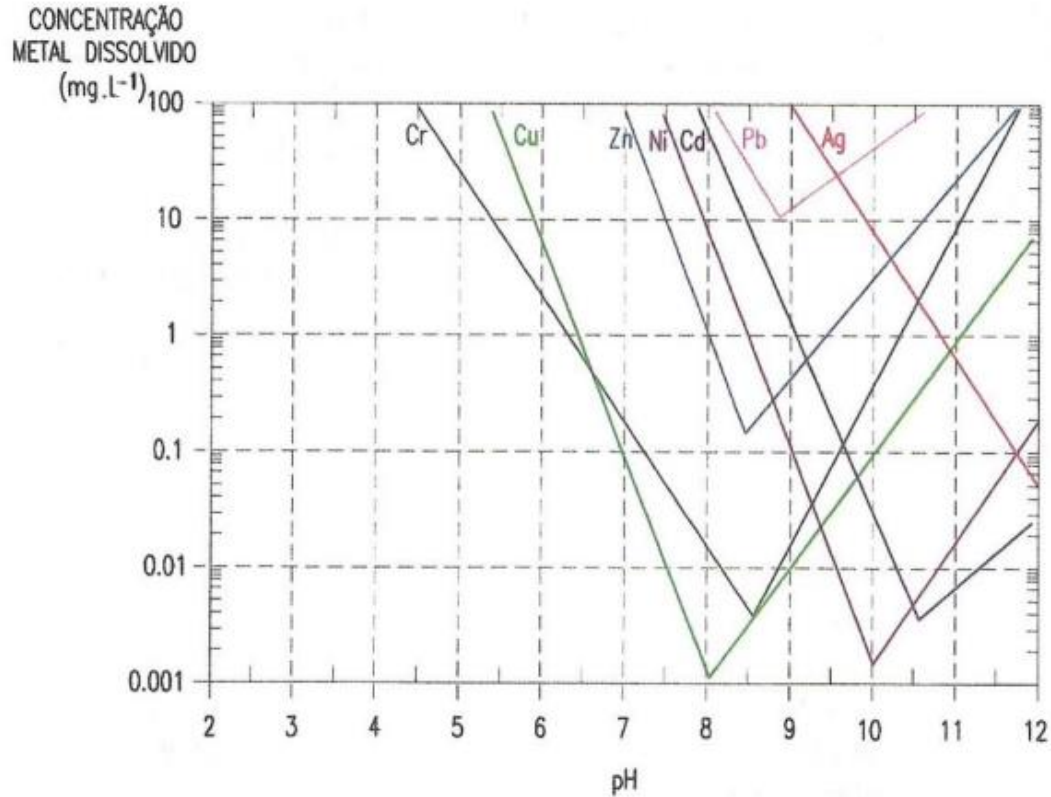
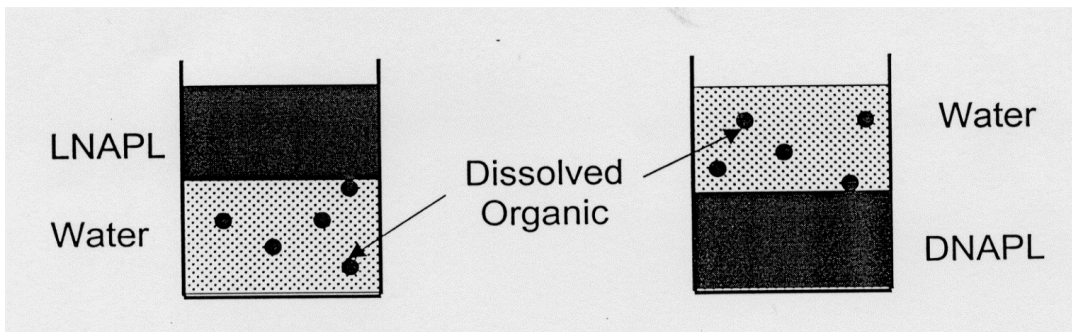


Figura 1. Solubilidade dos metais em função do pH
Fonte: Cavalcanti (2009)

CONTAMINANTES ORGÂNICOS: LNAPLs e DNAPLs



LNAPL

Densidade do líquido orgânico $< 1,0$
Light non-aqueous phase liquid

Benzeno
Tolueno

Combustíveis contendo
hidrocarbonetos

Óleos contendo hidrocarbonetos

DNAPL

Densidade do líquido orgânico $> 1,0$
Dense non-aqueous phase liquid

Tricloroeteno (TCE)
Percloroeteno (PCE)
Alcatrão de Hulha (fenóis
halogenados)
PCBs

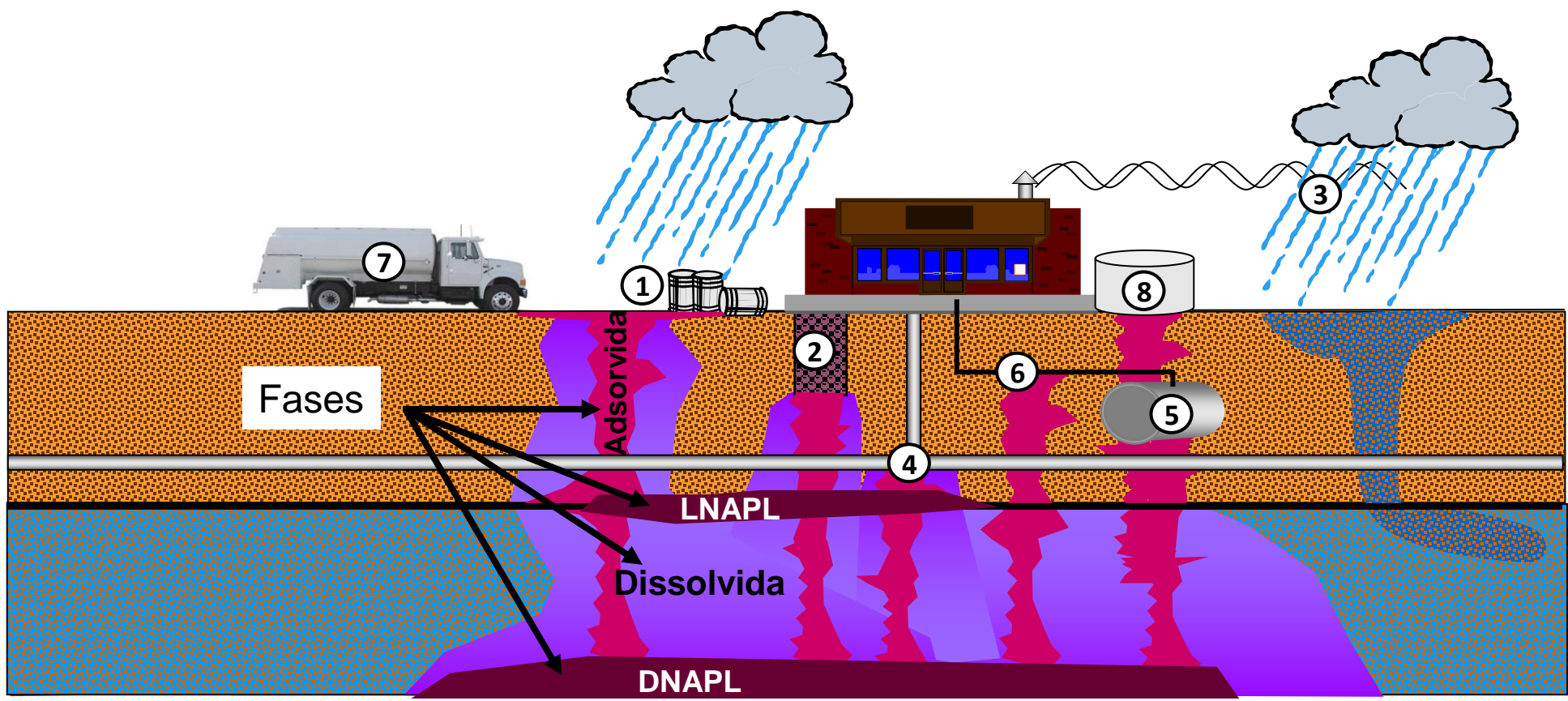
Fase Livre de LNAPL





MODELOS CONCEITUAIS DA CONTAMINAÇÃO

Vazamento de LNAPL e DNAPL

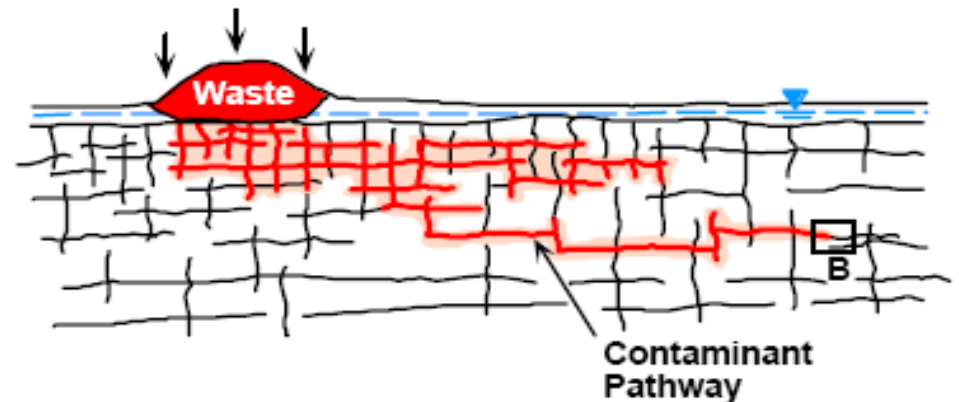
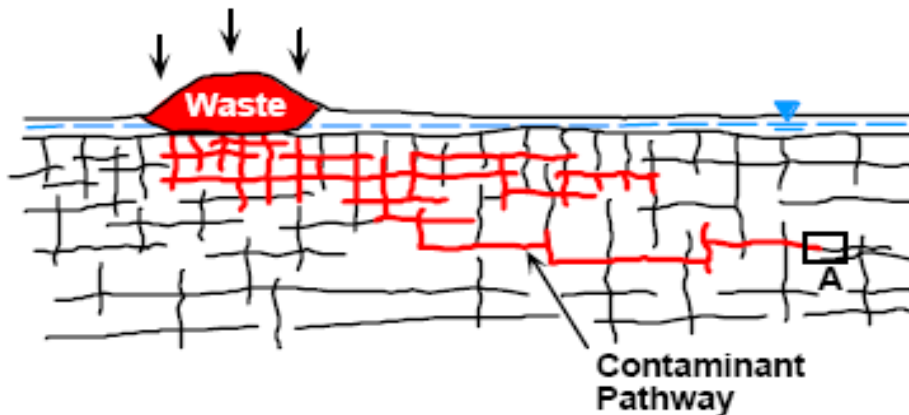


MODELOS CONCEITUAIS DA CONTAMINAÇÃO

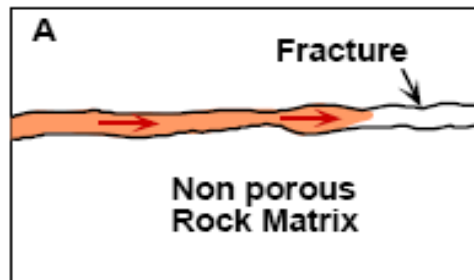
Vazamento de DNAPL X meio fraturado

Rocha Fraturada com matriz **não** porosa

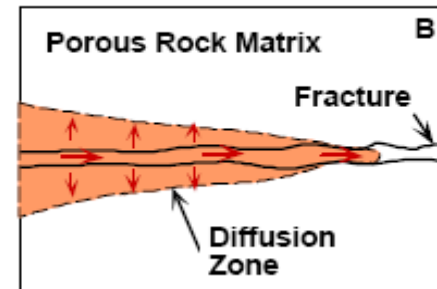
Rocha Fraturada com matriz porosa



ADVECTION IN FRACTURES

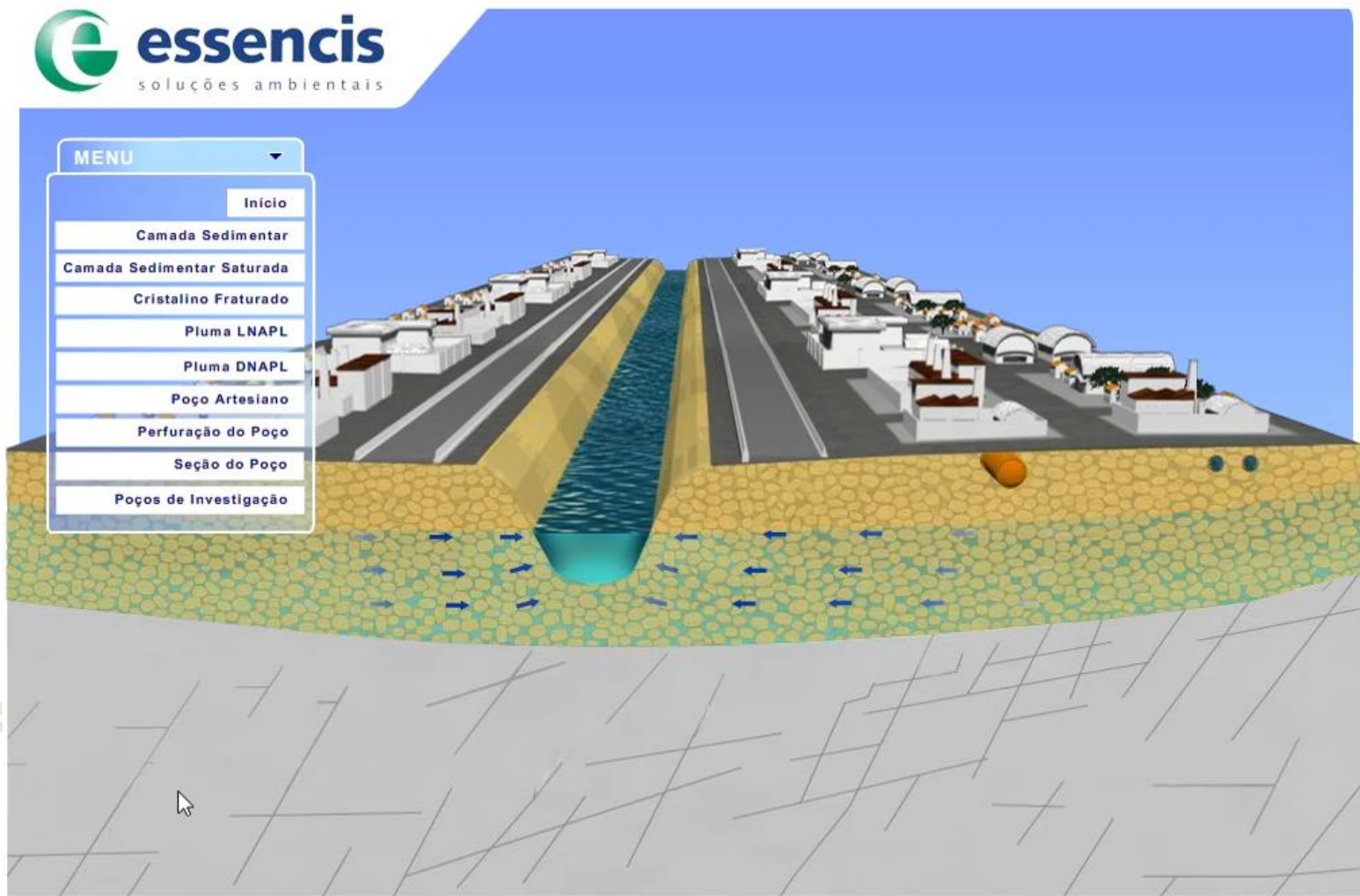


ADVECTION AND DIFFUSION



0.01 a 1 % de porosidade da matriz

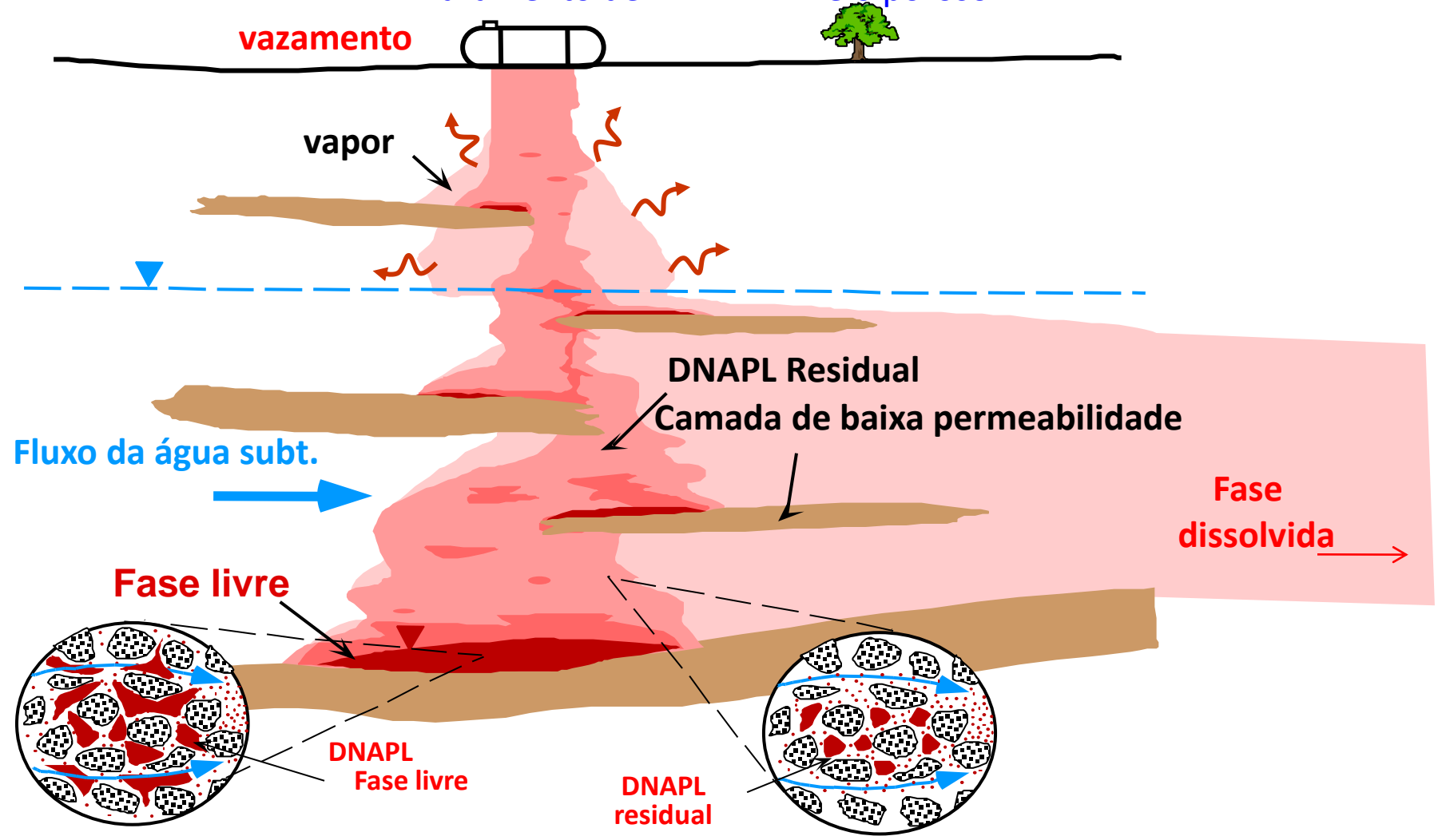
1 a 50 % de porosidade da matriz





MODELOS CONCEITUAIS DA CONTAMINAÇÃO

Vazamento de DNAPL X meio poroso



FONTES DE CONTAMINAÇÃO **POTENCIAL E PRIMÁRIA**

- **máquinas** para desengraxe de peças com solventes clorados, **com vazamento**;
- **tanques de armazenamento** de combustível, **com vazamento**;
- transformadores, com vazamento;
- **tubulações** para transporte de combustíveis **avariadas**;
- poços para infiltração de efluentes mal planejados e operados;
- **aterros sanitários e industriais**, ou **lagoas de tratamento de efluentes**, com projeto inadequado e **com vazamentos** nos sistemas de contenção;
- **lixões**;
- **redes de efluentes industriais e urbanos danificadas**;
- tanques sépticos danificados;
- fossas negras;
- **acidentes rodoviários e ferroviários** envolvendo combustíveis, solventes, efluentes e resíduos;
- **chaminés industriais emitindo gases, vapores e material particulado em desacordo com os padrões existentes**;
- equipamentos utilizados em atividades em que são aplicadas substâncias no solo (efluentes, resíduos, fertilizantes e defensivos agrícolas) de forma inadequada.



