



PHA 3203

ENGENHARIA CIVIL E

MEIO AMBIENTE

AULA

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E
REMEDIÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Profa. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo

Prof. Joaquin *Ignacio Bonnacarrère Garcia*

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 – 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

Áreas degradadas:

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

Ex. Alterações paisagísticas; degradação do ambiente construído



<http://iconline.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



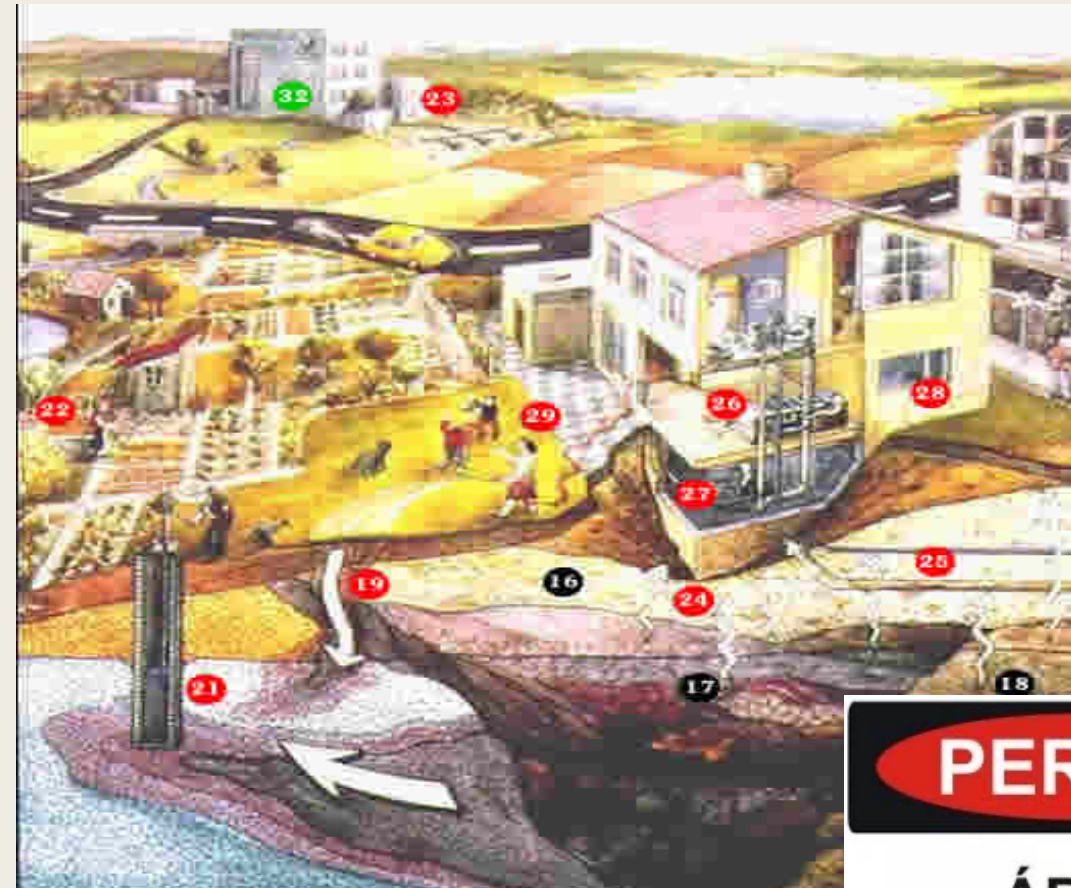
EXEMPLOS:

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?



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

Exemplo: Recuperação de área degradada



Construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes

- a) área degradada da construção da 1ª pista
- b) necessidade de área para bota-fora de materiexcedente 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



