

PHA 3203

Engenharia Civil e Meio Ambiente

AULA 7

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E
REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Agenda da aula:

- O que é degradação ambiental
- Áreas degradadas
 - ✓ Papel da engenharia civil na recuperação de áreas degradadas
 - ✓ Exemplos
- Áreas contaminadas
 - ✓ Papel da engenharia civil na remediação de áreas contaminadas
 - ✓ Exemplos

Áreas degradadas



O que é degradação ambiental?

- ✓ “qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou alteração adversa da qualidade ambiental” (Sánchez, 2014)
- ✓ Nesse conceito está incluída qualquer alteração de um ambiente e qualquer tipo de ambiente. É um **impacto ambiental negativo**.

Degradação ambiental e seus efeitos:

- perda de capital ou patrimônio natural
- perda das funções ambientais
- alterações paisagísticas
- qualquer situação criada pelo homem que represente risco à saúde ou à segurança

Áreas Degradadas

1. Locais onde os *processos naturais* encontram-se em situação de desequilíbrio, impossibilitando seu uso sustentável

Ex.: processos erosivos intensos

2. Áreas da quais foram suprimidos *componentes* essenciais para manutenção de suas funções ecológicas

Ex.: cobertura vegetal / horizontes superficiais do solo

3. Áreas que sofreram qualquer perturbação percebida como danosa ou indesejável

Ex. Alterações paisagísticas; degradação do ambiente construído

4. Áreas em que há presença de substâncias perigosas para a saúde humana e ecossistemas

Ex. Áreas contaminadas

EXEMPLOS:

1. Locais onde os *processos naturais* encontram-se em situação de desequilíbrio, impossibilitando seu uso sustentável – processos erosivos intensos
2. Áreas das quais foram suprimidos *componentes* essenciais para manutenção de suas funções ecológicas – supressão da cobertura vegetal e dos horizontes superficiais do solo



Exemplos: minerações abandonadas em áreas urbanas e rurais

Outros exemplos de áreas degradadas



1 – áreas de empréstimo contíguas a rodovia não recuperadas;

2 - escorregamento decorrente de falta de implantação de sistema de drenagem em rodovia;

3 – processos erosivos não recuperados em taludes marginais provocados pelo enchimento do reservatório

EXEMPLOS:

3. Áreas que sofreram qualquer perturbação percebida como danosa ou indesejável

Ex. Alterações paisagísticas; degradação do ambiente construído



<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/noticia/2012/04/07/familias-resistem-em-deixar-casas-em-areas-de-risco-na-mata-sul-38413.php>

Cidades com ocupação irregular em áreas de preservação permanente (cursos d'água)



Área urbana (acima) e Área rural (ao lado) degradadas por chuva ácida



EXEMPLOS:

4. Áreas em que há presença de substâncias perigosas para a saúde humana e ecossistemas

Ex. Áreas contaminadas



Área contaminada na USP Leste. Disponível em:
<http://ultimosegundo.ig.com.br/educacao/2013-09-11/professores-da-usp-leste-entram-em-greve-apos-constatacao-de-metano-no-campus.html>



Fonte: Cetesb

PERIGO

**ÁREA
CONTAMINADA**



Quais atividades podem desencadear áreas degradadas?

Uso e ocupação do solo e intervenções de engenharia



Uso e ocupação do solo X áreas degradadas

Contextos mais frequentes para desencadear áreas degradadas:

- 1) Acidentes tecnológicos
- 2) Intervenções não planejadas
- 3) Intervenções planejadas
- 4) Aplicações deficientes de técnicas e procedimentos preventivos

Contextos mais frequentes para desencadear áreas degradadas:

- 1) Acidentes Tecnológicos:
Ex.: operação de indústrias



Exemplo:

Ruptura de barragem de rejeito da mineração (de bauxita)
Rio Pomba Guataguases em 2007.



Dois bilhões de litros de
lama sobre municípios de
Minas e do Rio, em 2003.

Contextos mais frequentes para desencadear áreas degradadas:

2) Intervenções não ou mal planejadas.

Ex. lançamento de lixo em boçorocas



Contextos mais frequentes para desencadear áreas degradadas:

3) Intervenções planejadas. Ex. Implantação de urbanização.

- a) Implantação de projetos urbanísticos com grande movimentação de terra sem implantação de sistema de drenagem
- b) Deficiência de sistema de drenagem em áreas altamente suscetíveis a processos erosivos.

a)



b)



Exemplo:

Conjunto habitacional Santa Etelvina, Cohab, SP - década de 80
(Fonte: Manual de Habitação, 2001)



Foto: A.R. Santos

Terraplenagem de grande porte: 5.000.000 m³ (21% da UHE Itaipu)

saldo: custo final de cada residência (incluindo o de recuperação) - valor de mercado equivalente a um apartamento na Av. Paulista

Contextos mais frequentes para desencadear áreas degradadas:

4) Aplicações deficientes de técnicas e procedimentos preventivos






Recuperação de Áreas Degradadas

Recuperação de áreas degradadas:

Conceito: é o resultado da aplicação de técnicas de engenharia visando tornar uma área degradada apta para um novo uso produtivo

- ✓ novo uso: igual ou diferente do uso que precedeu a ação que causou a degradação



**Qual o papel da engenharia civil
na recuperação de áreas degradadas?**

Princípios gerais para Recuperação de Área Degradada:

- **estabilidade física:** processos do meio físico em equilíbrio dinâmico
- **estabilidade química:** métodos químicos ou biológicos para eliminar, neutralizar, imobilizar ou confinar elementos contaminantes presentes

Conhecimento da engenharia civil:

- **Geotécnica:** estabilidade de taludes, mecânica dos solos
- **Hidráulica:** implantação de sistemas de drenagem

Recuperação de área degradada

Exemplo: Construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes

- a) área degradada da construção da 1ª pista**
- b) necessidade de área para bota-fora de material excedente de escavação de túnel**
- c) projeto geotécnico para recuperação de bota-fora**
- d) uso futuro como bota-fora de estéril**
- e) recuperação para incorporação da área no Parque Estadual da Serra do Mar**