FONTES DE CONTAMINAÇÃO NATURAIS





FONTES DE CONTAMINAÇÃO NATURAIS

A Origem Natural da Poluição por Cromo no Aquífero Adamantina, Município de Urânia (SP)

Teores anômalos de cromo, algumas vezes ultrapassando o limite máximo permitido para consumo humano (0,05 mg/L), têm sido detectados nas águas subterrâneas de pelo menos 53 cidades da região noroeste do Estado de São Paulo. Esta pesquisa objetivou definir a origem do cromo nas águas subterrâneas em...

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-12022015-143410/>

Boletim IG-USP. Série Científica

Atual Arquivos Sobre ▾



[Início](#) / [Arquivos](#) / [v. 26 \(1995\)](#) / [nao definida](#)

Anomalia de cromo nas águas subterrâneas de urânia no noroeste do Estado de São Paulo

M. L. N Almodovar

USP; IG

A Pacheco

USP; Instituto de Geociências; Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada; Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas

PDF

Publicado
1995-01-01

<https://www.revistas.usp.br/bigsc/article/view/45141>





FONTES DE CONTAMINAÇÃO NATURAIS

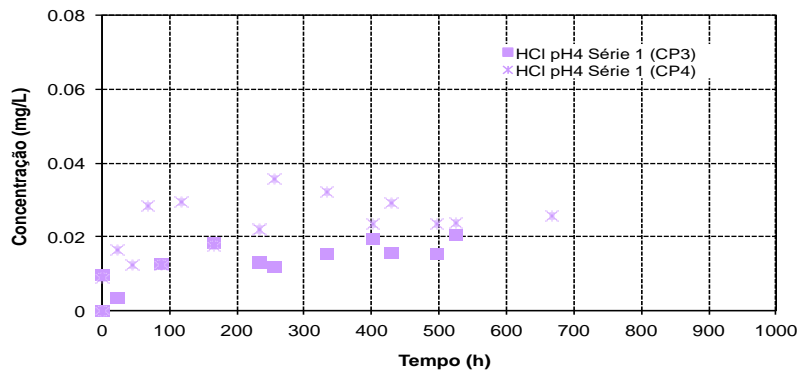
Argila laterítica

(Fonte: Tsugawa, 2004)

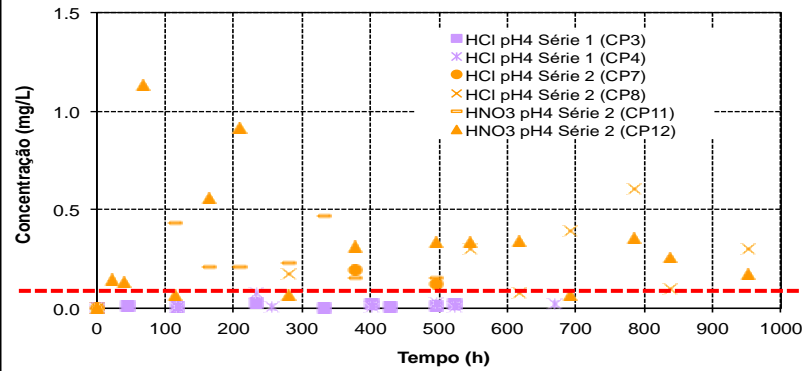
Liberação de diversos metais em ambiente ácido.

Soluções de HCl e HNO₃ - pH 4 e 1

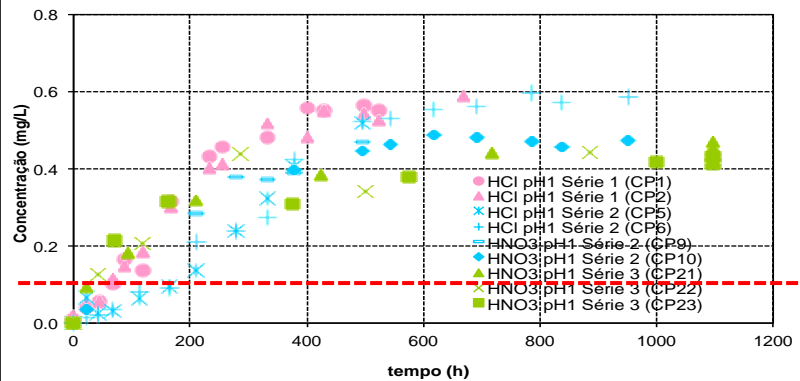
As - Reservatório



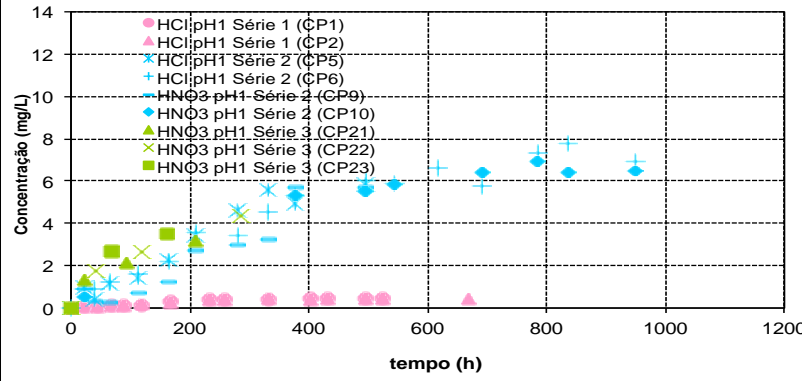
Pb - Reservatório



As - Reservatório



Pb - Reservatório



CETESB
As, Se, Pb
0,1 mg.L⁻¹

LOCAL A SER INVESTIGADO

- Qual o tipo de acesso (terra, pavimento, sem acesso) até o local?
- O terreno suporta caminhão e máquinas?
- Existe limitação de altura de equipamento (pé-direito baixo)?
- Existe fornecimento de água e energia no local?
- Requisitos de SSMA que devem ser cumpridos?

LOCAL A SER INVESTIGADO

Recuperação da área do Aterro Mantovani ganha novo reforço

📅 19/05/2020 /

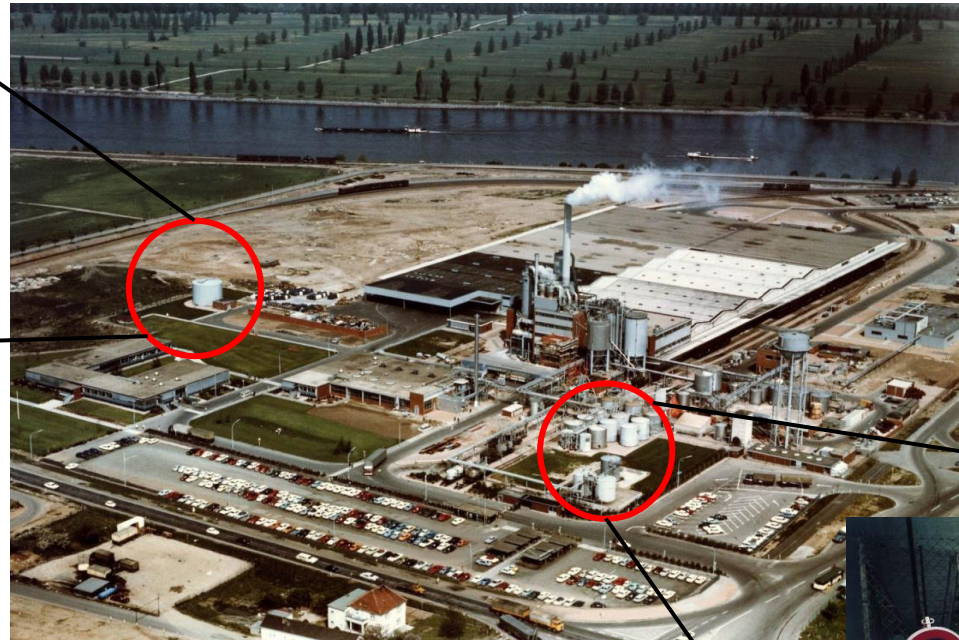


Antiga área de
descarte de
resíduos

LOCAL A SER INVESTIGADO



LOCAL A SER INVESTIGADO



Refinaria



LOCAL A SER INVESTIGADO

15/12/2020

Uso de equipamentos não tripulados evita exposição de trabalhadores a riscos

A segurança dos trabalhadores e comunidades é a prioridade da Vale. Por isso, foram adotadas tecnologias e soluções para aumentar a proteção das pessoas e evitar exposição a riscos, durante o processo de descaracterização de barragens a montante. Nessas estruturas, o acesso às áreas interditas já é feito com equipamentos (caminhões, tratores de esteira, escavadeiras, carregadeiras e motoniveladoras) não tripulados.

Nesse sistema, a equipe opera os equipamentos a partir de uma central de controle, montada fora da área de risco. A meta é treinar aproximadamente 500 profissionais para uso da tecnologia entre 2021 e 2022. Em novembro, a Vale começou a usar esses equipamentos nas obras da primeira fase de descaracterização da barragem B3/B4 (Mina Mar Azul, em Nova Lima).

Confira o vídeo e saiba mais sobre a tecnologia



Fonte: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/uso-de-equipamentos-nao-tripulados-evita-exposicao-de-trabalhadores-a-riscos.aspx>

Área de mineração



Fonte: Cortesia Carla Palomino Tinoco (Vale, 2022)



Plano de Investigação do Subsolo

Tudo depende do Modelo Conceitual da área elaborado nas etapas de investigação anteriores.

- Método de investigação (rápidos, diretos e/ou indiretos).
- Planejamento de Amostragem
- Equipamentos para perfuração
- Locais a serem perfurados e número de pontos de prospecção
- Metodologia para coleta e preservação de amostras (água e solo)
- Contaminantes de interesse
- Definição do número de amostras para análise química
- Outros ensaios (permeabilidade, parâmetros geotécnicos, microorganismos)
- Escolha do laboratório para análises químicas, físico-químicas e geotécnica.



MÉTODOS DE PROSPECÇÃO DO SUBSOLO

- **Métodos de resposta rápida:**
 - Soil Gas Survey (SGS) →
 - Membrane Interface Probe (MIP) →
 - GORE Sorber screening survey →
 - Cromatógrafo portátil
 - Espectrômetro portátil por Fluorescência de RX →
- **Métodos indiretos: Geofísica** →
- **Métodos diretos:** →
 - Tipo de equipamento de perfuração.
 - Coleta de amostras de água subterrânea.
 - Coleta de amostras de solo
 - Outros meios: resíduos, gases, sedimentos e água superficial.

PLANEJAMENTO DA AMOSTRAGEM

Definição:

- Meios amostrados (água, solo, ar).
- Parâmetros a serem analisados (químicos, físicos, geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos).
- Pontos de coleta.
- Número de amostras.
- Profundidade de coleta.
- Métodos de análises.
- Amostras “brancas” e duplicatas.
- Preservação da amostra para controle e garantia da qualidade.
- Tipos de equipamentos e métodos de coleta.
- Armazenamento e transporte das amostras.
- Validade das amostras.
- Procedimentos de campo.
- Formulários de campo.
- Cadeia de custódia e identificação das amostras.

MÉTODOS RÁPIDOS

Soil Gas Survey (SGS)



Perfuração com martetele roto-percussivo.

(Fonte: Soriano, 2009)

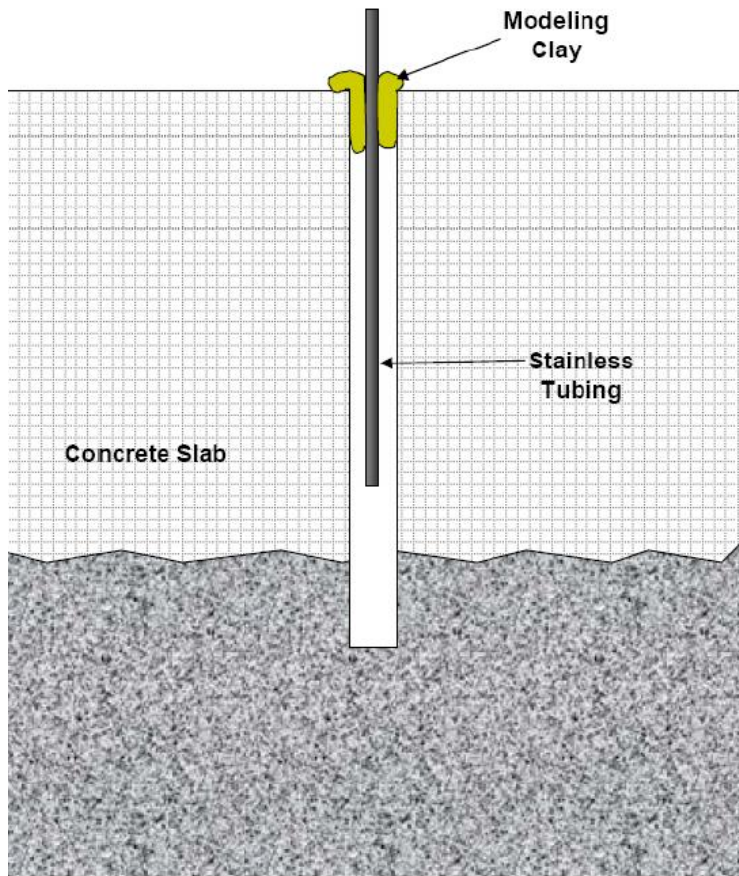


Perfuração com perfuratriz roto-percussiva (GeoHamer adaptado)

(Fonte: Manual IPT, 2014)

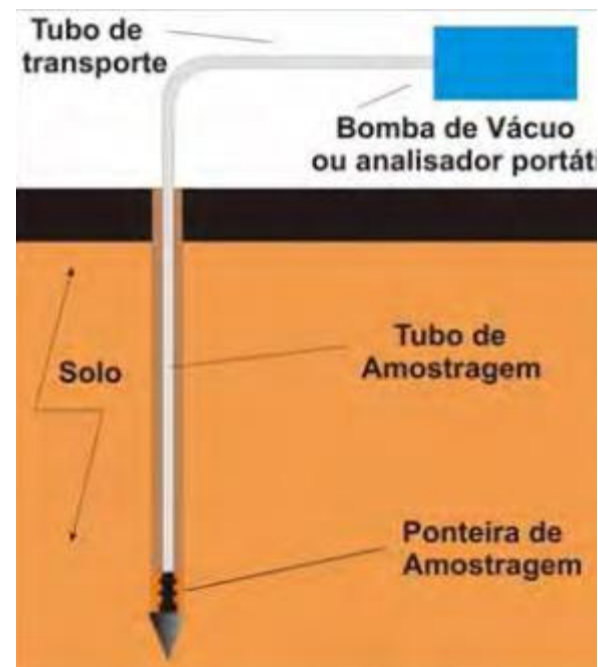
MÉTODOS RÁPIDOS

Soil Gas Survey (SGS)



Inserção de um tubo amostrador e impermeabilização superior.

(Fonte: Tomlinson, Derek (2008) – ERM)



Inserção de uma sonda ou ponteira.

(Fonte: Soriano, 2009)



Sonda ou ponteira amostradora

(Fonte: Soriano, 2009)

MÉTODOS RÁPIDOS

Soil Gas Survey (SGS)



Purga utilizando bomba à vácuo manual.

(Fonte: Soriano, 2009)



Mediação de gás utilizando Gastech Innova SV

(Fonte: Soriano, 2009)

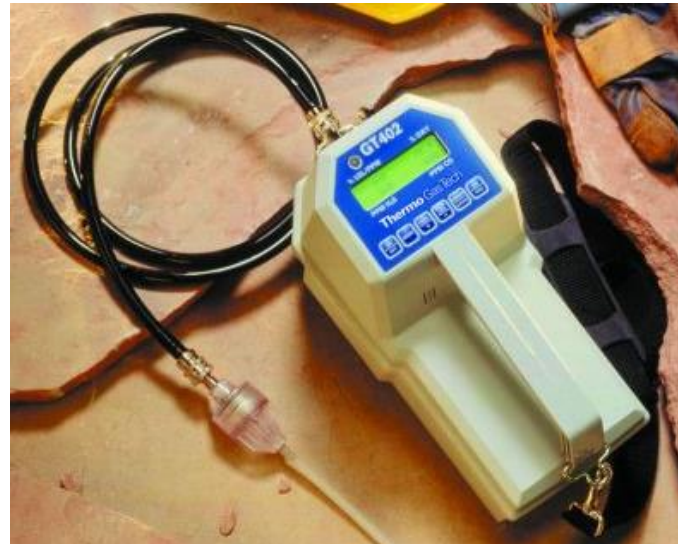
MÉTODOS RÁPIDOS

DECTORES - Soil Gas Survey (SGS)



Detector de gases MiniRAE
(PID - photoionisation
detector)

(Fonte: Miller Consultoria, 2004)



Detector de gases Gastech GT402

(Fonte: Thermo Scientific)



Detector de gases Gastech
Innova SV (FID – flame
ionisation detector)

(Fonte: Hidrosuprimentos, Clean
Environmental)

MÉTODOS RÁPIDOS

DECTORES - Soil Gas Survey (SGS)

PID - photoionisation detector

- Ionização do gás por luz ultravioleta
- Características:
 - Não ioniza CO₂, CO e metano, portanto apropriado **para baixas concentrações de VOCs.**
 - Não necessita de H₂ que é um gás explosivo.
 - Faixa de medição 0-30 ppm com **resolução de 1ppm**

FID - flame ionisation detector

- Ionização do gás por chama
- Características:
 - Apropriado para praticamente todos os compostos orgânicos.
 - **Detecta o metano.**
 - Faixa de medição de 0-5 ppm com **resolução de 0,1 ppm**

MÉTODOS RÁPIDOS

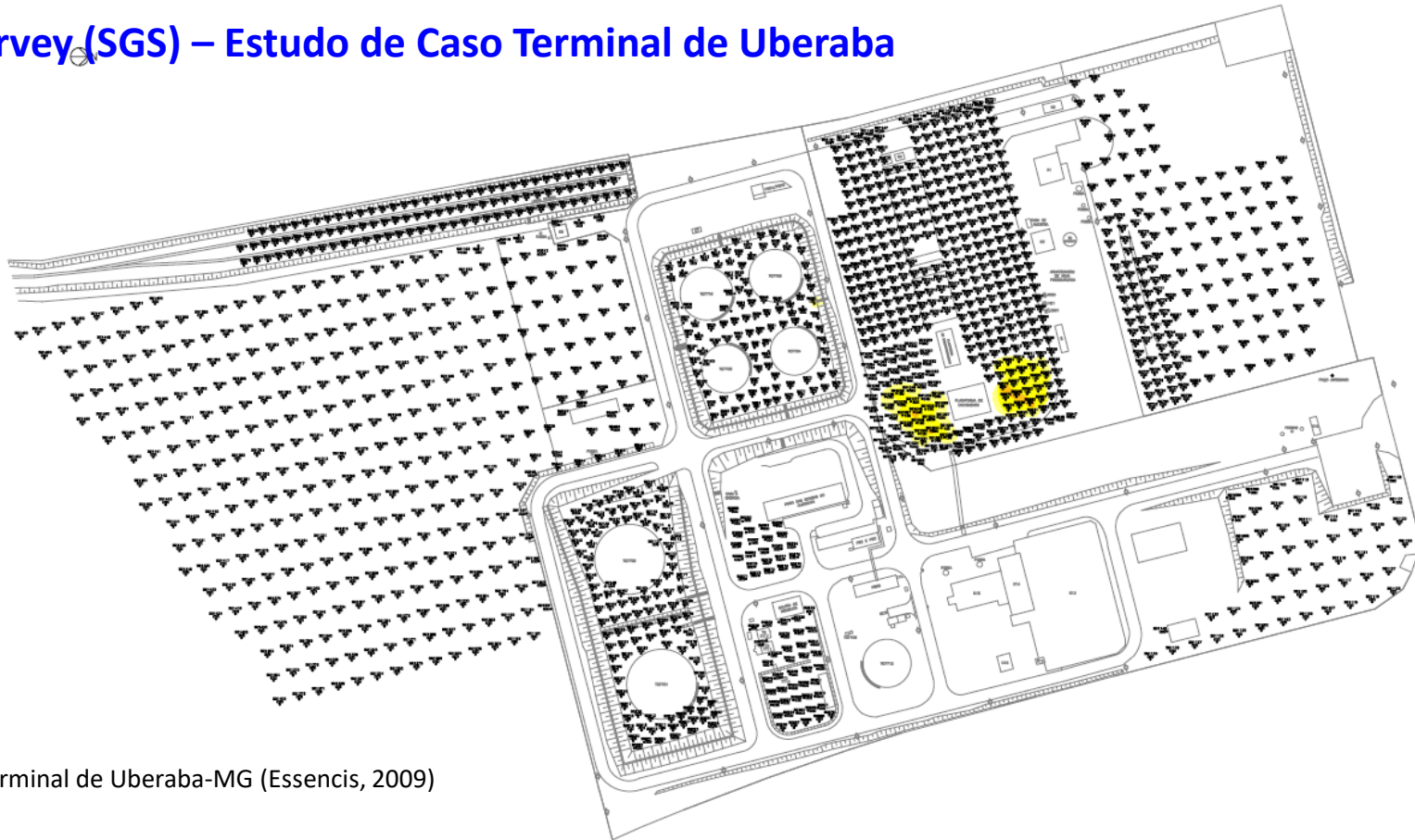
Soil Gas Survey (SGS)

- Técnica comumente utilizada para aumentar as informações da área e melhor orientar a localização dos pontos para uma investigação direta (sondagem e poços de monitoramento).
- Aplicado para identificar VOC, SVOC e outros gases (ex. metano, CO₂, CO, SO₂, H₂S, NH₃, Cl₂, etc).
- Técnica rápida e barata.
- Medição realizada em uma malha com distância regular e profundidades pré-determinadas.
- Cravação de uma ponteira que permite a migração de vapores até o ponto de medição.
- Equipamentos de medição:
 - PID – equipamento portátil de leitura de gases pela detecção por fotoionização (VOC).
 - FID – equipamento portátil de leitura de gases pela detecção por ionização de chama (VOC e SVOC).



MÉTODOS RÁPIDOS

Soil Gas Survey (SGS) – Estudo de Caso Terminal de Uberaba



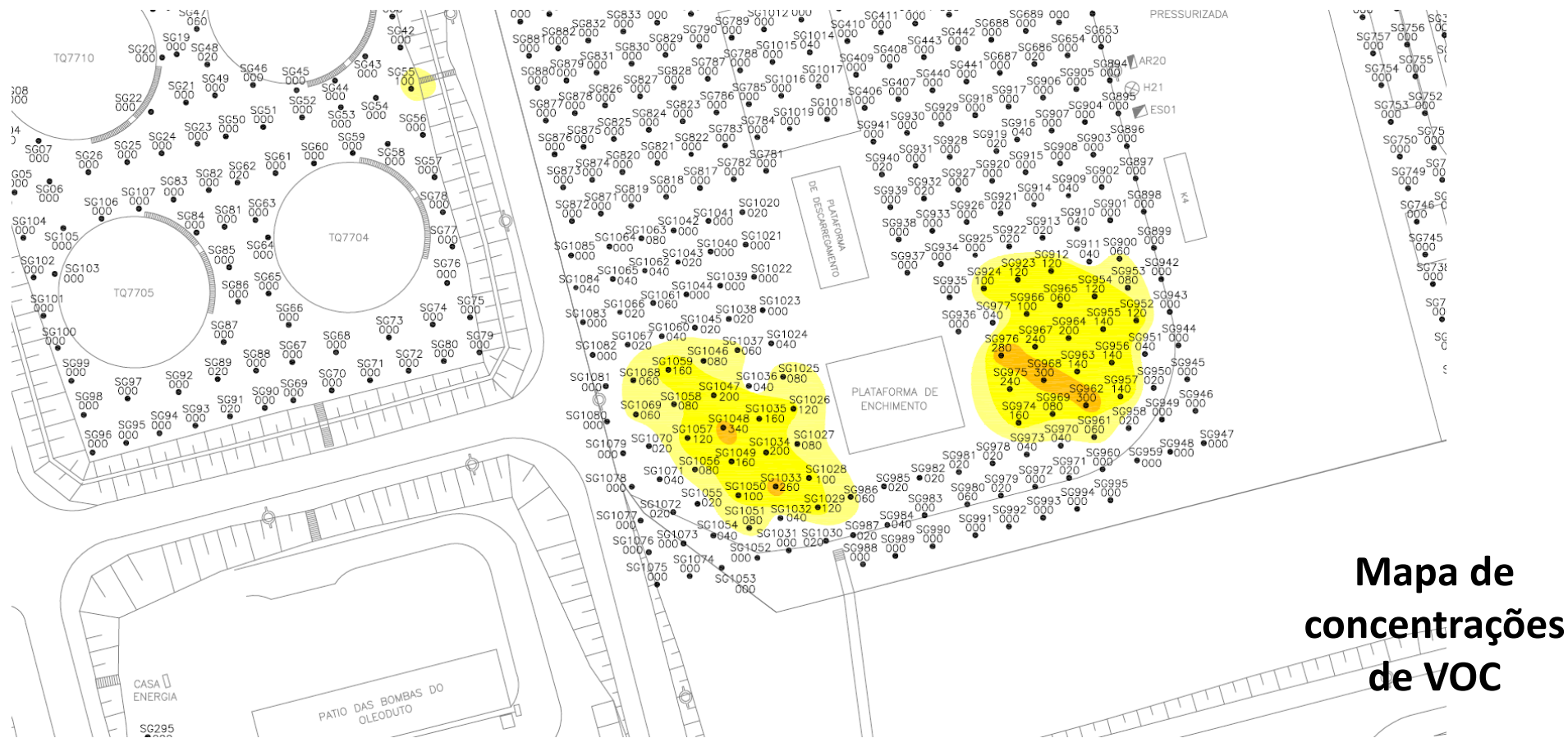
Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

- **Medição de VOC no solo sub-superficial** (GASTECH Soil Vapor série GT ou INNOVA)
- **~1469 sondagens para leitura de VOC no solo:**
 - Profundidades de 0,5 e 1,0m
 - Espaçamento de 5 a 10 m



INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA MÉTODOS RÁPIDOS

Soil Gas Survey (SGS) – Estudo de Caso Terminal de Uberaba

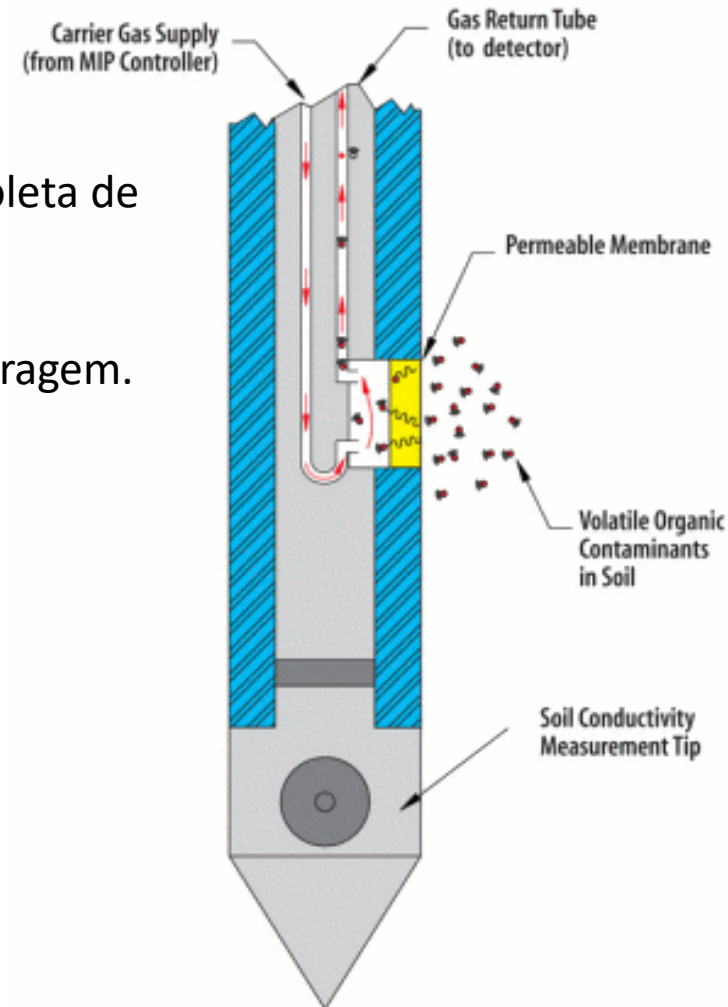


**Mapa de
 concentrações
 de VOC**

MÉTODOS RÁPIDOS

Membrane Interface Probe (MIP)

- Mesmo procedimento do SGS
- Utiliza membrana permeável.
- Vantagem é a medição de vapores abaixo do nível d'água e coleta de dados em tempo real.
- Desvantagem: necessidade de um equipamento GEOprobe (percussivo), o que pode dificultar o acesso ao local da amostragem.



(Fonte: GeoProbe.com)

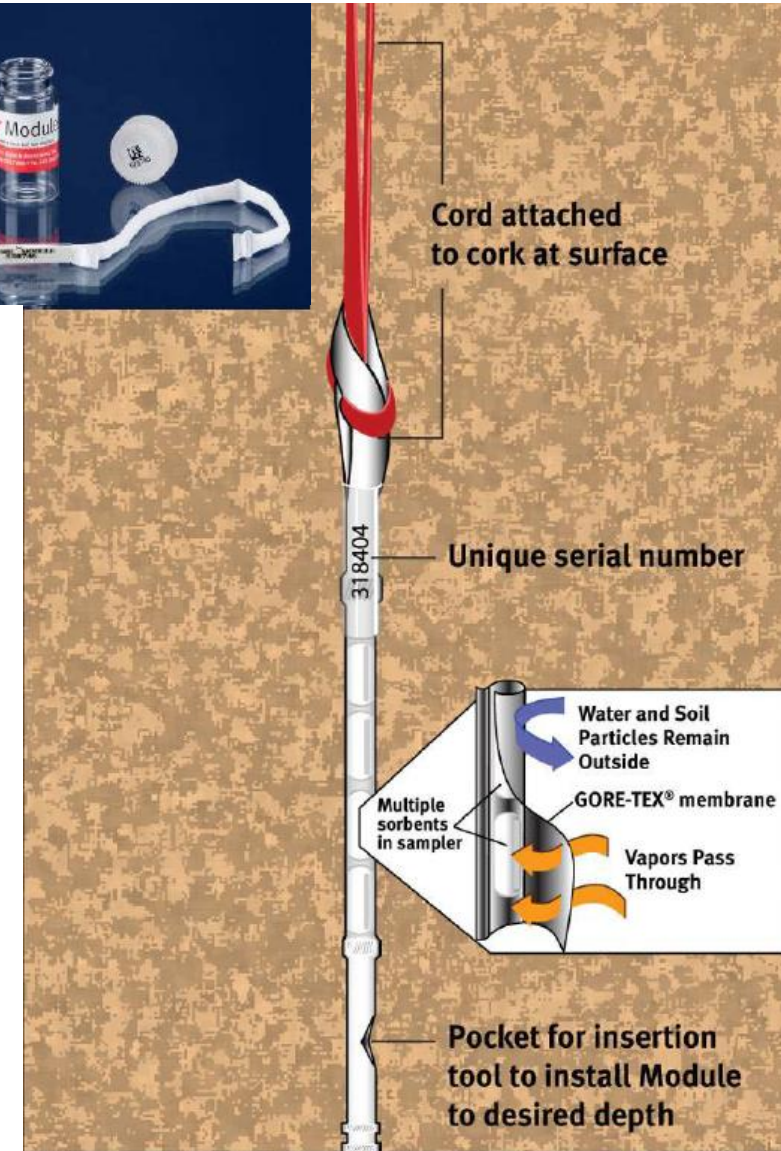
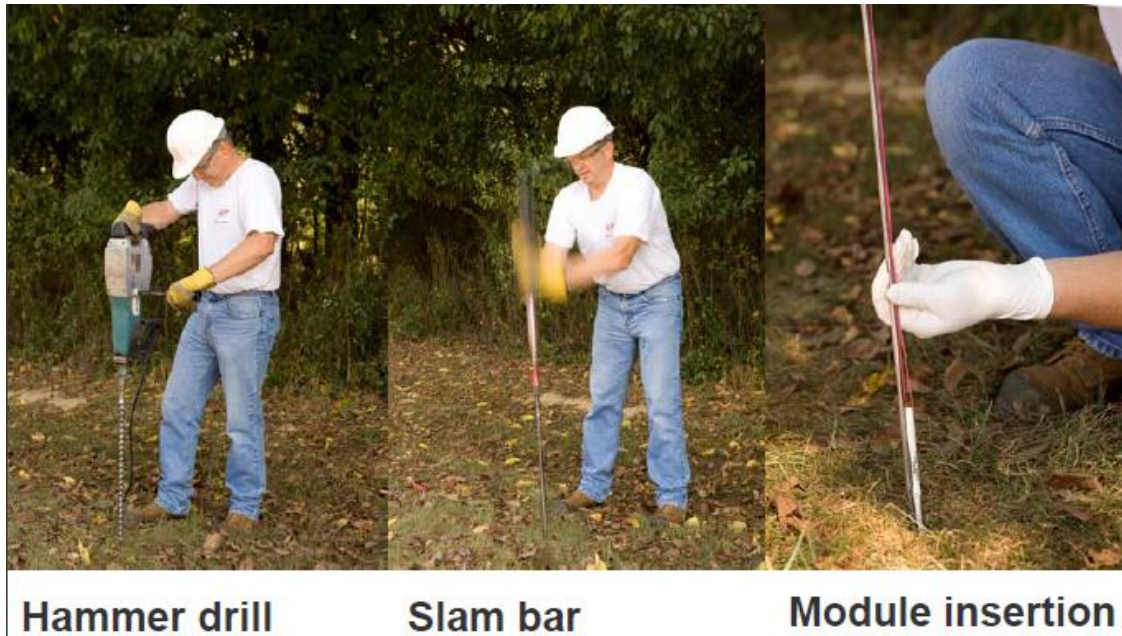
<https://www.youtube.com/watch?v=Wol5iZ1GXeg&t=18s>



MÉTODOS RÁPIDOS

GORE Sorber screening survey

- Mesmo procedimento do SGS.
- Utiliza membrana GORE-TEX®: quimicamente inerte, impermeável à água e permeável ao ar.
- Vantagem é a medição de vapores abaixo do nível d'água e acesso a locais mais difíceis que o MIP.
- Desvantagem: atinge menores profundidades.