Exemplo: Recuperação de área degradada



Exemplo: Recuperação de área degradada



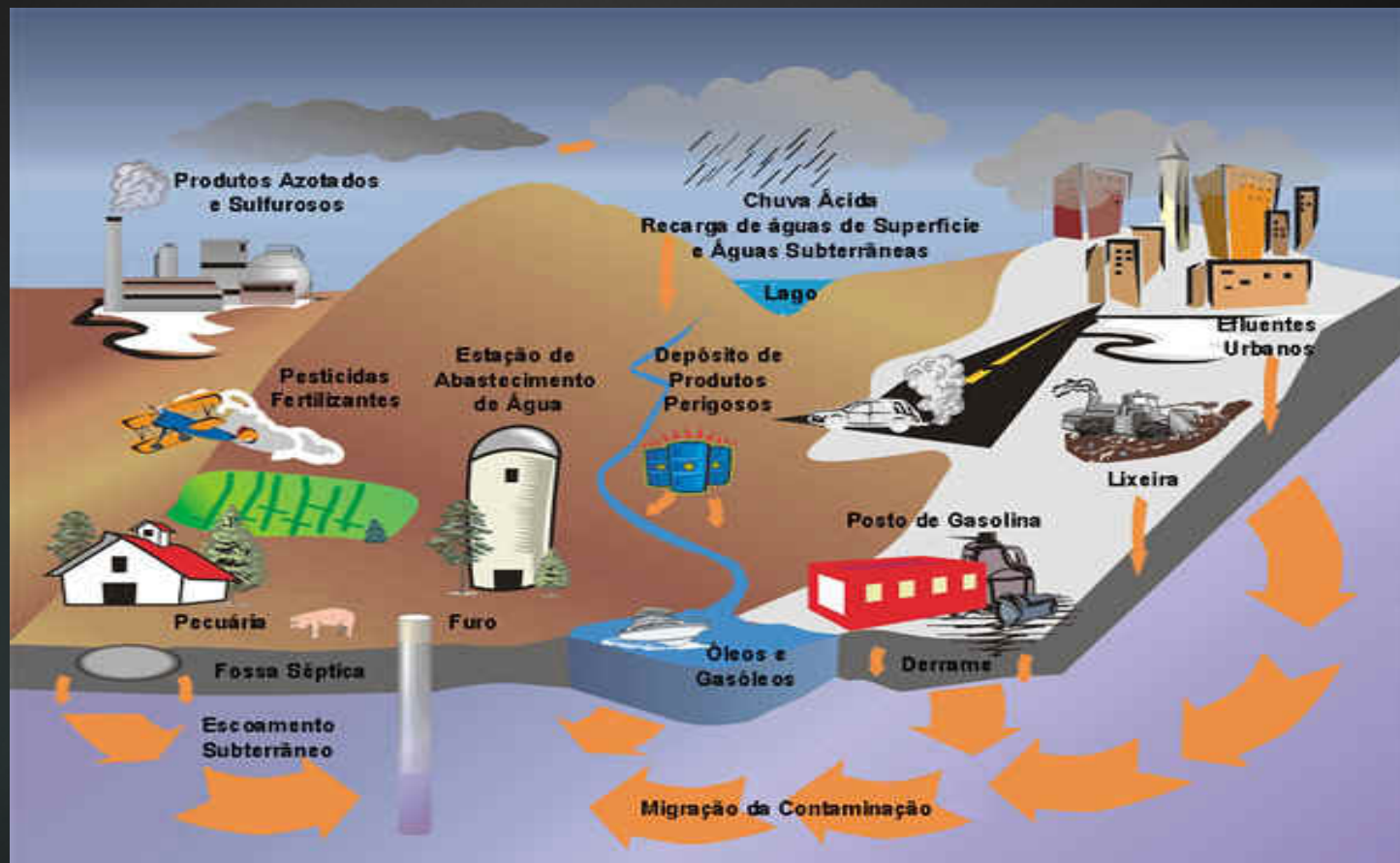
Exemplo: Recuperação de área degradada



Exemplos: áreas degradadas recuperadas



Áreas contaminadas



● Polo industrial de Cubatão (1950):

- 23 indústrias: siderurgia, fertilizantes, minerais não-metálicos (cimento, gesso e concreto), refino de petróleo, química e petroquímica
- 1966 → CLOROGIL (solventes e fungicidas clorados):
 - Capacidade de produção de 950 T/ano;
 - Geração de 2,6 T/dia de resíduos tóxicos.
- 1974 → grupo Rhône-PROGIL:
 - Geração de 500 T/ano de resíduos tóxicos;
 - 53 T/mês lançadas em vala clandestina (5.000 T).
 - 15.000 T de resíduos lançados nos entornos dos municípios da região.



Vila Parisi, Cubatão-SP

em 1983:

*** 320 fontes de poluição
(ar, águas e solo)**

Decreto Nº 22.636, de 3 de setembro de **1984**

Declara Nível de Emergência para a Região de Cubatão-Vila Parisi

Considerando que os índices de poluição relativos a material particulado na estação medidora de Vila Parisi ultrapassaram os níveis de emergência previstos na legislação

Mais de 3 décadas após 'Vale da Morte', Cubatão volta a lutar contra alta na poluição

Camilla Costa
Enviada especial da BBC Brasil a Cubatão (SP)

© 10 março 2017

f     Compartilhar



A batalha de Cubatão contra a poluição atmosférica

Quando a reportagem da BBC visitou Cubatão - o primeiro polo de indústrias pesadas do Brasil - em 1981, o mundo testemunhou os efeitos devastadores da poluição atmosférica.

Vila Parisi, Cubatão-SP

em 1983:
0 fontes de poluição
(ar, águas e solo)



Decreto N° 22.636, de 3 de setembro de
1984

ÁREAS CONTAMINADAS: PROBLEMA AMBIENTAL URBANO

Resíduos → contaminação → riscos à saúde



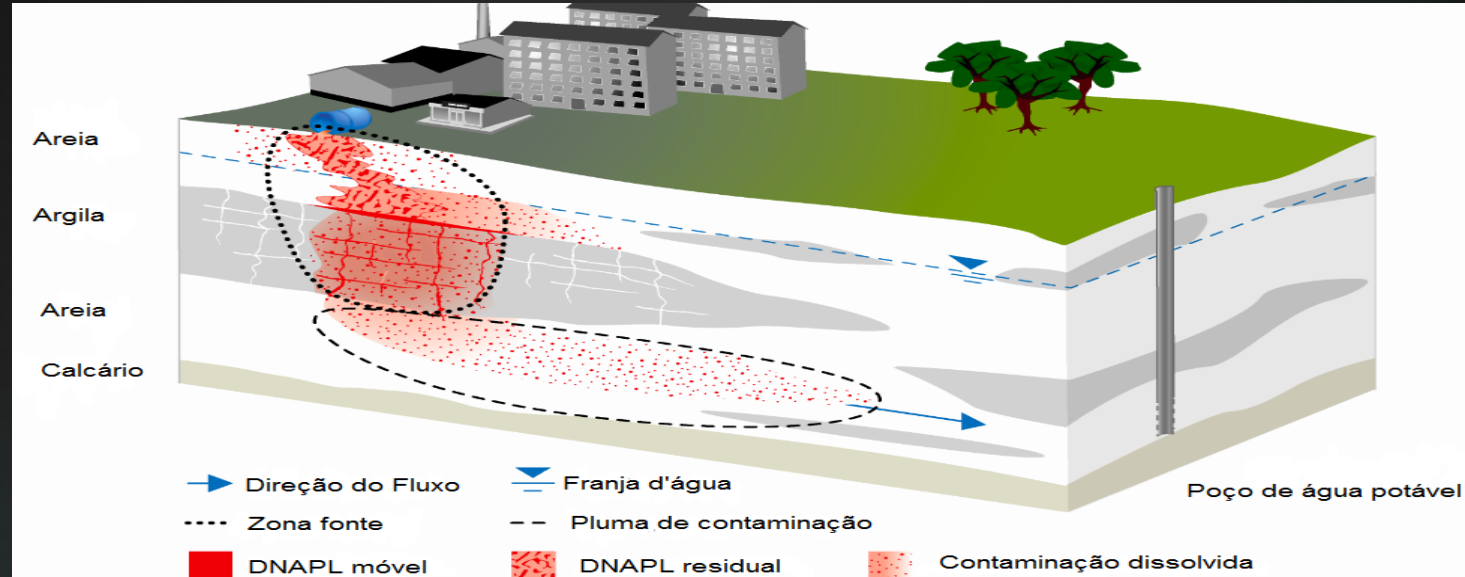
Disponível em:
<http://axelgrael.blogspot.com.br/2009/11/conama-regulamenta-remediacao-de-areas.html>