MÉTODOS RÁPIDOS

Cromatógrafo portátil

- Análise de ar, solo e água.
- Identificação em menos de 10 min.
- Resultado na tela e memória de armazenamento.
- Exibição dos cromatogramas no computador (tempo real).



CROMATÓGRAFO FROG-5000TM
(Fonte: Clen Environmental)

Espetrômetro portátil de Fluorescência de RX

- Capaz de quantificar os elementos químicos que compõem um objeto.
- Ensaio não destrutivo.
- Amostras líquidas, sólidas, gasosas.



(Fonte: Ometto)



MÉTODOS RÁPIDOS

Difratometro de Raio-X portátil



MÉTODOS INDIRETOS

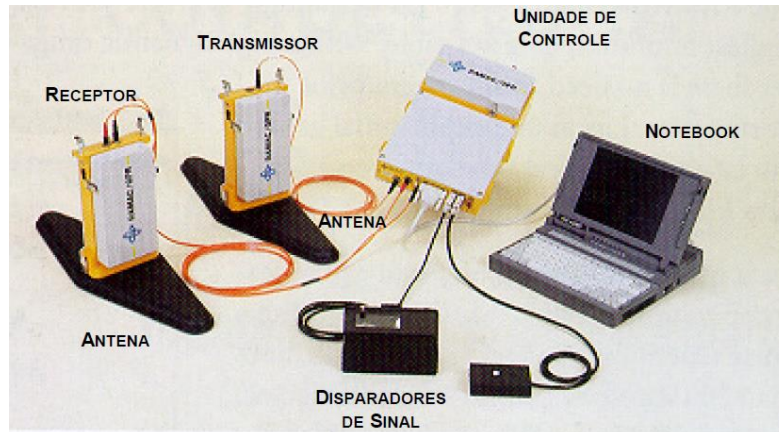
Métodos Geofísicos

- ABNT-NBR 15935/2011 – Investigações Ambientais – Aplicações de Métodos Geofísicos.
- Aplicação:
 - Áreas extensas.
 - Pequeno conhecimento prévio da área.
 - Caracterização geológica e hidrogeológica.
 - Contato solo/rocha e sistemas de fraturas/falhas.
 - Interferente subterrâneos.
 - Localização de fontes primárias de contaminação.
 - Delimitação de área de descarte de resíduos.
 - Delimitação de áreas contaminadas.

MÉTODOS GEOFÍSICOS

GPR – Ground Penetrating Radar (Geo-radar)

- Propriedade física: permissividade dielétrica (constante física que descreve como um campo elétrico afeta e é afetado por um meio).
- Princípio: **Onda eletromagnética refratada e refletida.**
- Execução: perfis ao longo de linhas a uma velocidade de 0,5-2,0 km/h (detalhado) ou >8,0 km/h (reconhecimento)
- Alta frequência: melhor definição; Baixa frequência: maior profundidade.
- Identifica corpos de 1 cm-1m; apropriado para **identificação de interferentes subterrâneos.**
- Capaz de identificar **contaminações por compostos orgânicos.**



(Fonte: Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, 3ed. CETESB, 2021)



Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

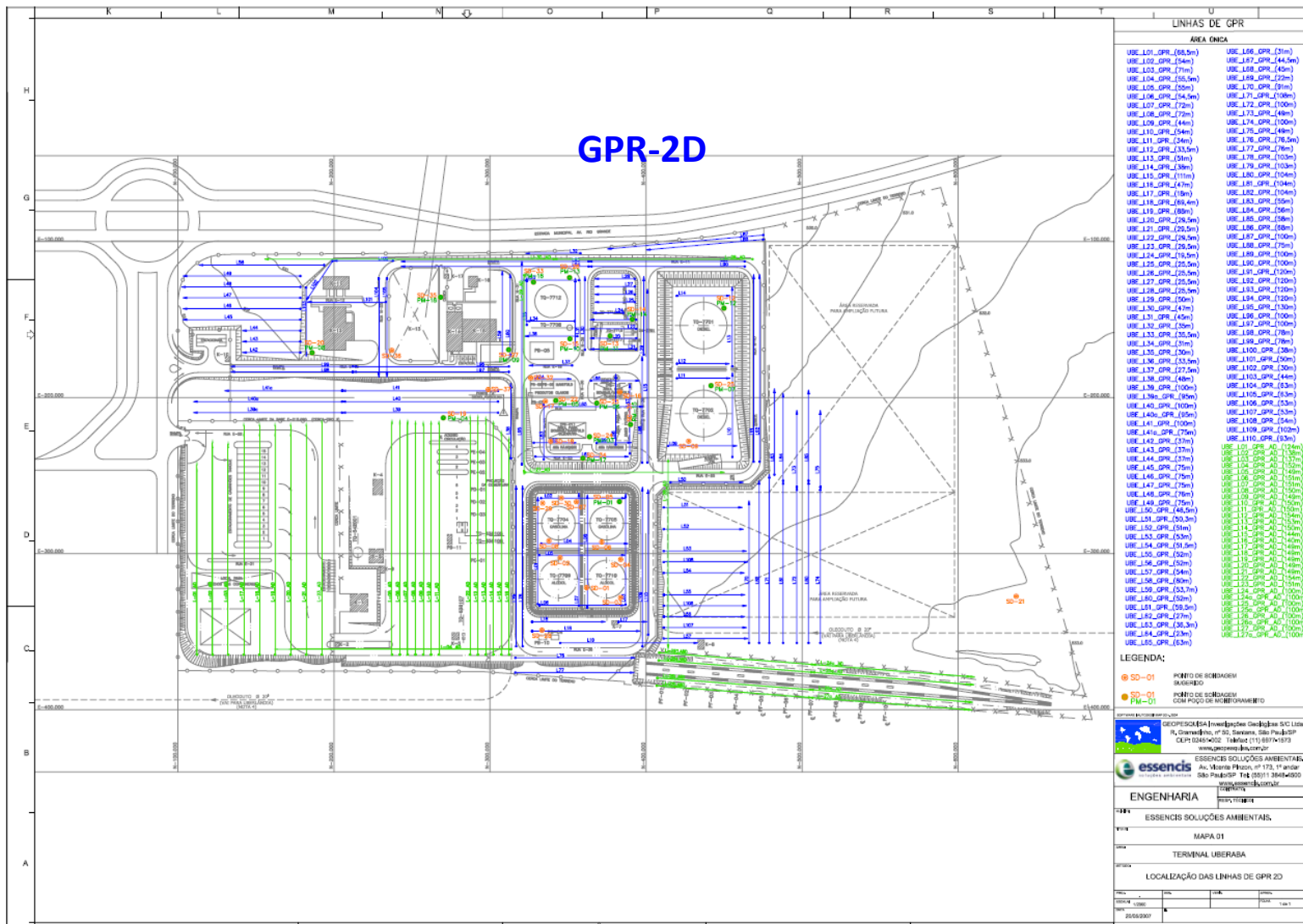
MÉTODOS GEOFÍSICOS

Obra no Terminal de Uberaba-MG

- **140 perfis de GPR 2D** (200MHz, até 10m de profundidade, processamento com REFLEXW);
- **49 perfis de Imageamento Elétrico** (8 níveis de aquisição, até 25m de profundidade);
- **97 perfis de GPR 3D, totalizando 4900m²** (200MHz, até 10m de profundidade);
- **Resultados;**
 - **interfaces geológicas;**
 - **áreas escavadas/estruturas subterrâneas;**
 - **12 anomalias** associadas a potencial contaminação por hidrocarbonetos;

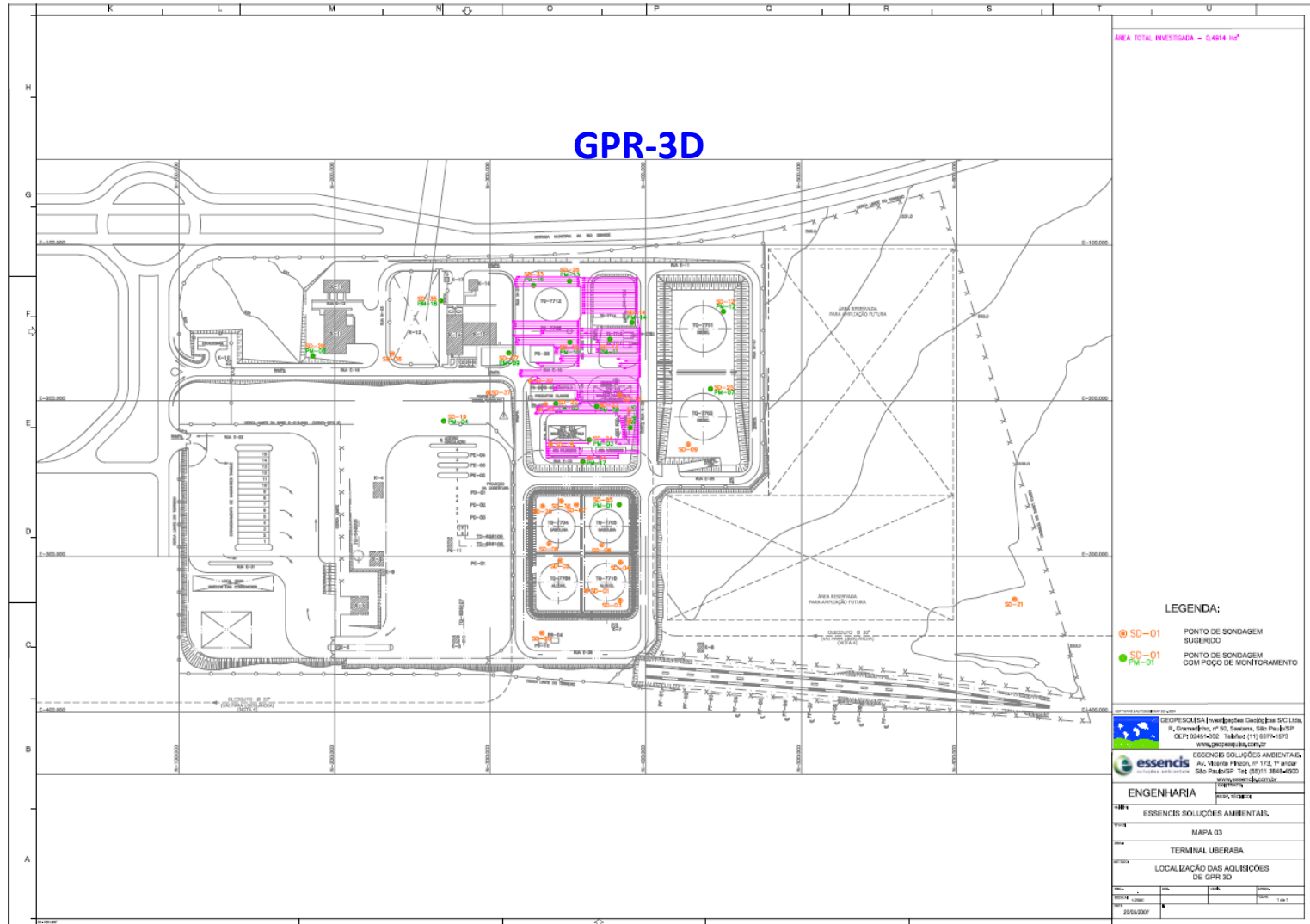


MÉTODOS GEOFÍSICOS



Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

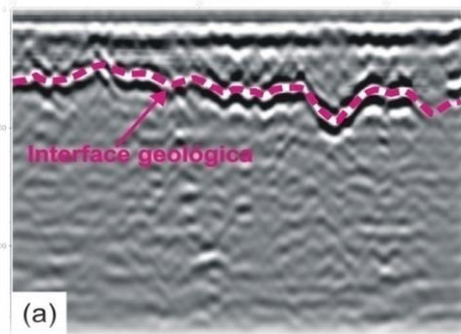
MÉTODOS GEOFÍSICOS



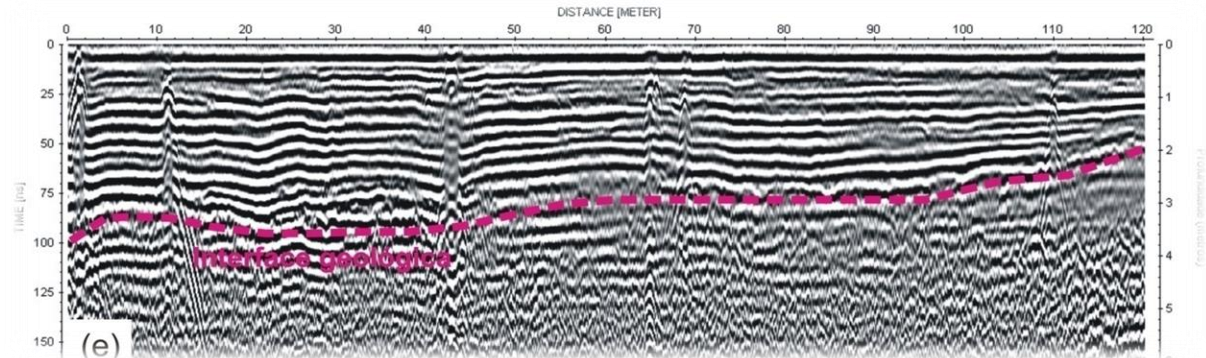
Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

MÉTODOS GEOFÍSICOS

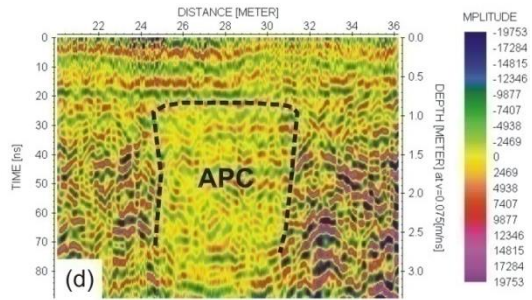
Resultados GRP



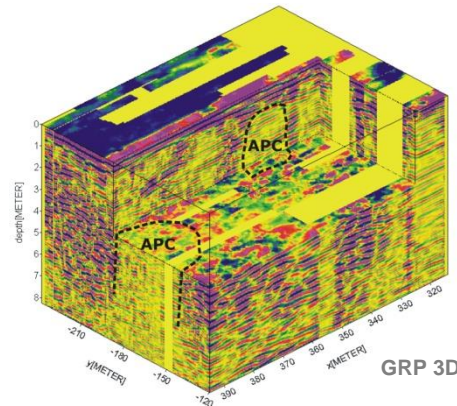
(a) GRP 2D



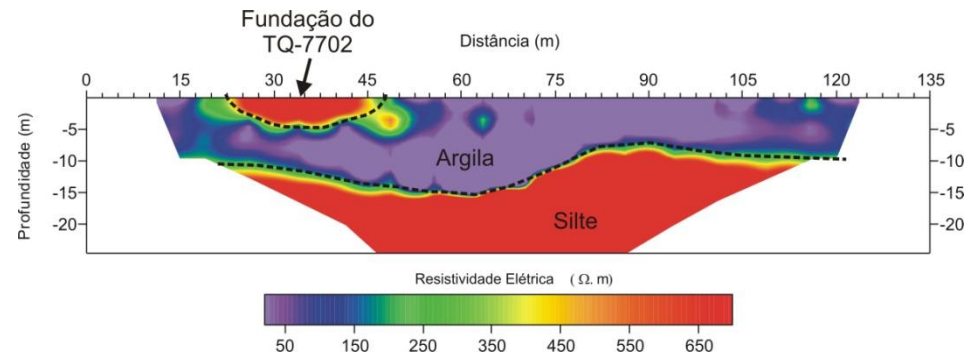
(e) GRP 2D



(d) GRP 2D



(c) GRP 3D



Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

MÉTODOS INDIRETOS

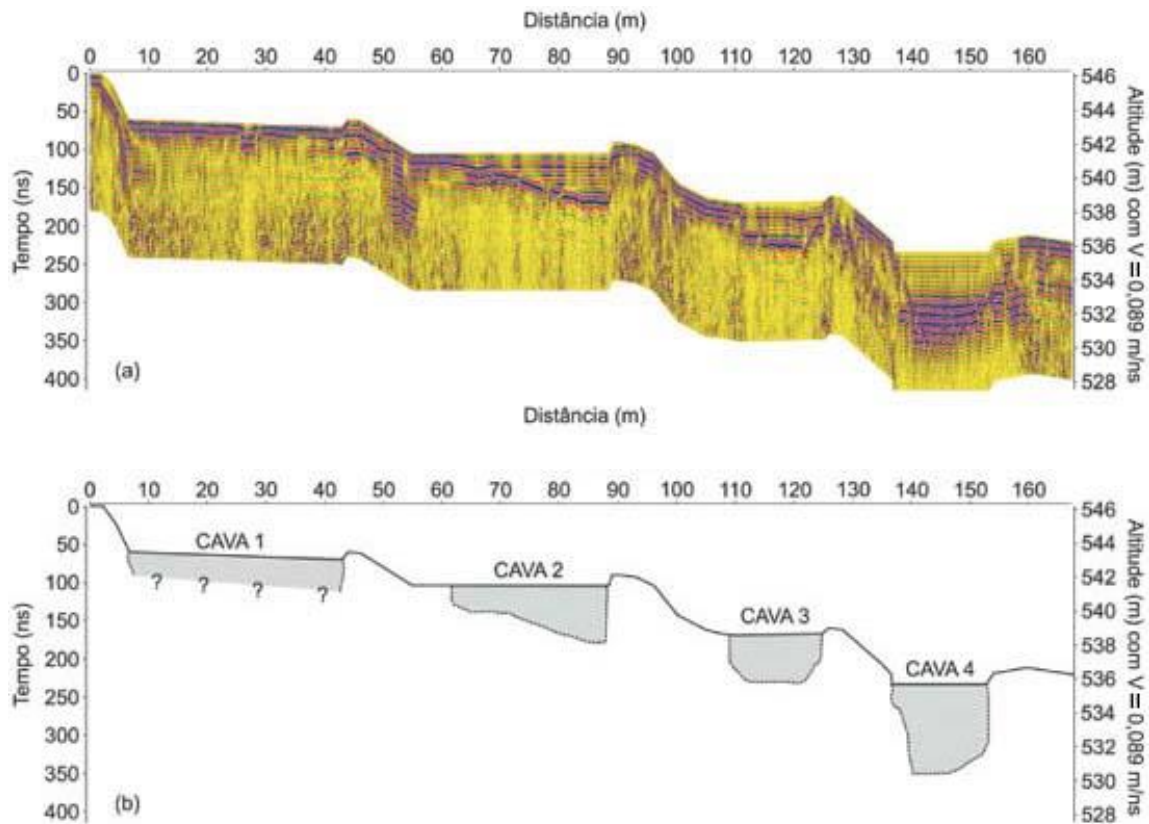


Figura 12 – (a) Seção GPR realizado perpendicularmente a todas as cavas. (b) Modelo interpretado a partir da atenuação do sinal EM, marcando assim os limites e as bases das cavas.

MÉTODOS DIRETOS



Perfuração
Amostragem de solo



Instalação de poços de monitoramento
Amostragem de água subterrânea

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado manual



Perfuração com trado manual e tripé de sondagem tipo SPT.

Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)



Perfuração com trado manual e tripé de sondagem tipo SPT.

Posto de combustível (Miller, 2004)

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trados



Trado cavadeira



Trado caneco ou concha



Trado helicoidal



Trado holandês



Trado espiral fechada e aberta

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado manual

Vantagens

- Não requer fluidos de perfuração.
- Permite obter amostra indeformada (Shelby).
- Grande mobilidade.

Desvantagens

- Desmoronamento do furo abaixo do NA.
- Limitação de profundidade (20 m).
- Processo lento.
- Diâmetro do furo limitado a 10”
- Presença de cascalhos impedem avanço, assim como solos muito duros.

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão

Revestimento



Martelo



Amostrador



TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão

Amostra no amostrador



Liner para coleta de amostra



Amostra no liner



TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão

Vantagens

- Adequado para a maioria dos solos.
- Adequado para solos muito coesos e presença de cascalhos.
- Grande mobilidade.
- O revestimento garante a estabilidade do furo e evita a contaminação cruzada.

Desvantagens

- Velocidade pode ser baixa.
- Deslocamento de sedimentos não consolidados para o fundo do revestimento.
- Revestimento pode causar problemas na hora de se instalar o poço.

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão mecanizada

Power Probe AMS

- Equipamento percussivo (martelo hidráulico) de cravação contínua (Direct push).
- Amostragem de solo Direct Push pelo método Dual Tube: revestimento contínuo do furo de sondagem durante a amostragem.
- Amostragem de solo pontual ou contínua “Pistom Sampler”:
amostrador vai fechado até a cota de amostragem.



Fonte: ECD Ambiental

Geoprobe



Fonte: IPT

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão mecanizada

- Amostragem de água Direct Push.
- Amostragem de vapores do solo.
- Injeção de reagentes para remediação.
- É possível acoplar cabeçote rotativo para realizar sondagem com trados helicoidais.
- Realização de ensaios: CPT-cone penetration test, Piezocone (CPTu-cone penetration Test with pore pressure) e Piezocone de resistividade (RCPTu).

Power Probe AMS



Fonte: ECD Ambiental

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão mecanizada

Vantagens

- Perfuração é rápida.
- Não utiliza fluidos de perfuração.
- Mobilidade.
- Baixa perturbação do local por ser pequeno.
- Permite a instalação de outros equipamentos na ponta de cravação (aspersores de ar – air sparging e extração de vapores)

Desvantagens

- Perfuração apenas em solo.
- Pequeno diâmetro de perfuração, dificultando a instalação de poços de monitoramento.

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão por lavagem

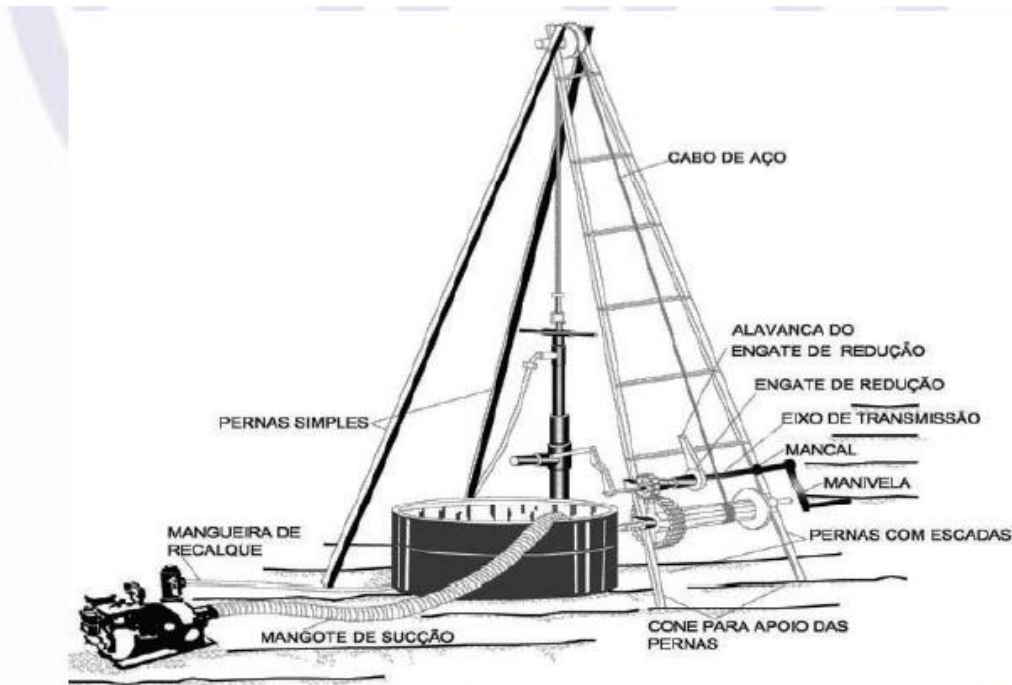


Figura 6 — Esquema de equipamento a percussão com lavagem



Fonte: <https://blog.apl.eng.br/sondagem-a-percussao-conheca-e-entenda-os-procedimentos-executivos/>

Fonte: NBR 15.492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade Ambiental - Procedimento

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Percussão por lavagem

Vantagens

- Quantidade mínima de equipamentos.
- Perfuração é rápida.
- Mobilidade.

Desvantagens

- Uso de água pode alterar a qualidade do solo e da água subterrânea.
- Grandes quantidades de água.
- Presença de cascalhos pode limitar a perfuração.

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado mecanizado - espiral



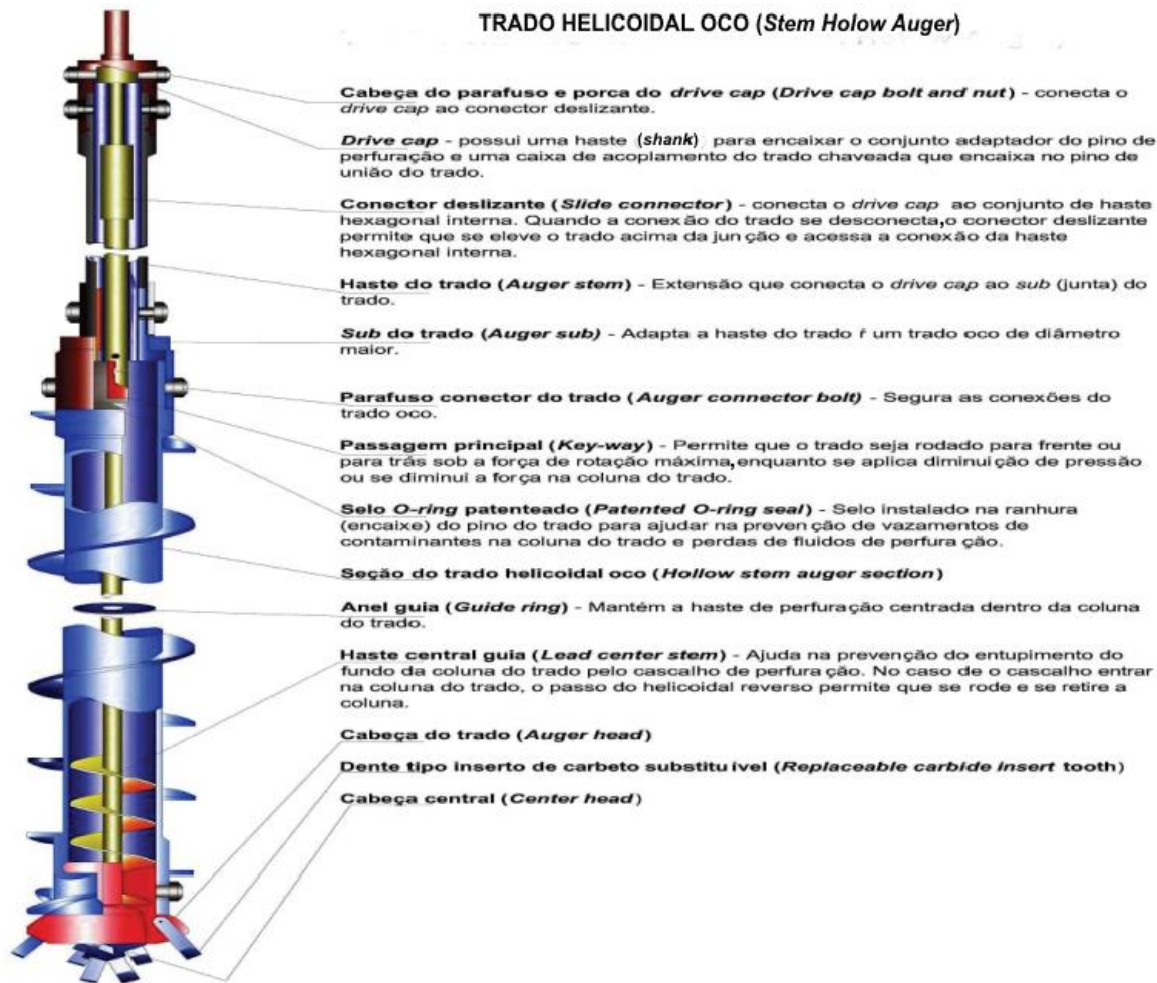
- Perfuração pelo avanço da broca e retirada de amostra pelo giro reverso.

- Não é um método bom para coleta de amostra (potencial de contaminação cruzada).

Trado mecanizado movido por motor pequeno e trado espiral

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado mecanizado – helicoidal oco (Hollow stem auger)



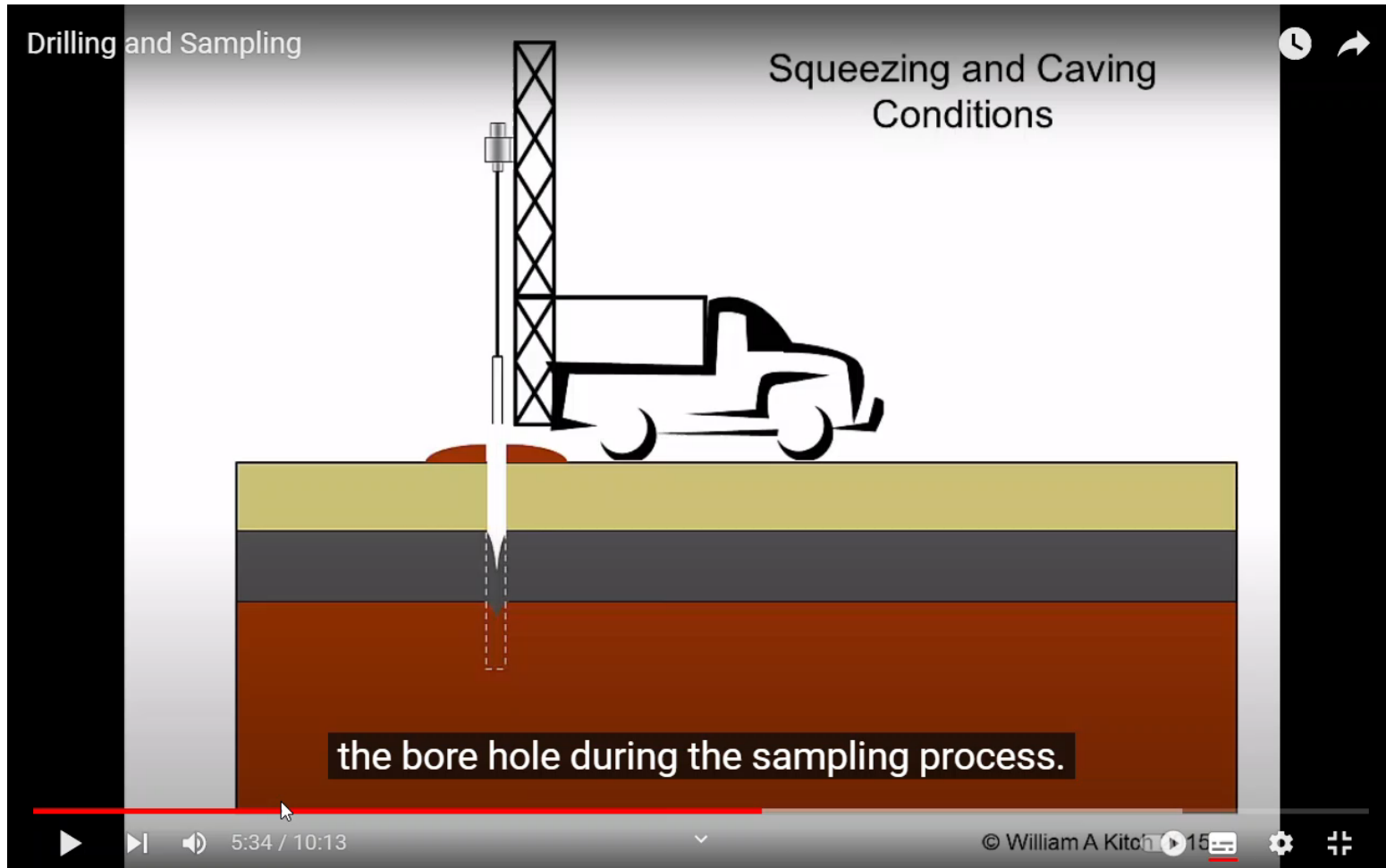
- Trabalha com 2 trados:
 - Externo (trado helicoidal contínuo) com broca de corte na parte inferior. Serve como revestimento temporário.
 - Interno (escavação e coleta de amostra).
- Ideal para instalação de pocos de monitoramento.
- Permite a coleta de amostra indeformada (Shelby).
- Permite coleta de amostra de água durante a perfuração (seção de trado oco com filtro)

Figura 2 — Trado helicoidal oco (*Hollow stem auger*)

<https://www.youtube.com/watch?v=i9eQcc7iIVw>

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado mecanizado – helicoidal oco (Hollow stem auger)



TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado mecanizado – helicoidal oco (Hollow steam auger)

Vantagens

- Normalmente, não utiliza fluido de perfuração.
- Pode obter amostra contínua durante a perfuração.
- Perfuração moderadamente rápida.

Desvantagens

- Ineficiente para determinar a profundidade precisa da amostra.
- Perfuração difícil em materiais secos e finos e com cascalhos.

TIPO DE EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA COLETA DE SOLO, ÁGUA E GASES

Trado mecanizado – helicoidal sólido



- Menos eficiente na instalação de poços de monitoramento.
- Parede do furo pode desmoronar.
- Ineficiente para determinar a profundidade precisa da amostra.
- Muito usado em fundações para implantação de estacas.

AMOSTRAGEM DE SOLO

Procedimentos:

- ABNT-NBR 15492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento.
- ABNT-NBR 16434/2015 – Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos – Análise de compostos orgânicos voláteis: Procedimento
- ABNT-NBR 16435/2015 – Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas: Procedimento
- Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas (3ed.) – aguardando lançamento
- Decisão Diretoria DD nº038/2017

Atividades:

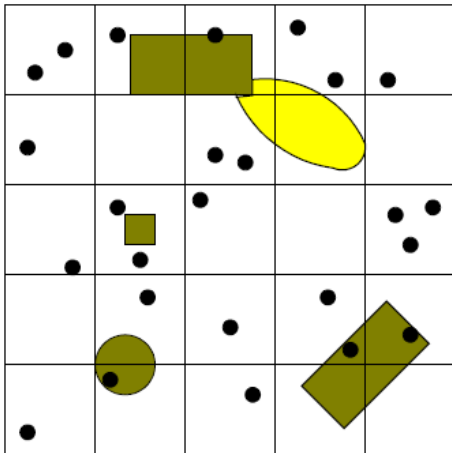
- Definição da [estratégia de amostragem](#) e pontos de coleta.
- [Método de coleta](#) de amostras de solo, preparo das amostras em campo, medições de campo.
- [Descrição](#) geológico-geotécnica do solo.

AMOSTRAGEM DE SOLO

Principais estratégia de amostragem

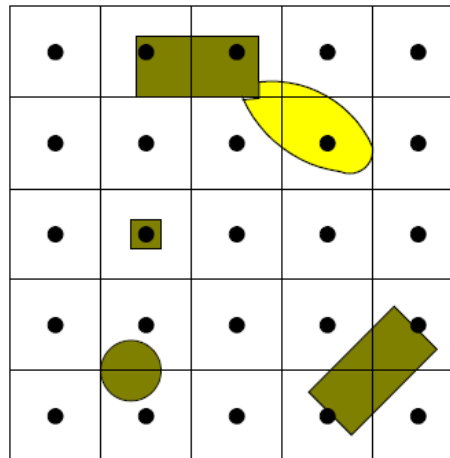
Probabilística:

- Distribuição aleatória simples ou estratificada.
- Sem julgamento profissional.
- Permite calcular incertezas.
- Difícil de ser justificado.