Disponível em: <http://lixotratado.blogspot.com.br/>



Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticias/campos-minados-a-situacao-de-quatro-terrenos-contaminados-no-estado-do-rio>

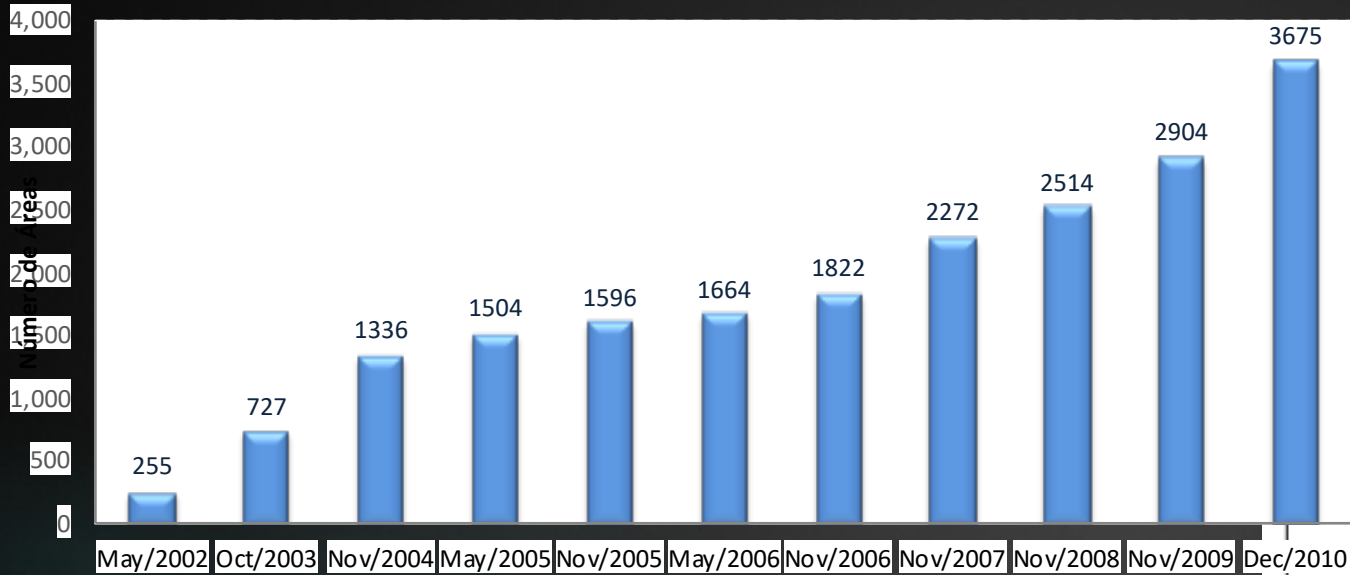


Área Contaminada

- Área, região ou local onde há comprovadamente contaminação do solo e das águas subterrâneas.
- Contaminação é causada pela introdução de substâncias ou resíduos dispostos, enterrados ou infiltrados.

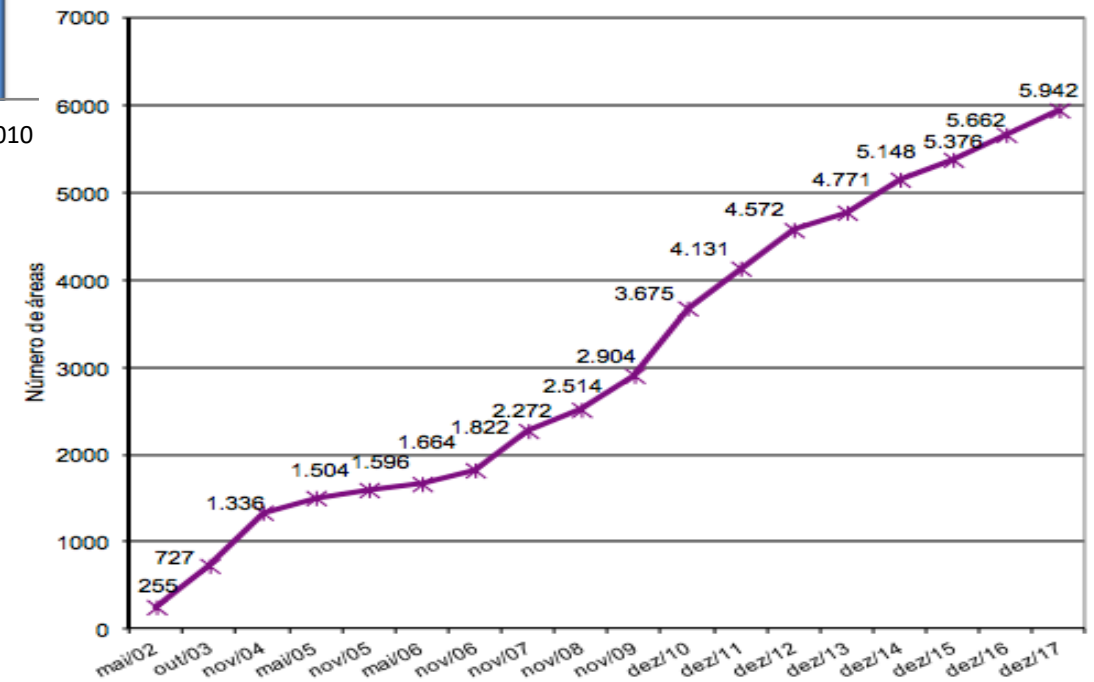
Evolução do Número de Áreas Contaminadas em São Paulo

(Fonte: Cetesb, 2010, 2013, 2017, 2018)