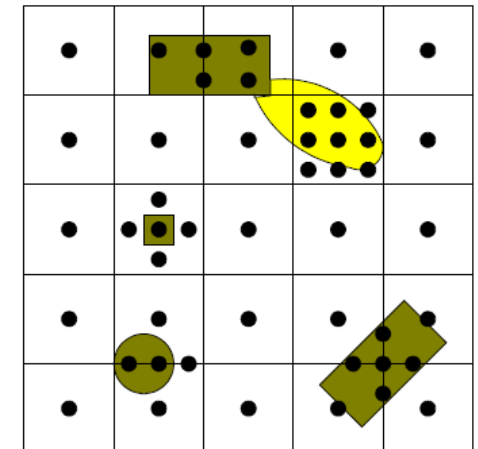
Sistemática:

- Distribuição segue padrão específico a partir do 1º. Ponto (aleatório).
- Fácil de execução em campo e gera um retrato detalhado das variações da área.
- Nem sempre é possível executar a amostragem no ponto programado.



Direcionada:

- Distribuição programada conforme julgamento profissional.
- Depende da experiência e conhecimento técnico.
- Mais barata e eficiente se tiver um bom Modelo Conceitual da área.
- Fácil de implementar e justificar.



AMOSTRAGEM DE SOLO

Método de coleta de amostras de solo, preparo das amostras e medições de campo

Amostras contaminadas por SVOC e Metais

1. Peneirar a amostra (peneira 2 mm)
2. Espalhar a amostra sobre recipiente plástico ou lona.
3. Dividir a amostra em 4 partes.
4. Coletar alternadamente a amostra destas 4 partes até completar o volume necessário.
5. Inserir a amostra no frasco do laboratório.
6. Identificar a amostra (número, ponto, profundidade, data e responsável pela coleta)
7. Para medição de SVOC: inserir a amostra em um saco plástico hermético
8. Realizar a medição.



Etapas 1 a 4
(Fonte: Miller, 2006)



Etapas 5 e 6
(Fonte: Miller, 2006)



Etapas 5 e 6
(Fonte: Ambconsult)



Etapas 7 e 8 (Fonte: Miller, 2006)

AMOSTRAGEM DE SOLO

Método de coleta de amostras de solo, preparo das amostras e medições de campo

Amostras contaminadas por VOC

1. Amostragem deve utilizar metodologia Direct Push (cravação contínua) e *liner* (ASTM D6282).

<https://www.youtube.com/watch?v=Ci6LXvjUhkQ>

2. O mais comum no Brasil é a amostragem *Single Tube* (furo aberto), porém, o *Pistom Sampler* (fechado).

3. Colocar a porção de solo selecionada em frasco pesado previamente contendo metanol (relação 1/1 a 10/1).

4. Pesar novamente o frasco.

5. Opção: utilizar amostrador En Core®

<https://www.youtube.com/watch?v=YZIKjL7vITQ&t=9s>



Etapa 2 (Fonte: Miller, 2006)



Etapa 3 e 4



En Core
(Fonte: Clean Environment)



Coleta solo do
liner usando
En Core

AMOSTRAGEM DE SOLO

Descrição geológico-geotécnica do solo

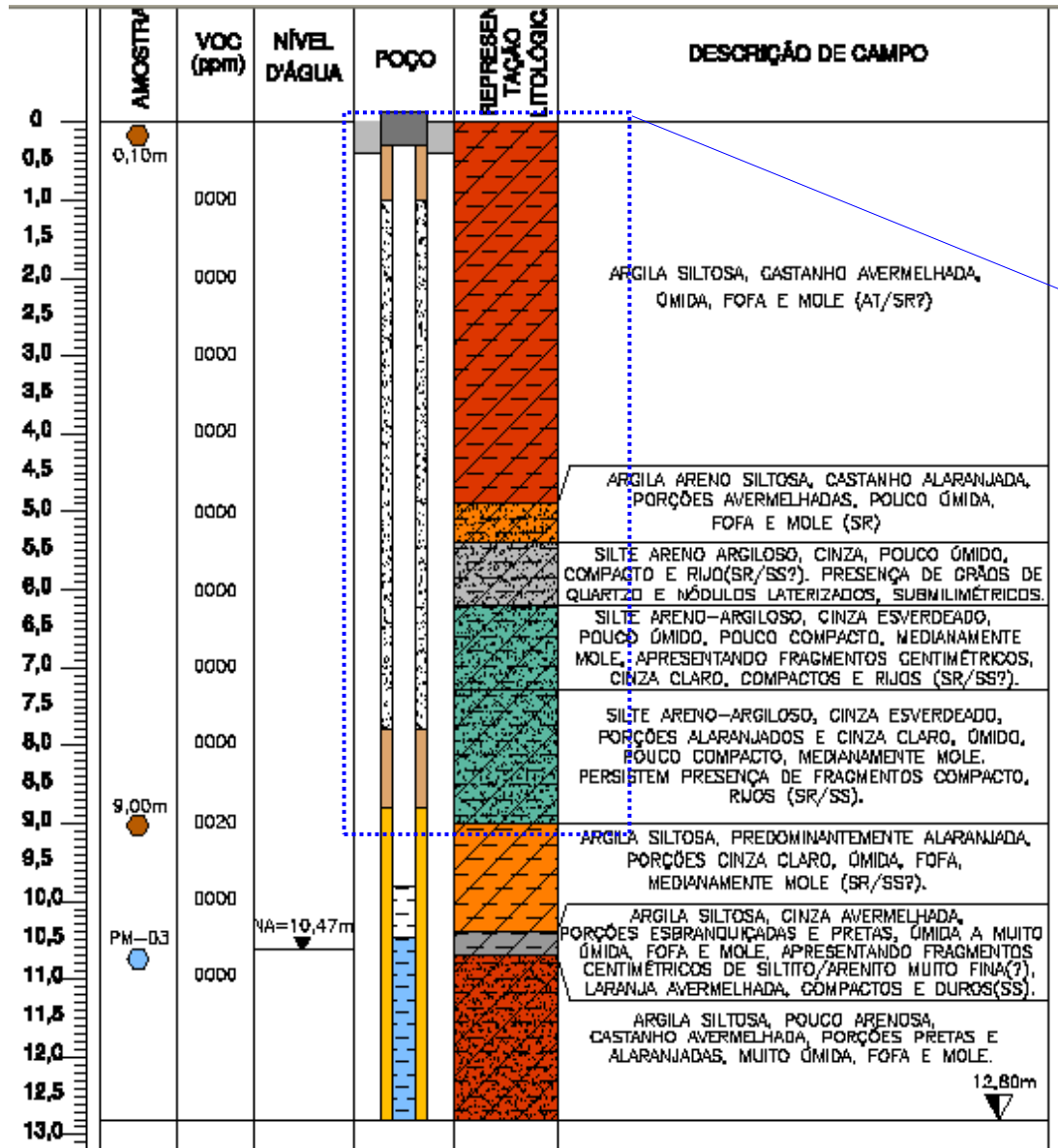
- ABNT-NBR 15492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental, estabelece que a descrição deve conter:
 - Cor (Musell Soil Color Charts)
 - Textura (areia, silte, argila e frações grosseiras – conforme ABNT-NBR 6502/1995 e análise tátil visual)
 - Compacidade e Consistência (NBR 6484/2020)
 - Coesão (fraca, média, forte)
 - Fraturamentos, foliação, intemperismo, estratificação, estruturas reliquias, etc.
 - Indícios de contaminação (cor, odor, presença de resíduos, fase residual, leitura de VOC ou SVOC)

Textura	Fração granulométrica
Argila	< 0,002 mm
Silte	0,002 – 0,06 mm
Areia fina	0,06 – 0,2 mm
Areia média	0,2 – 0,6 mm
Areia grossa	0,6 – 2,0 mm
Pedregulho fino	2,0 – 6,0 mm
Pedregulho médio	6,0 – 20 mm
Pedregulho grosso	20 – 60 mm

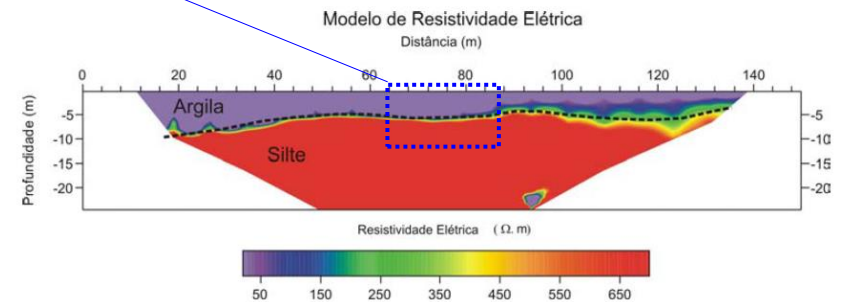




AMOSTRAGEM DE SOLO



Exemplo de perfil de sondagem



Terminal de Uberaba-MG (Essencis, 2009)

INSTALAÇÃO DE POÇO DE MONITORAMENTO



Tubo geomecânico ranhurado: revestimento + filtro



Selagem com bentonita



Alinhamento do tubo no furo de sondagem



Preenchimento com pré-filtro



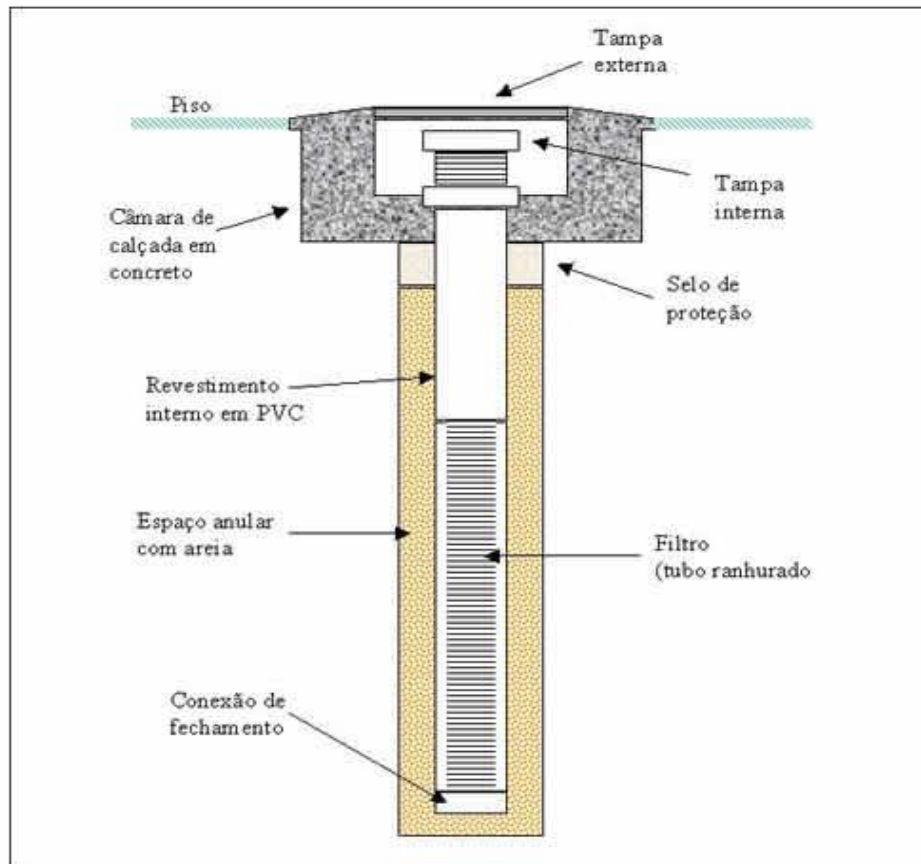
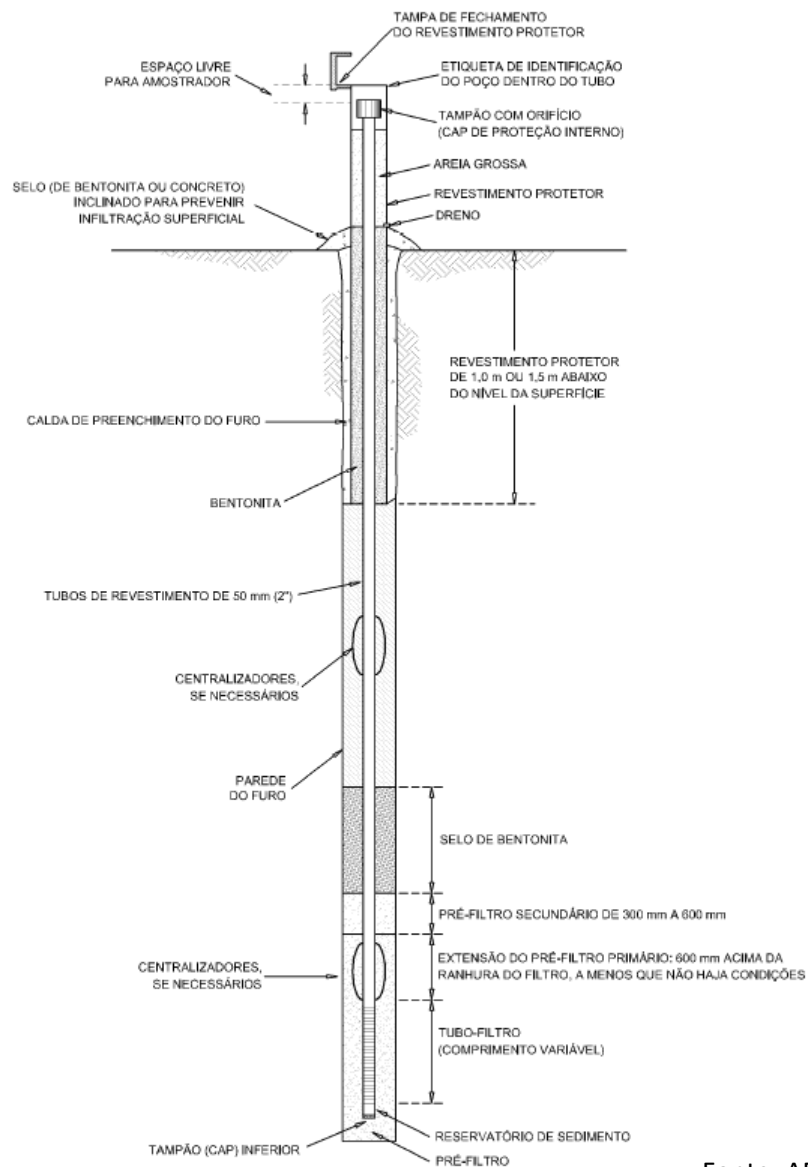
Instalação da tampa externa



Tampa externa



PERFIL CONSTRUTIVO DO POÇO

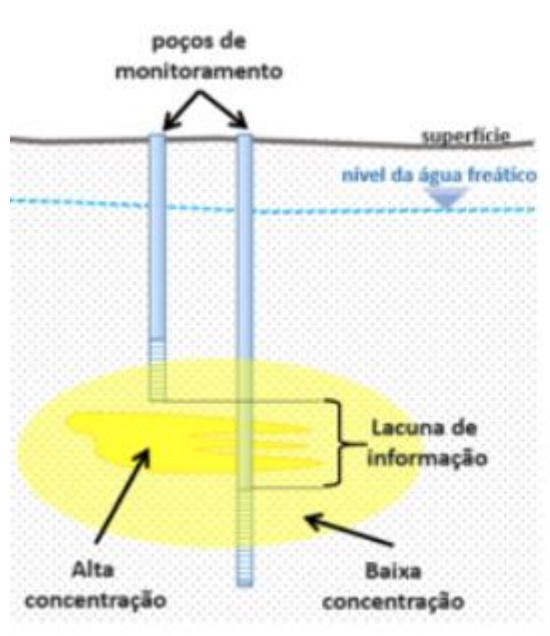


DESENVOLVIMENTO DO POÇO

- ABNT-NBR 15495-2/2008 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento.
- Definição: conjunto de procedimentos técnicos necessários para que sejam restabelecidas as condições naturais de um meio aquífero que sofreu interferência devido às ações exercidas pelas operações de perfuração.
- Na prática: bombeamento da água do interior do poço.
- Aumenta a probabilidade da amostra de água ser representativa.
- Retifica problemas como: compactação das paredes do furo e do pré-filtro, remoção de finos.
- Acomoda o pré-filtro.
- Após o desenvolvimento deve-se aguardar 2-3 semanas para realização da amostragem da água subterrânea.
- Descontaminação dos equipamentos após perfuração do poço e coleta das amostras (ABNT-NBR 15492/2007)

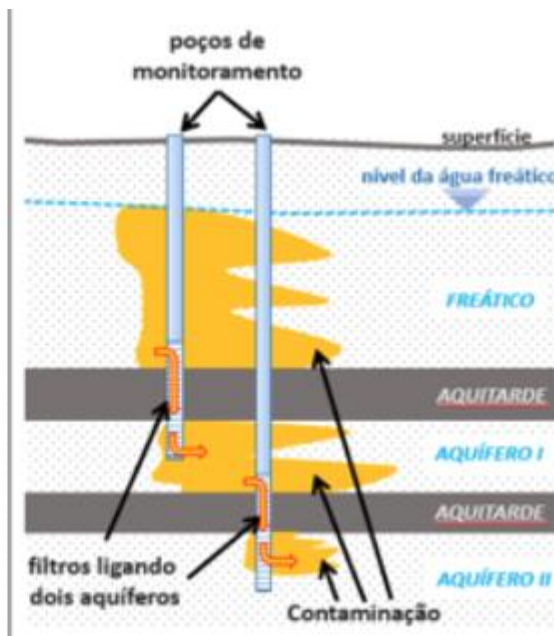
POSICIONAMENTO DA SEÇÃO FILTRANTE

Lacuna de info

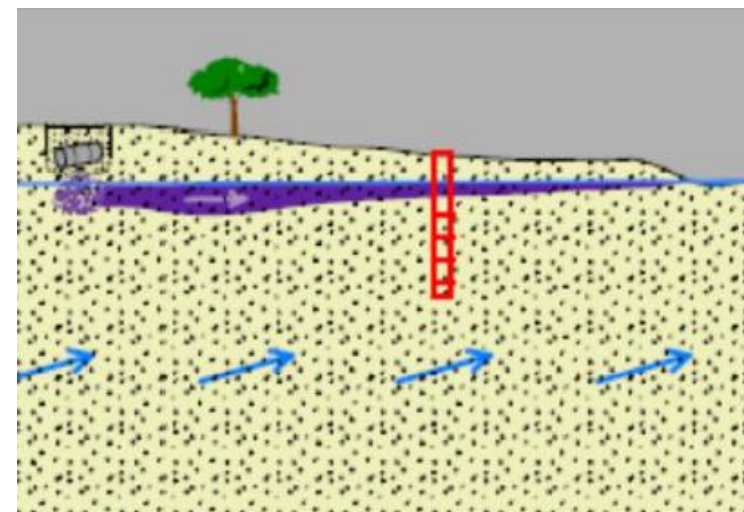


Fonte: Hidrosam

Contaminação cruzada



Resultado errado: não há contaminação



Fonte: CETESB



GRANULOMETRIA DO PRÉ-FILTRO

- Para determinar a granulometria do pré-filtro, a granulometria do solo local e a abertura das ranhuras do filtro devem ser conhecidas.
- 30-60 cm acima do topo do filtro.
- Critérios de retenção e drenagem devem ser seguidos (**Critério de filtro de Terzaghi**).

$d_{15} \text{ filtro} < 4-5 d_{85} \text{ solo}$ (retenção)
 $d_{15} \text{ filtro} > 4-5 d_{15} \text{ solo}$ (drenagem)

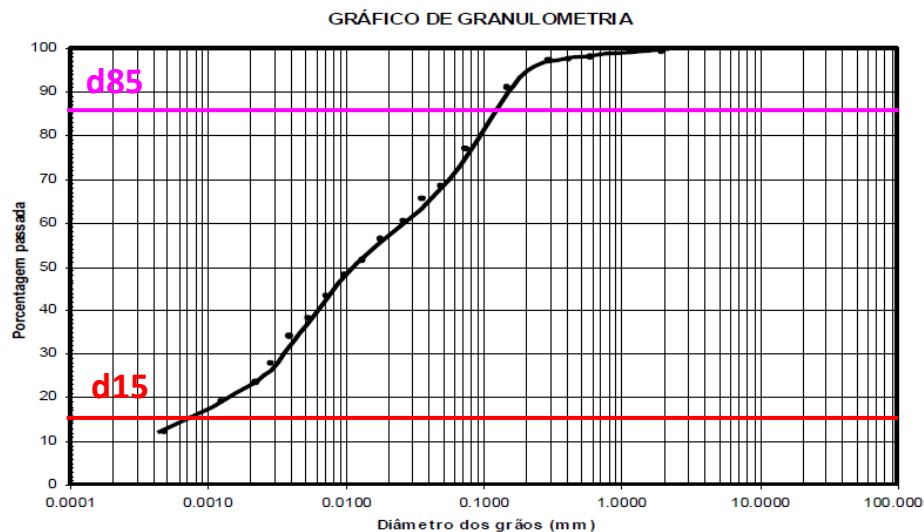


Tabela 1 — Características de pré-filtro recomendadas para os tamanhos padrões das aberturas das ranhuras

Tamanho da abertura da ranhura mm	Nomenclatura da peneira mesh	Tamanho em que 1% dos grãos passam (d-1) mm	Tamanho efetivo (d-10) Mm	Tamanho em que 30% dos grãos passam (d-30) mm	Varição do coeficiente de uniformidade	Grau de arredondamento
0,125	100	0,09 a 0,12	0,14 a 0,17	0,17 a 0,21	1,3 a 2,0	2 a 5
0,25	20 a 40	0,25 a 0,35	0,4 a 0,5	0,5 a 0,6	1,1 a 1,6	3 a 5
0,50	10 a 20	0,7 a 0,9	1,0 a 1,2	1,2 a 1,5	1,1 a 1,6	3 a 6
0,75	10 a 20	0,7 a 0,9	1,0 a 1,2	1,2 a 1,5	1,1 a 1,6	3 a 6
1,0	8 a 12	1,2 a 1,4	1,6 a 1,8	1,7 a 2,0	1,1 a 1,6	4 a 6
1,5	6 a 9	1,5 a 1,8	2,3 a 2,8	2,5 a 3,0	1,1 a 1,7	4 a 6
2,0	4 a 8'	2,0 a 2,4	2,4 a 3,0	2,6 a 3,1	1,1 a 1,7	4 a 6

Fonte: ABNT-NBR 15495-1/2007

INSTALAÇÃO DE POÇO DE MONITORAMENTO

Procedimentos:

- ABNT-NBR 15495-1/2009 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção.

Alguns Pontos Importantes:

- Localização a jusante das fontes primárias.
- Posicionamento da seção filtrante depende:
 - Características da fase livre de contaminante (LNAPL x DNAPL).
 - Presença de fase livre.
 - Litologia (não posicionar entre 2 litologias ou entre 2 aquíferos)
- Comprimento máximo do filtro de 2,0 m (para locais com complexidade geológica ou necessidade de caracterização mais precisa da contaminação)
- Comprimento superior a 2,0 m (litologias homogêneas, ausência de fluxo vertical)
- Quanto mais longo o filtro, maior a probabilidade de condução da contaminação para zonas não contaminadas, amostras com concentrações inferiores a da pluma, valores de condutividade hidráulica média.
- Desenvolvimento do poço.

AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Procedimentos:

- ABNT-NBR 15847/2010 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga.
- Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (3ª. Ed.) – aguardando
- Decisão de Diretoria CETESB n. 038/2017

Principais tipos de amostragens:

- Bailer
- Baixa vazão
- Direct push, entre outros.

Pontos importantes:

- Laboratórios de análises devem ter acreditação ISO-17025.
- Deve-se minimizar o rebaixamento do NA durante a amostragem, evitando o aumento da turbidez e perda de gases dissolvidos.
- Purga deve de 3-5 vezes o volume da água presente no poço.
- Manter amostra refrigerada a 4°C, filtragem de 0,45 µm.
- Entrega a amostra no laboratório em 72h.

AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

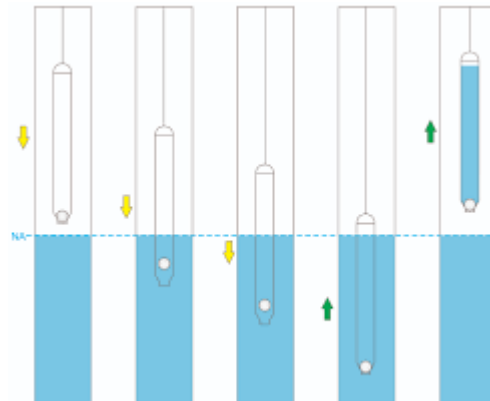


Amostragem por Bailer

(Fonte: Manual IPT, 1994)



Bailer



Amostras obtidas por Direct push

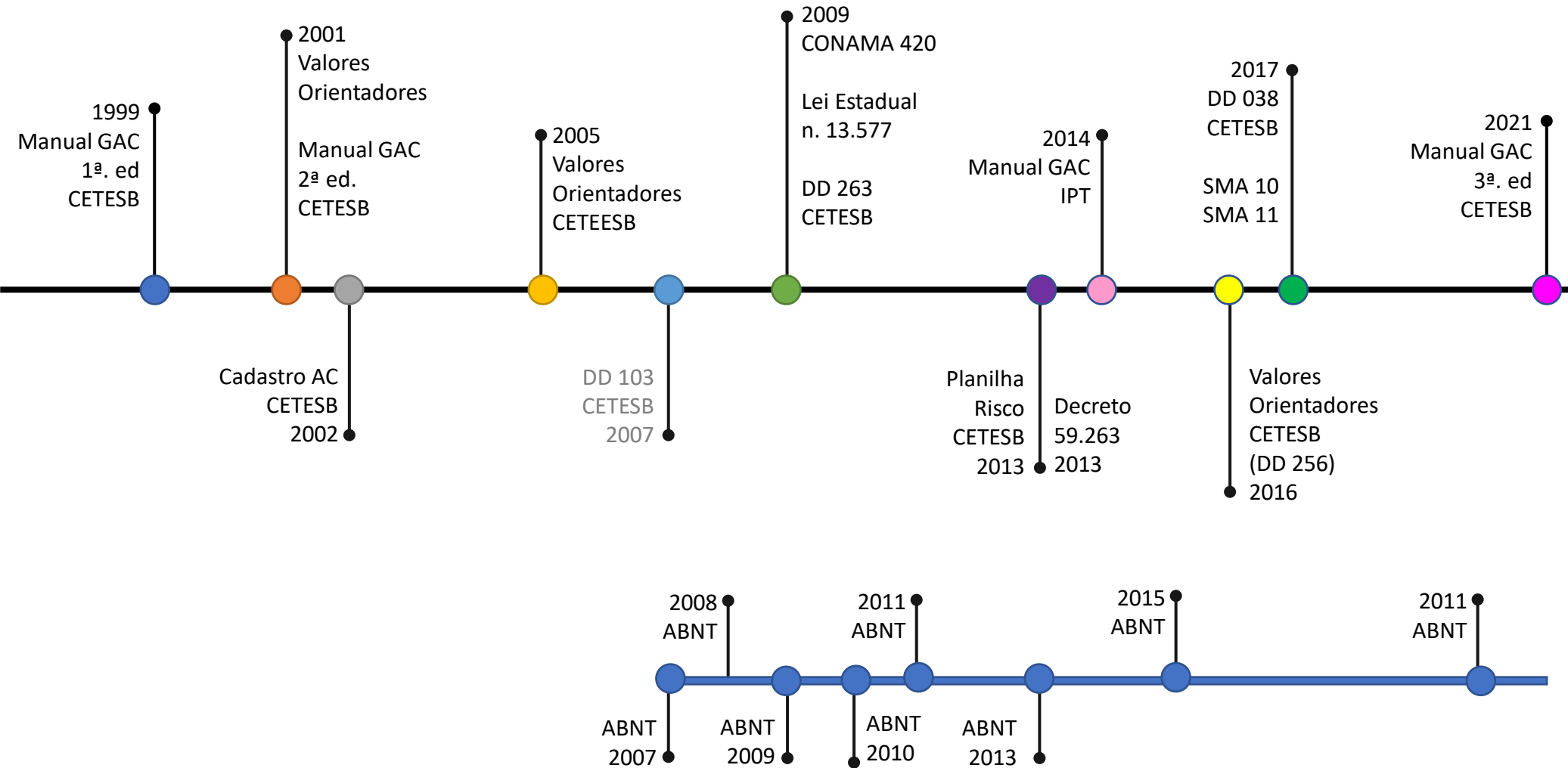
(Fonte: CETESB, 2014)



Amostras obtidas por baixa vazão

(Fonte: Manual IPT, 2014)

MARCOS IMPORTANTES PARA A GAC



NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS - GAC

Norma	Data	Título	Revisão em andamento em 2021
ABNT-NBR 15492:2007	18/06/2007	Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento	X
ABNT-NBR 15495-1:2009	25/05/2009	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados - Parte 1: Projeto e construção	
ABNT-NBR 15495-2:2008	21/07/2008	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados - Parte 1: Desenvolvimento	
ABNT-NBR 15515-1:2011	05/04/2011	Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 1: Avaliação preliminar	X
ABNT-NBR 15515-2:2011	23/03/2011	Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 2: Investigação confirmatória	
ABNT-NBR 15515-3:2013	02/09/2013	Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 2: Investigação detalhada	
ABNT-NBR 15847:2010	21/06/2010	Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Método de purga	
ABNT-NBR 15935:2011	22/03/2011	Investigações ambientais - Aplicação de métodos geofísicos	
ABNT-NBR 16209:2013	02/09/2013	Avaliação de risco à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas	
ABNT-NBR 16210:2013	28/08/2013	Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - Procedimento	X
ABNT-NBR 16434:2015	01/09/2015	Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) - Procedimento	
ABNT-NBR 16435:2015	01/09/2015	Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas - Procedimento	
ABNT-NBR 16784-1:2020	09/06/2020	Reabilitação de áreas contaminadas - Plano de Intervenção - Parte 1: Procedimento de elaboração	
ABNT-NBR 16901-1:2020	21/12/2020	Gerenciamento de áreas contaminadas - Plano de desativação de empreendimentos com potencial de contaminação - Procedimento	



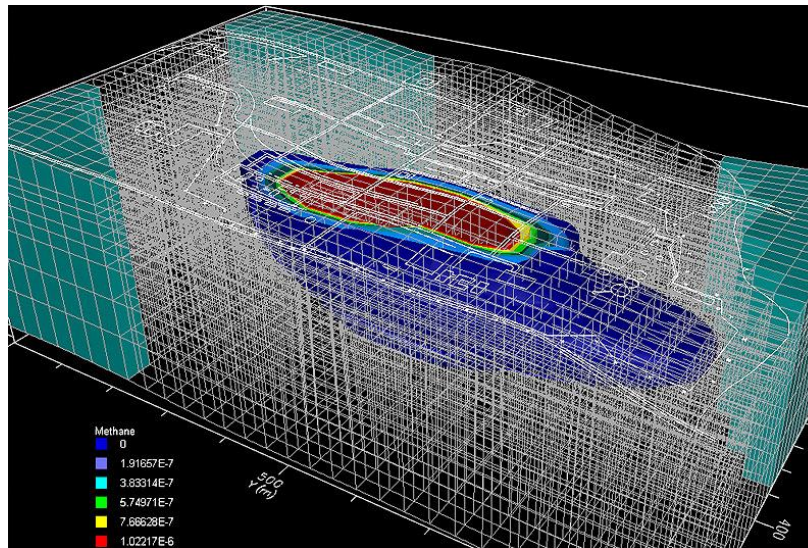
LEGISLAÇÃO E OUTROS - GAC

Legislação/Documento	Data	
Manual de GAC - CETSB-GTZ	1999-2021	Fornece conceitos, informações e metodologias visando a uniformização de ações relacionadas à gestão de áreas contaminadas. Fonte: CETESB.
Valores Orientadores da CETESB	2001-2016	São concentrações de substâncias químicas derivadas por meio de critérios numéricos e dados existentes na literatura científica internacional, para subsidiar ações de prevenção e controle da poluição, visando à proteção da qualidade dos solos e das águas subterrâneas e o gerenciamento de áreas contaminadas. Fonte: CETESB.
Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas da CETESB	2002	Conjunto de informações referentes aos empreendimentos e atividades que apresentam potencial de contaminação e às áreas suspeitas de contaminação e contaminadas, distribuídas em classes de acordo com a etapa do processo de identificação e remediação da contaminação em que se encontram. Fonte: Decreto 59.263/2013.
Decisão de Diretoria CETESB - DD 103/2007/C/E	22/06/2007	Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas.
Resolução CONAMA 420	28/01/2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
Lei Estadual 13.577/2009	08/07/2009	Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.
Decisão de Diretoria CETESB - DD 263/2009/P	20/10/2009	Dispõe sobre a aprovação do Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhados de Combustíveis.
Planilha para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação da CETESB	2013	Conforme revisão do procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas publicada em sua Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017, essas planilhas devem ser aplicadas na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de concentrações máximas aceitáveis (CMAs), auxiliando os profissionais que atuam no gerenciamento de áreas contaminadas na elaboração de Planos de Intervenção.
Decreto Estadual 59.263/2013	05/06/2013	Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. Regulamenta a Lei 13.577/2009.
Guia de elaboração de planos de intervenção para o GAC - IPT	2014	Orientar a elaboração de planos de intervenção.
Decisão de Diretoria CETESB - DD 038/2017/C	07/02/2017	Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.
Resolução SMA 10/2017	08/02/2017	Dispõe sobre a definição das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas.
Resolução SMA 11/2017	08/02/2017	Dispõe sobre a definição das regiões prioritárias para a identificação de áreas contaminadas.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Modelo Conceitual da Contaminação - 3D

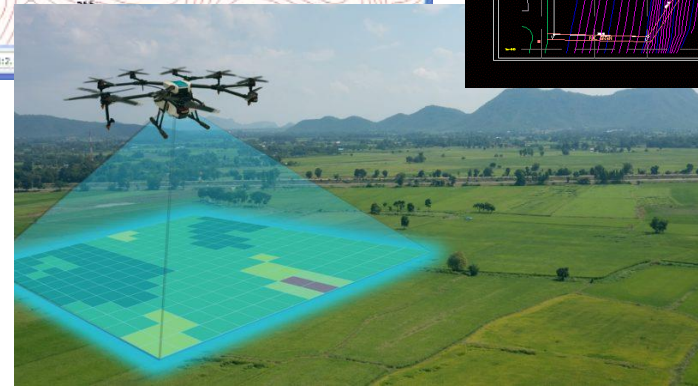
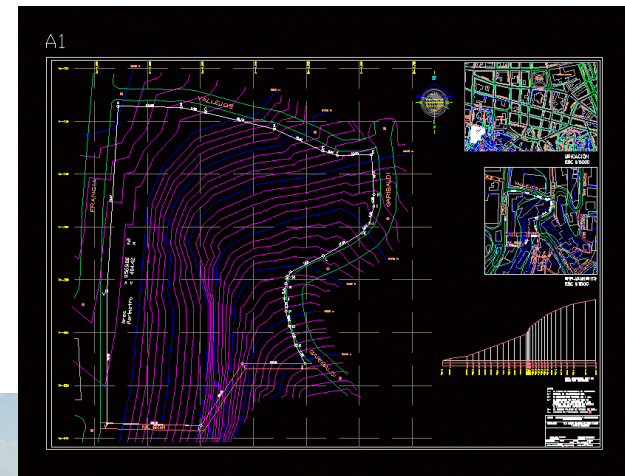
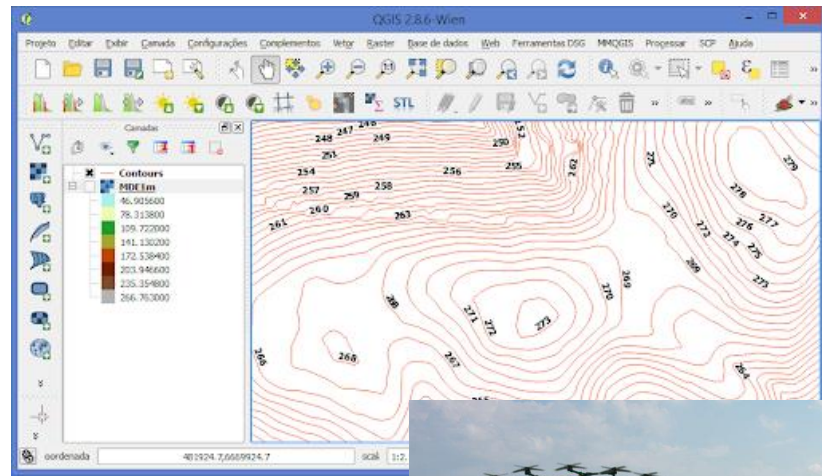
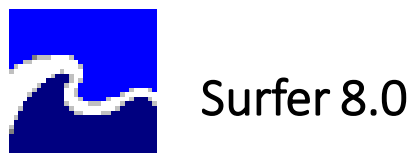
Poços multiníveis



Software de fluxo e transporte de poluentes



INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES



LEVANTAMENTO POR DRONE



INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Modelo geológico conceitual da área – Onde procurar informação?