2018: 2.224 áreas no município de SP

Evolução do número de áreas cadastradas

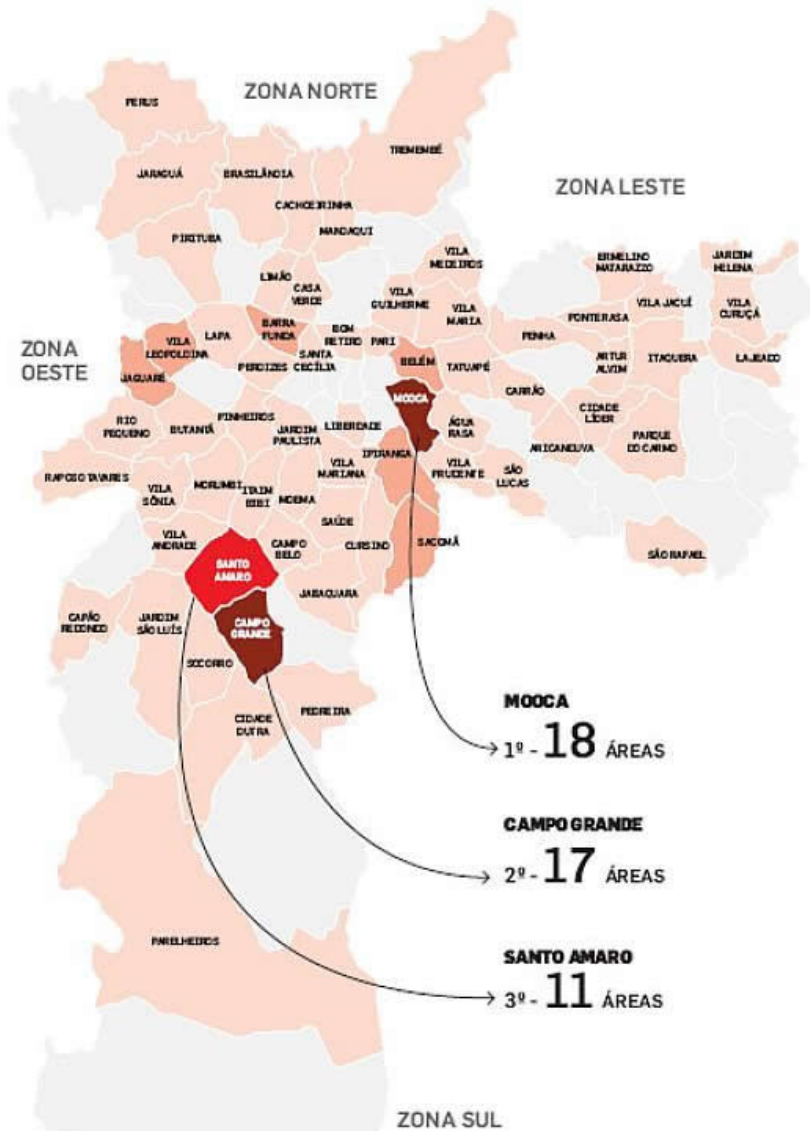


Dados da Cetesb de dezembro de:
2013: 4.771 áreas contaminadas no ESP
2017: 5.942 áreas contaminadas no ESP
2018: 6.110 áreas contaminadas no ESP

LEVANTAMENTO

● Pesquisa da Prefeitura de São Paulo detectou terrenos contaminados em 66 dos 96 distritos do município

0 1 A 5 6 A 10 11 A 15 16 A 20



Disponível em :
http://www.blogger.ind.br/post/46/prevencao_do_solo_contaminado_os_profissionais_de_construcao_civil_precisa_m_ter_os_pes_no_chao.php#.VOPVifnF91Y

BROWNFIELDS



Áreas com instalações industriais e comerciais abandonadas, ociosas ou subutilizadas com potencial de estarem contaminadas ou áreas urbanas potencialmente contaminadas



Quais são os principais contaminantes?

**Como se avalia a concentração dos
contaminantes no solo?**

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹)		
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		(VRQ)	(VP)	
INORGÂNICOS				
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	
Bário	7440-39-3	75	120	
Boro	7440-42-8	-	-	
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	
Chumbo	7439-92-1	17	70	
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13		
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35		
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40		
Crômio hexavalente	18540-29-9	-		
Mercúrio	7439-97-6	0,05		
Molibdênio	7439-98-7	<4		
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13		
Nitrato (como N)	14797-55-8	-		
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25		
Selênio	7782-49-2	0,25		
Zinco	7440-66-6	60		

HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS				
Benzeno	71-43-2	-	0,002	
Estireno	100-42-5	-	0,5	
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	
Tolueno	108-88-3	-	0,9	
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	

HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS				
Antraceno	120-12-7	-	0,3	
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	
Benzo(g,h,i)perileno ⁽³⁾	191-24-2	-	0,5	
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	
Criseno	218-01-9	-	1,6	
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	
Fenantreno ^(3,4)	85-01-8	-	3,6	
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO E

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹)		
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		(VRQ)	(VP)	
BENZENOS CLORADOS				
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	-	0,3	1,6
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	-	0,7	9,2
1,3-Diclorobenzeno ⁽³⁾	541-73-1	-	0,4	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	-	0,1	0,3

1,1-Dicloroeteno	75-35-4	-	0,04	2,8
1,2-Dicloroeteno - cis	156-59-2	-	0,01	0,08
1,2-Dicloroeteno - trans	156-60-5	-	0,03	0,7
Tricloroeteno - TCE	79-01-6	-	0,004	0,03
Tetracloroeteno - PCE	127-18-4	-	0,03	0,6

METANOS CLORADOS				
Cloreto de Metileno (diclorometano)	75-09-2	-	0,02	0,1
Clorofórmio	67-66-3	-	0,06	0,1
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	-	0,004	0,03

FENÓIS CLORADOS				
2-Clorofenol (o)	95-57-8	-	0,06	0,6
2,4-Diclorofenol	120-83-2	-	0,03	0,5
3,4-Diclorofenol ^(3,4)	95-77-2	-	0,05	1
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	-	0,1	68
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	-	0,1	0,6
2,3,4,5-Tetraclorofenol ^(3,4)	4901-51-3	-	0,09	7
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	-	0,01	34
Pentaclorofenol (PCP)	87-86-5	-	0,01	0,07

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO 2014 (A)

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	
FENÓIS NÃO CLORADOS							
Cresóis totais	1319-77-3	-	0,2	14	33	190	600
Cresol-p	106-44-5	-	0,005	-	-	-	-
Fenol	108-95-2	-	0,2	24	65	370	900
ÉSTERES FTÁLICOS							
Dietilexil ftalato (DEHP)	117-81-7	-	1	36	250	730	8
				33	100	550	4,8
				0,5	1,6	3	14
				44	140	850	600
				0,4	0,8	6	0,03 ^(b)
				0,3	0,8	5,9	
				0,8	2,5	17	0,6
				0,3	0,7	3,8	7 ^(B)
				4,7	12	66	20 ^(c)
				1	7,5	23	
				1,2	8,5	25	1 ^(b)
				5,5	22	82	
				0,002	0,02	0,04	0,05
HCH beta	319-85-7	-	0,001	0,01	0,06	0,2	0,17
HCH - gama (Lindano)	58-89-9	-	0,001	0,008	0,06	0,2	2
OUTROS							
PCBs Indicadores ⁽⁵⁾	NA	-	0,0003	0,01	0,03	0,12	3,5
TBT e seus compostos ⁽⁶⁾	NA	-	0,24	16	1,7	270	0,09
Anilina	62-53-3	-	0,023	0,15	0,7	3,2	42

•Cetesb: lista com 85 substâncias contaminantes

(1): Mantidos os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009.
 (2): Mantidos os valores de prevenção da Resolução CONAMA 420/2009.
 (3): Substâncias que não constam da planilha CETESB (versão maio de 2013).
 (4): Mantidos os valores de intervenção da Resolução CONAMA 420/2009.
 (5): Somatória dos congêneres 28, 52, 101, 118,138,153,180 para investigação confirmatória; na investigação detalhada a lista de congêneres deve ser ampliada.
 (6): Valores derivados com as propriedades do óxido de tributil (CAS nº 56-35-9).
 (a): Adotado valor limite de 1% do peso seco do solo (10.000 mg kg⁻¹).
 (b): Somatória dos isômeros ou metabólitos.
 (c): Somatória de endossulfan e sais.
 Obs.: Na determinação de substância inorgânica no solo, para a digestão ácida, seguir as recomendações dos métodos 3050 e 3051 (USEPA-SW-846), ou procedimento equivalente, exceto para mercúrio.
 (A) Tabela publicada no Anexo Único da DD 45/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014;
 (B) VI para água subterrânea do carborfuran retificado pela DD 330/2014/E/C/I, de 05 de novembro de 2014.

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO 2014 (A)

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ⁽³⁾	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ⁽³⁾	1800
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20

- **Valor de Referência** – VRQ é a concentração de determinada substância,
- **Valor de Prevenção** – VP é a concentração acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea.
- O valor **mais restritivo**, dentre estes três critérios, foi definido como o **valor de prevenção**.
- **Valor de Intervenção** – VI é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana,

Principais contaminantes do solo e águas subterrâneas :

- Orgânicos: hidrocarbonetos (etanos, etenos, benzenos, toluenos, xilenos e outros), orgânicos sintéticos (fenóis, éteres, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos e outros), orgânicos nitrogenados, sulfonados e fosforados.
- Inorgânicos: principalmente metais tóxicos ou elementos traços (arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio); metais alcalinos e alcalinos-terrosos (Na, Ca, Mg, K).
- Patogênicos
- Cetesb: lista com 85 substâncias contaminantes

Remediação de Áreas Contaminadas

Remediação de áreas degradadas:

Conceito: é o resultado da aplicação de técnicas de engenharia visando tornar uma área contaminada apta para um novo uso

- ✓ novo uso: igual ou diferente do uso que precedeu a ação que causou a degradação
- ✓ o uso futuro proposto vai condicionar **o nível de descontaminação** a ser atingido

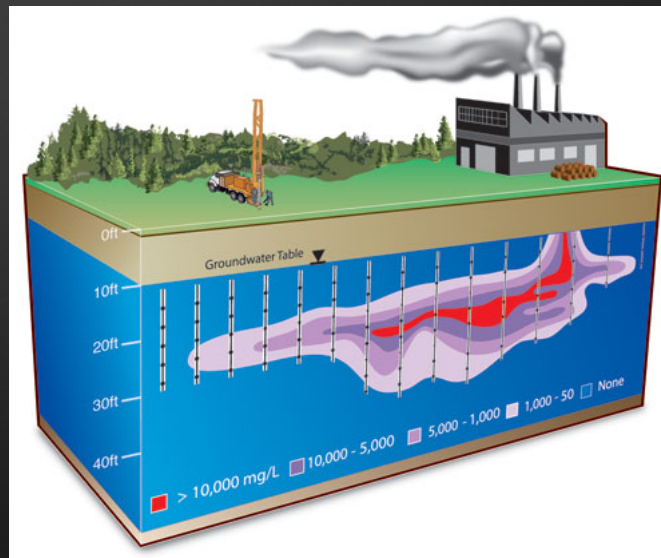
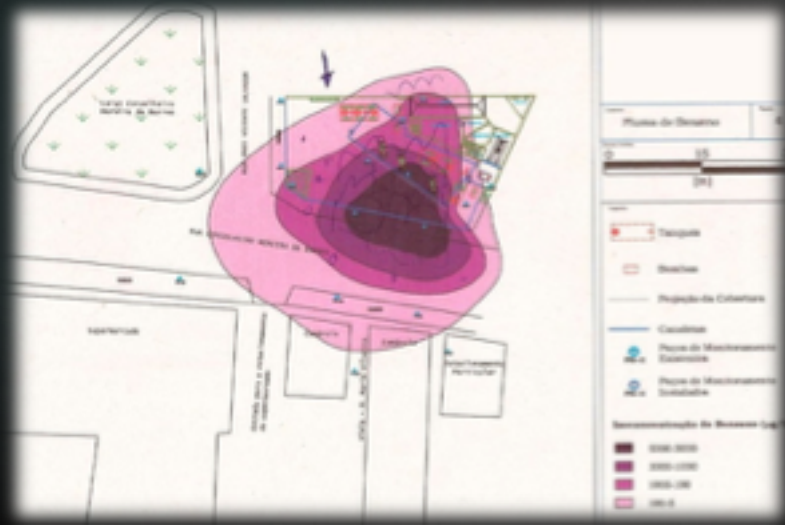
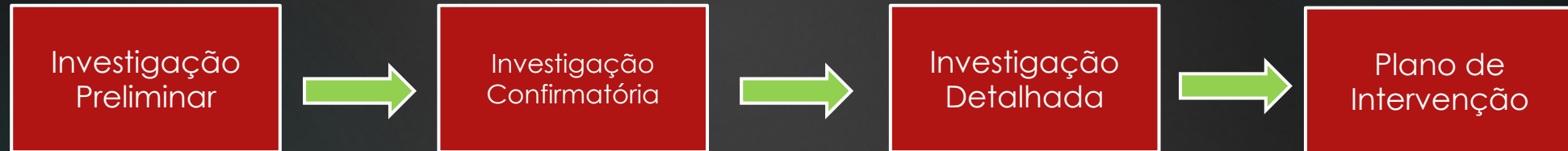


Como se realiza a avaliação da contaminação no solo?