- Principais Bibliotecas:
 - USP (www.usp.br/sibi)
 - IGC/USP (<http://mapoteca.igc.usp.br>)
 - Instituto Geológico (<http://www.igeologico.sp.gov.br>)
 - EMPLASA (<http://www.emplasa.sp.gov.br>)
 - CPRM (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>)
 - DNPM (<http://www.dnpm.gov.br>)
 - Universidades Federais e Unicamp.
- Principais Mapas geológicos:
 - Mapa Geológico do Brasil – CPRM 1:1.000.000
 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo – CPRM 1:250.000
 - Mapa Geológico do Município de São Paulo – IPT 1:100.000
- Principais Mapas hidrogeológicos:
 - Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, 1:1.000.000
 - Mapa Hidrogeológico do Nordeste – SUDENE 1:500.000
 - Mapa Hidrogeológico de Presidente Prudente e Marília 1:500.000



ONDE ENCONTRAR ENSAIOS LABORATORIAIS DA ÁGUA E DO SOLO

QUÍMICO E/OU FÍSICO-QUÍMICO



ECOLABOR



CETESB



GEOTÉCNICO



ESCOLA POLITÉCNICA
DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

LMS – Laboratório de Mecânica dos
Solos Milton Vargas

Investigação geológica-geotécnica com foco em Obras Civas



ETAPAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

RECONHECIMENTO INICIAL

- Mapas geológico, geotécnico, pedológico e hidrogeológico
- Fotografias aéreas (topografia e geomorfologia, feições estruturais) – **Método Indireto**
- Banco de dados de investigações de áreas próximas

INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR

- **Métodos indiretos:**
 - Geofísica
 - Sensoriamento Remoto
- **Métodos diretos:**
 - Sondagem a trado, percussão e rotativa
 - **Ensaio de palheta (Vane test) – NBR 10905**
 - Ensaaios laboratoriais
- **Métodos semi diretos:**
 - **Cone Penetration Test (CPT) – ABNT MB 3046**
 - **Piezocone (CPTu)**

INVESTIGAÇÃO COMPLEMENTAR

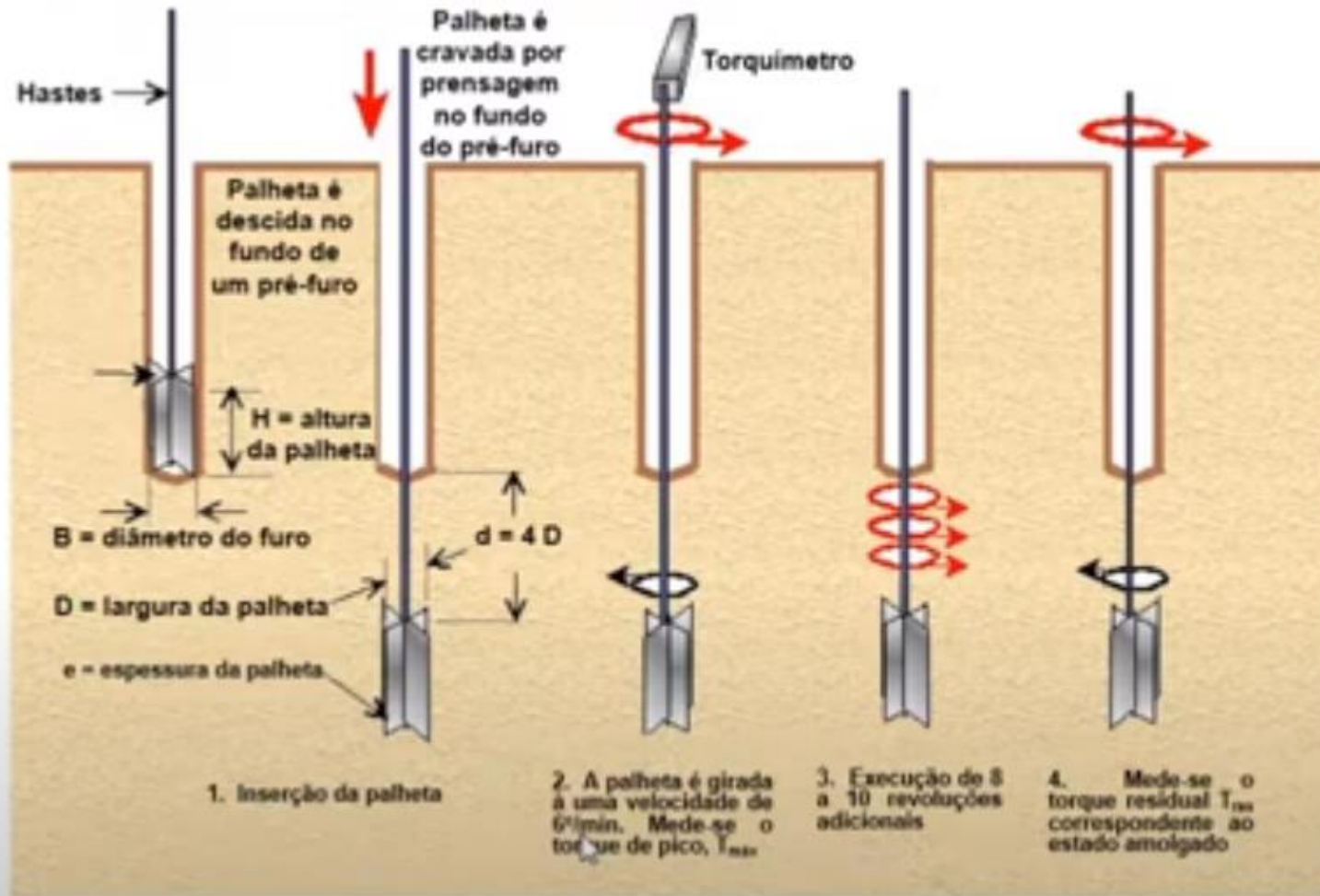
- Mapeamento de campo
- Ensaios laboratoriais e in situ para determinação de parâmetros de projeto

ENSAIO DE PALHETA – VANE TEST



- Mede exclusivamente a resistência não drenada do solo (s_u).
- Consiste em medir o TORQUE necessário para girar um cruzeta metálica cravada no solo a uma dada profundidade.
- Velocidade constante $6^\circ/\text{min}$

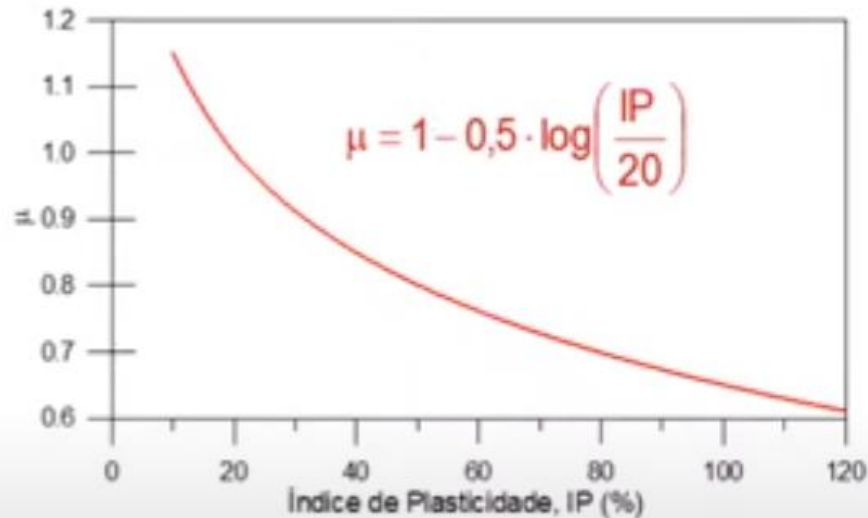
ENSAIO DE PALHETA – VANE TEST



ENSAIO DE PALHETA – VANE TEST

$$S_u = \frac{0,86 M_{total}}{\pi D^3}$$

Su de Projeto – Correção de Bjerrum, 1973

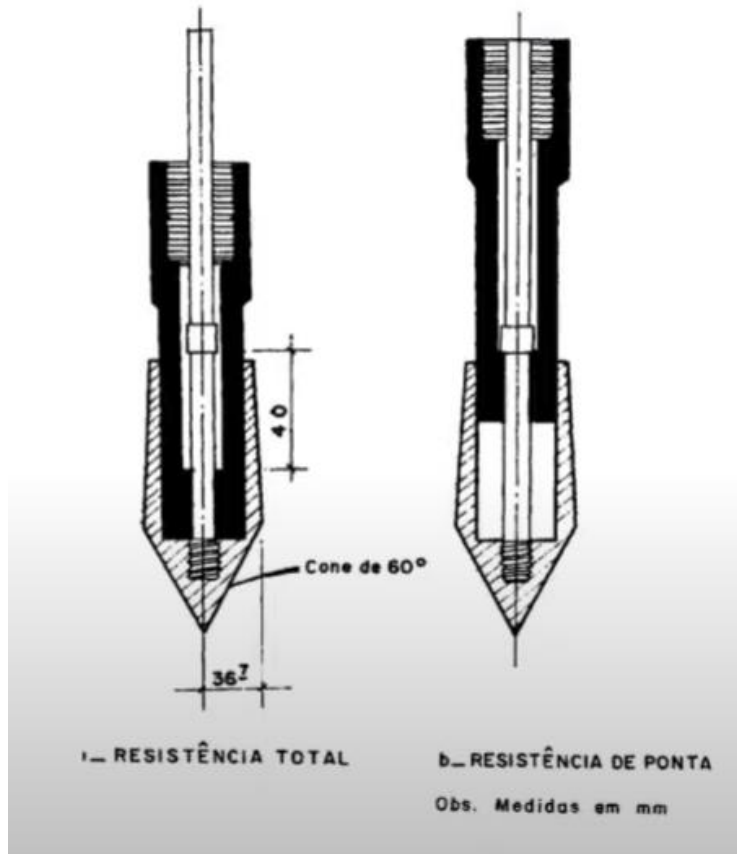


$$S_{u(\text{projeto})} = S_{u(\text{palheta})} \cdot \mu$$

IP – Índice de Plasticidade
IP = LL - LP

CONE PENETRATION TEST - CPT

Cone holandês



- ABNT MB 3046
- Mede o esforço para a cravação de uma ponteira cônica a velocidade constante (2 cm/s) no solo.
- Obtém-se os parâmetros de forma constante ao longo do perfil.



CONE PENETRATION TEST - CPTu

- Mais utilizado atualmente.
- Além da resistência, mede também a pressão neutra

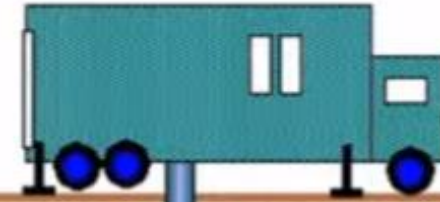


CONE PENETRATION TEST – CPT-CPT_u

Cone elétrico com 60°
 de ápice:
 $\phi = 36 \text{ mm}$ (10 cm^2) ou
 $\phi = 44 \text{ mm}$ (15 cm^2)

Cabo para o computador

1. Saturação das cavidades da ponta do cone e instalação do anel poroso pré-saturado.
2. Leitura dos transdutores da ponta, da luva de atrito, de poropressão e do inclinômetro.



Cravação contínua por prensa hidráulica a 2 cm/s; hastes são adicionadas a cada 1 m.

Razão de atrito
 $= f_s / q_c$

Hastes ($\phi = 36 \text{ mm}$)

Leituras realizadas a cada 10 a 50 mm



ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

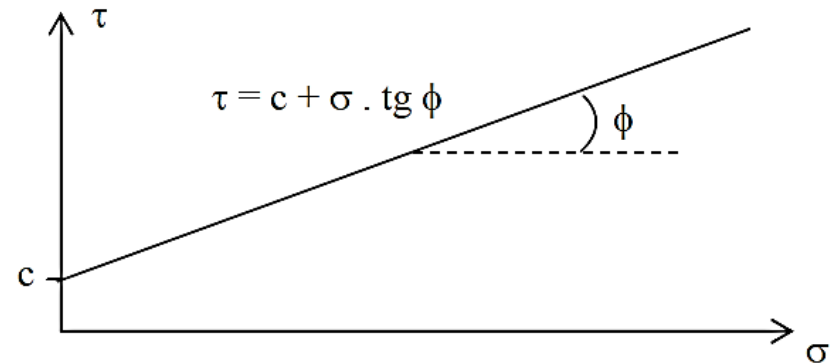
Parâmetros e Métodos de Investigação Mais Relevantes

- Sondagem a percussão é o método mais utilizado para a determinação da estratigrafia e espessura do solo mole. Porém, não é eficiente para determinação da resistência de solos moles.
- Ensaio de laboratório:
 - Adensamento
 - Caracterização completa (Umidade, granulometria, densidade dos grãos, Limites de Atterberg)
 - Teor de matéria orgânica
- Ensaio de campo:
 - Resistência não drenada (s_u) – Ensaio de palheta
 - Piezocone (CPTu)

ENCOSTAS/TALUDES

Parâmetros e Métodos de Investigação Mais Relevantes

- Sondagem a percussão é o método mais utilizado para a determinação:
 - Espessura das camadas
 - Tipos de solo.
 - Nível d'água
- Vistoria de campo para obter inclinação dos taludes e topografia do terreno.
- Ensaios de laboratório para determinação de parâmetros:
 - Densidade do solo e dos grãos
 - Umidade
 - ângulo de atrito e coesão
(Cisalhamento direto ou Triaxial) para definir a curva de resistência ao cisalhamento



FUNDAÇÃO

Parâmetros e Métodos de Investigação Mais Relevantes

- Sondagem a percussão é o método mais utilizado para a determinação:
 - Espessura das camadas
 - Tipos de solo.
 - Nível d'água
 - Resistência a penetração (NSPT) para o cálculo da capacidade de carga do solo.
- Ensaios complementares:
 - Geofísicos
 - Piezocone (CPTu)
 - Vane test (se solos moles presentes)
 - Adensamento (parâmetros de deformabilidade e compressibilidade)
 - Carregamento de placa (quase em desuso)
 - Cisalhamento direto e triaxiais
- Prova de carga estática (exigência da NBR 6122 p/ obras c/ 50-100 estacas)

Modelo geológico-geotécnico do subsolo

BARRAGENS

Parâmetros e Métodos de Investigação Mais Relevantes

- Mapeamento geológico-geotécnico para elaboração de um Modelo geológico-geotécnico e estrutural detalhado:
 - Tipos de solo e rocha
 - Descontinuidades
 - Planos de fraqueza (xistosidade, foliação, acamamento)
 - Sistemas de fraturamento, famílias de fraturas
 - Falhas
- Ensaios de campo e laboratório para determinação:
 - Todos os anteriores e “mais um pouco”
 - Permeabilidade dos solos e rochas (fundação e corpo da barragem)
 - Compactação (barragem de terra)
 - Entre outros

BREVE FUTURO PARA A INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO??





REFERÊNCIAS

- Borges, W.; Lago, A.; Fachin, S.; Elis, V.; Santos, E., 2006. GPR utilizado na detecção da geometria de cavas usadas para disposição de resíduos de óleos lubrificantes. Revista Brasileira de Geofísica, 2006, 24(4): 483-494. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbg/a/jVVbvcFj8BNqpZLJgVNy7yf/?format=pdf&lang=pt>
- Cavalcanti, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009
- Cherry, J.A.; Pankow, J.F., 1996. Dense Chlorinated Solvents and other DNAPLs in Groundwater (a textbook), Silveira, L. P. M. (2013). Investigação confirmatório. Apresentação. Março, 2013.
- Essencis (2009) – Relatórios Técnicos.
- Ferraro, A. A., Gabas, S.G., Lastoria, G. (2015). Origem de metais pesados em aquífero livre de São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul. Revista Geociências, v. 34, p. 801-815, UNESP, São Paulo.
- Manual de Gerenciamento de Áreas contaminadas da CETESB – 2ª. Ed e 3ª. Ed. (em atualização)
- Miller Consultoria (2003-2004) – Relatórios Técnicos.
- Moraes, S. L.; Teixeira, C. E.; Maximiano, A. M. S. (2014). Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. IPT e BNDES. São Paulo. 1ª. Ed.
- Normas ABNT e Legislações.
- Servmar (2006) – Relatórios Técnicos.
- Silveira, L. P., (2013). Investigação Confirmatória. Apresentação.
- Sites das empresas: Ambconsult, Clean Environment, ECD Ambiental, Geoprobe, Hidrosuprimentos, IPT, Thermoscientific, Ometto. Consulta em 27/08/2021.
- Soriano, R., Jr. (2009). Avaliação da presença de vapores no solo em antiga área industrial contaminada por hidrocarbonetos: concentrações medidas e simuladas. Dissertação. Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine. UNESP, Rio Claro.
- Tomlinson, Derek. W. (2008). Vapor Intrusion Assessment Tools. Presentation. ERM- Environmental Resources Management. Exton, Pennsylvania, USA.
- Tsugawa, J.K. (2004) Solubilização e difusão reversa de cátions metálicos de uma argila laterítica em meio ácido. Dissertação. Orientação: Profa. Dra. Maria Eugênia Boscov. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo



Obrigada!!!!

Jkeiko.tsugawa@gmail.com