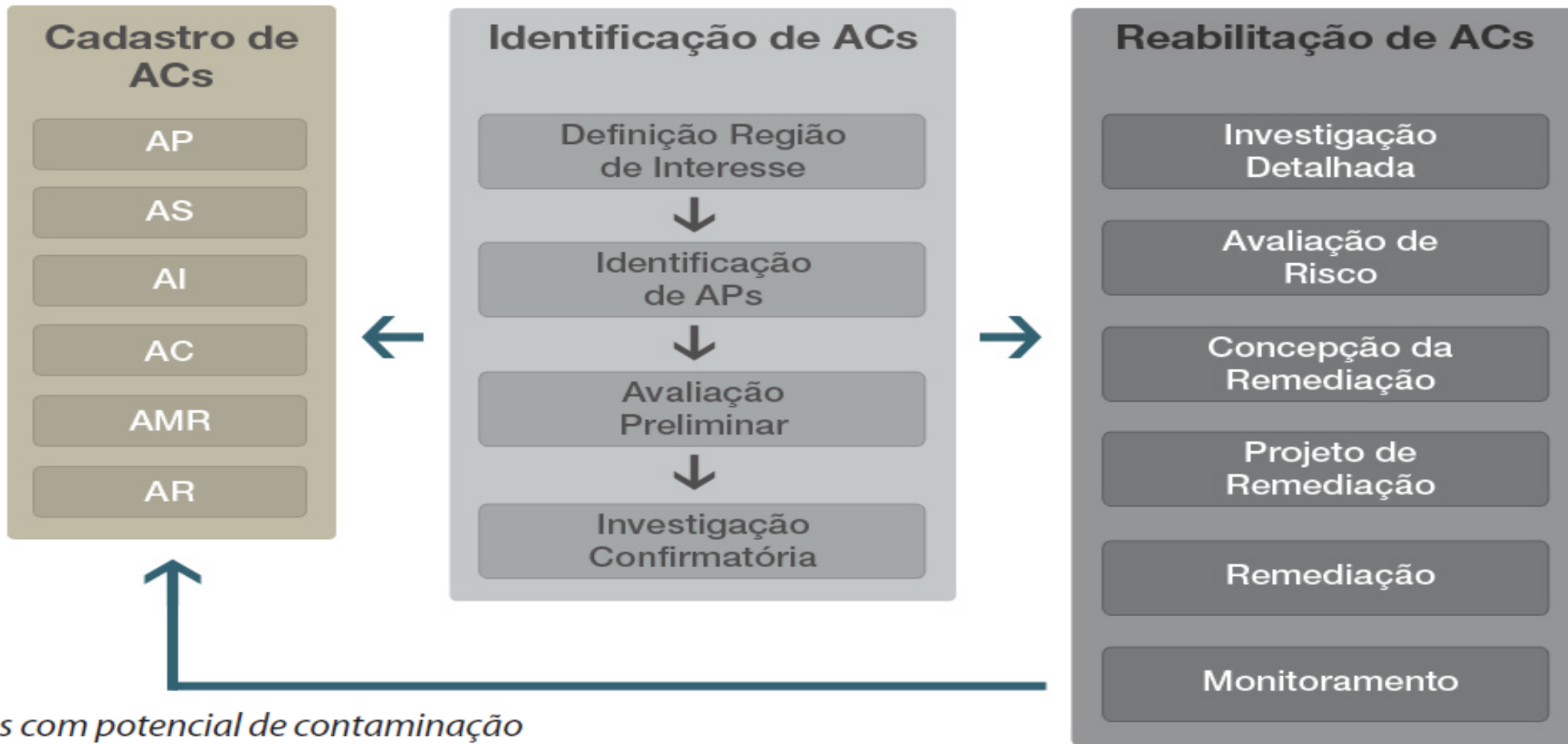
Investigação Ambiental

Como saber se uma área está contaminada ou não?

Atividades realizadas para verificar o histórico da área, as atividades envolvidas e seu potencial de contaminação de solo e de águas subterrâneas



Princípios gerais para Remediação de área contaminada:



AP - Áreas com potencial de contaminação

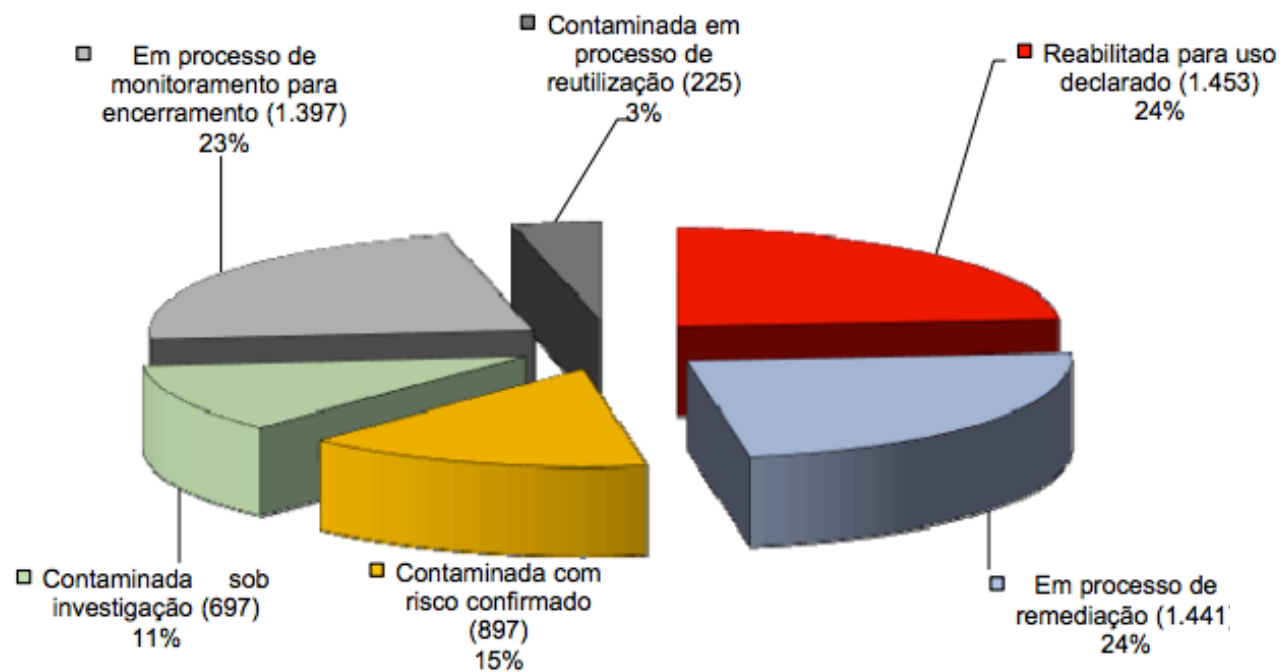
AS - Áreas suspeitas de contaminação

AI - Áreas contaminadas sob investigação

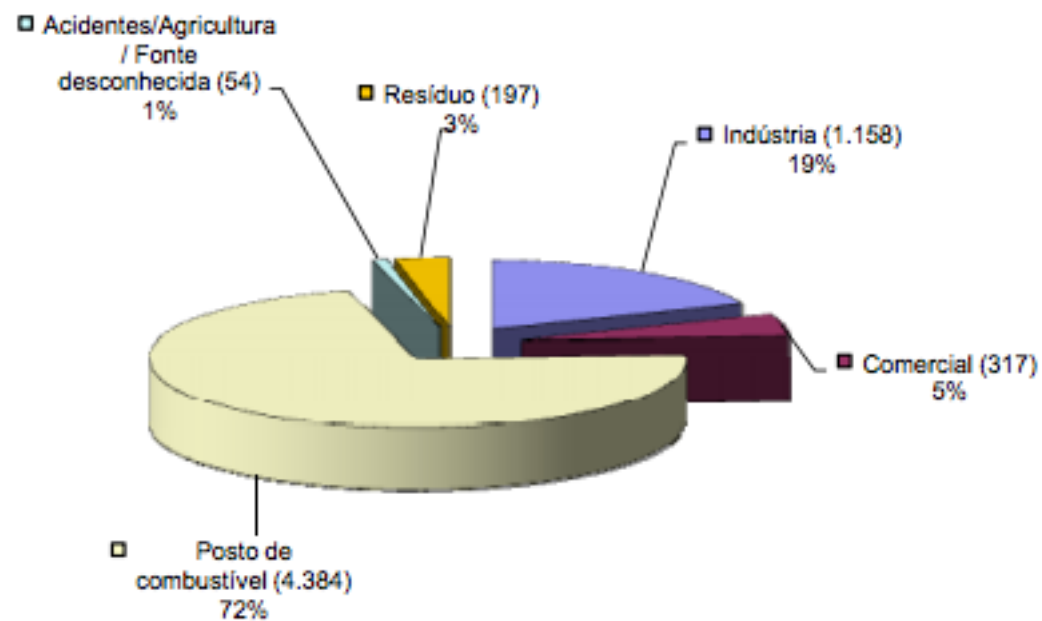
AC - Áreas contaminadas

AMR - Áreas em processo de monitoramento para reabilitação

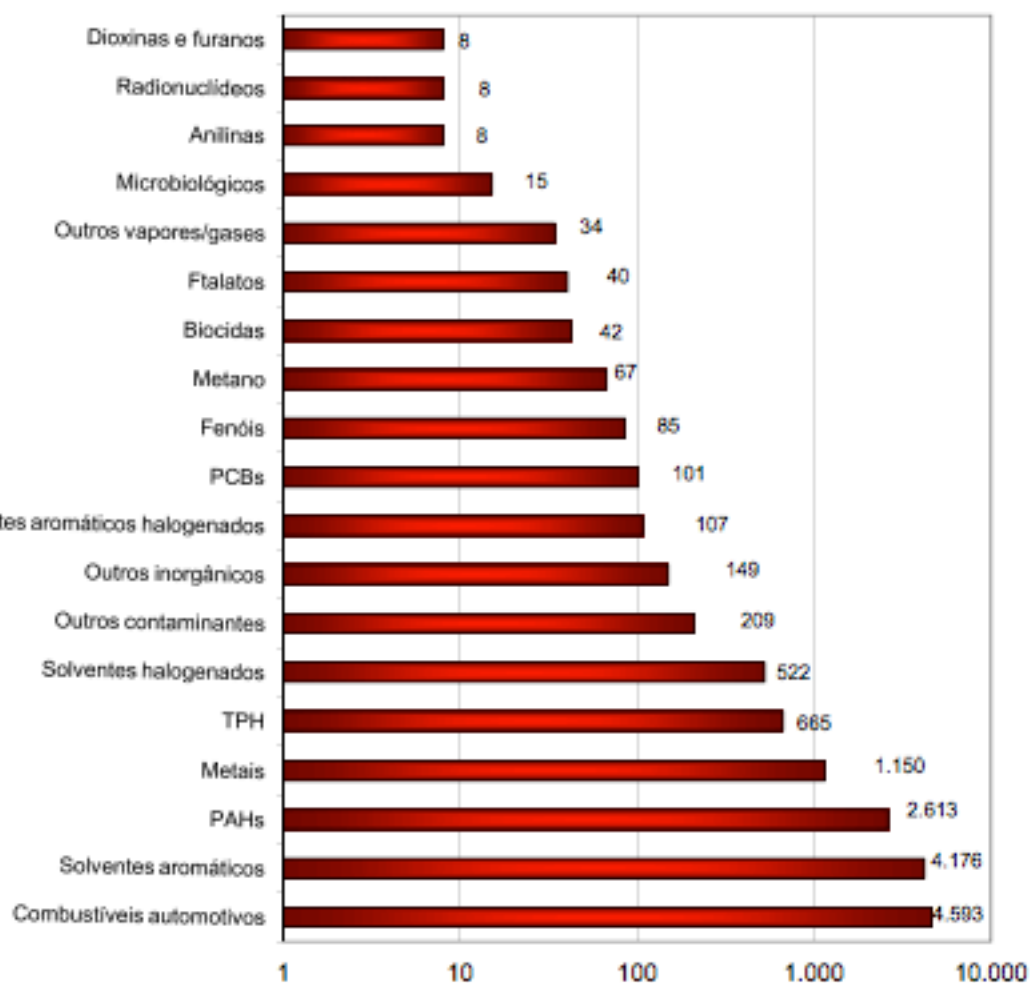
Distribuição das áreas cadastradas quanto a classificação dezembro 2018



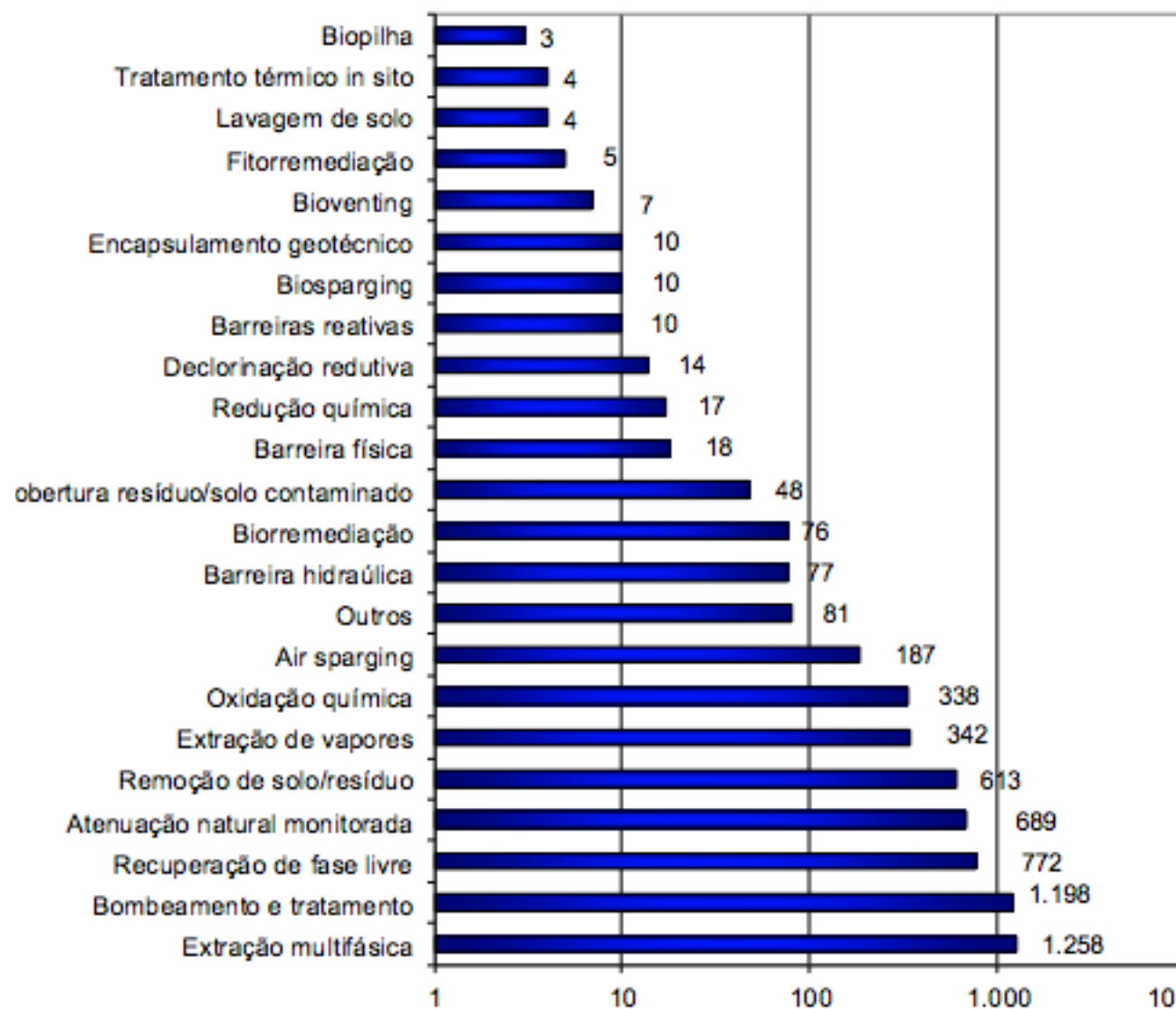
Áreas Cadastradas Distribuição por atividade - dezembro de 2018



Áreas Cadastradas
Constatações de grupos de contaminantes - dezembro de 2018



Áreas Cadastradas
Constatações de técnicas de remediação implantadas - dezembro 2018



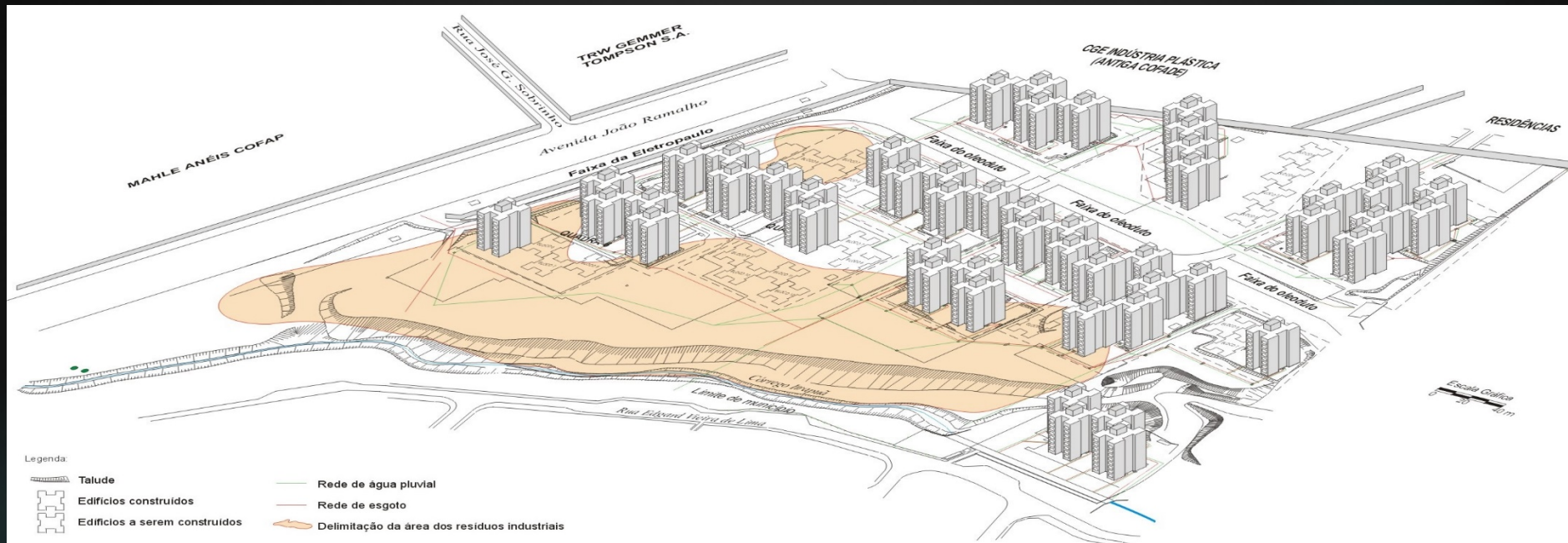
Tecnologias de Remediação

- ▶ **Ex situ/off site**
Escavação e incineração
- ▶ **Ex situ/on site**
Bombeamento e tratamento
- ▶ **In situ**
Injeção Tratamento químico
Nanopartículas de Fe
Biorremediação
- ▶ **Dessorção térmica (tratamento com calor para volatilização de contaminantes do solo)**
- ▶ **Fitorremediação (plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos contaminantes no solo)**



- consumir insumos
- consumir recursos hídricos e energéticos
- alterar o meio
- gerar emissões

Condomínio Barão de Mauá - Fonte: CETESB



- O Conjunto Residencial Barão de Mauá (Mauá) é uma área contaminada por compostos orgânicos e inorgânicos, alguns deles voláteis.
- Foi implantado em terreno pertencente à empresa de amortecedores Cofap, o qual havia sido aterrado com resíduos sólidos industriais, predominantemente areias de fundição.
- Como não havia controle da área pelos proprietários, outras substâncias tóxicas foram depositadas inadequadamente.
- Nem todos os edifícios foram construídos sobre os resíduos; a maioria foi implantada em terreno que não sofreu contaminação – 11 torres em áreas contaminadas com 44 substâncias tóxicas

Área onde será construído condomínio Cidade de Deus está contaminada

Por [Portal Opinião Pública](#) 24/01/2019 - 10:00 hs



Pouco mais de 17 anos após Mauá vivenciar um triste episódio, com a descoberta de que o Condomínio Barão de Mauá, localizado no Parque São Vicente, foi construído em uma área contaminada por quase 50 substâncias tóxicas, a cidade pode estar prestes a testemunhar um caso semelhante. Isso porque segundo denúncias recebidas pelo Jornal Opinião Pública, o terreno onde será erguido o Condomínio Cidade de Deus - que reunirá um prédio de reuniões da Igreja Água Viva, escola e torres com apartamentos residenciais, está contaminado. A área localizada na Rua Rio Branco, região central de Mauá, abrigou