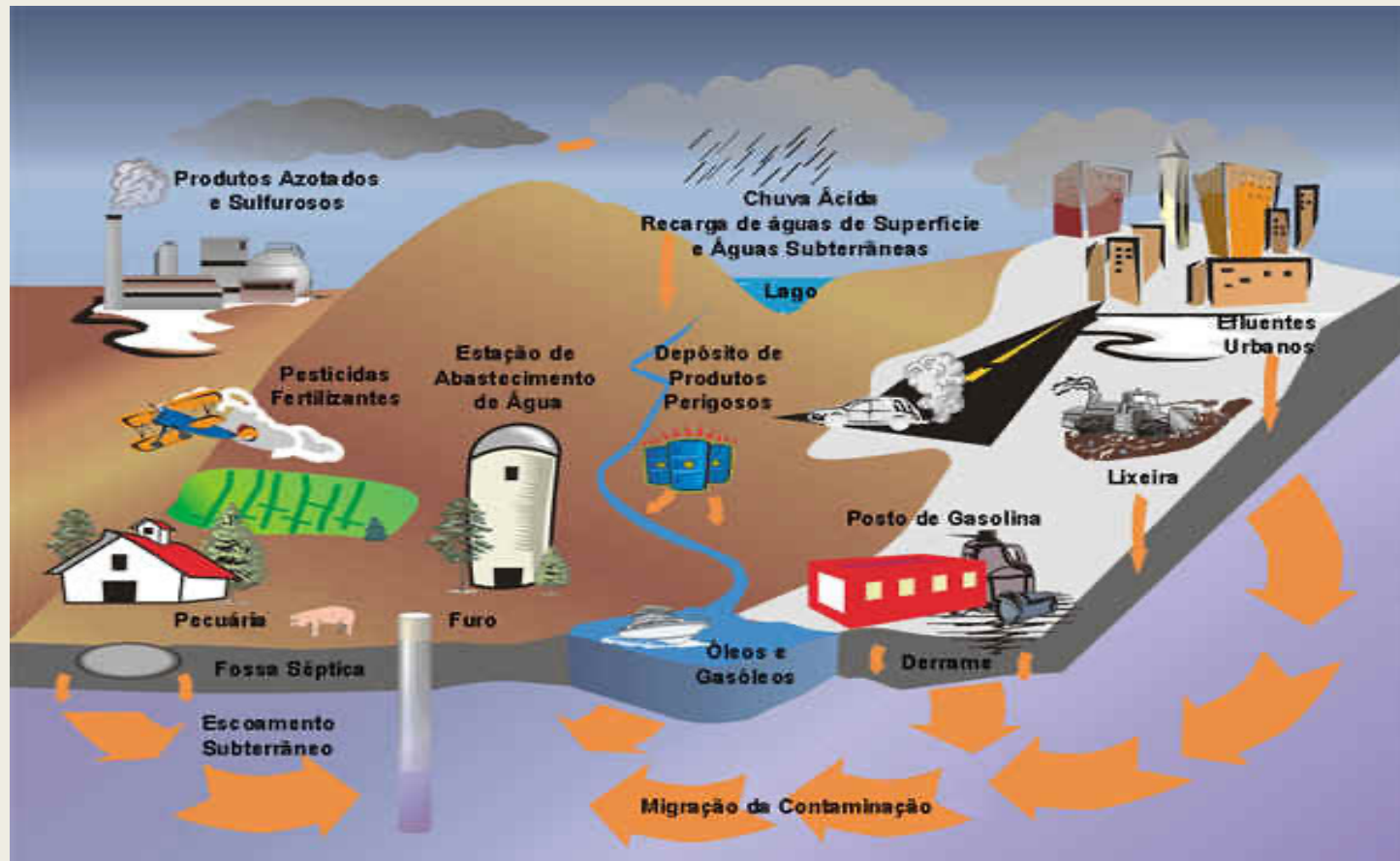
Exemplos: áreas degradadas recuperadas



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

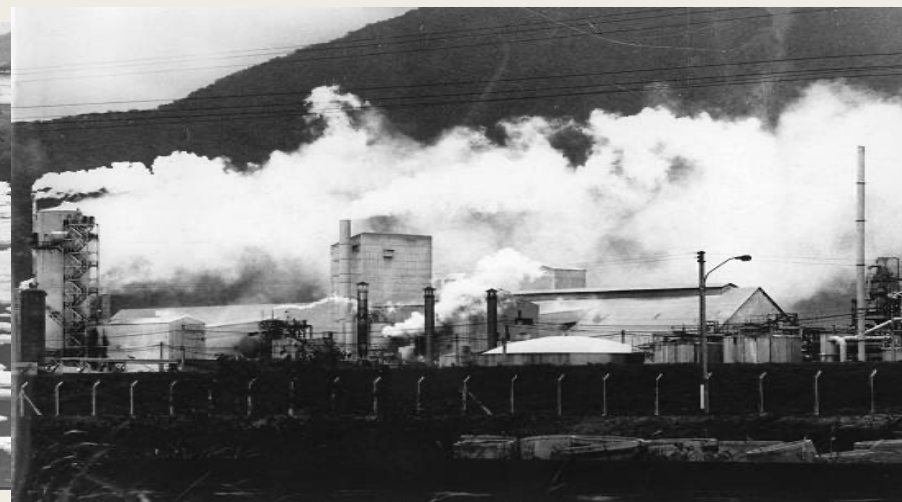
- https://www.youtube.com/watch?v=bC_E_mUQu0E

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.



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:

* 320 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



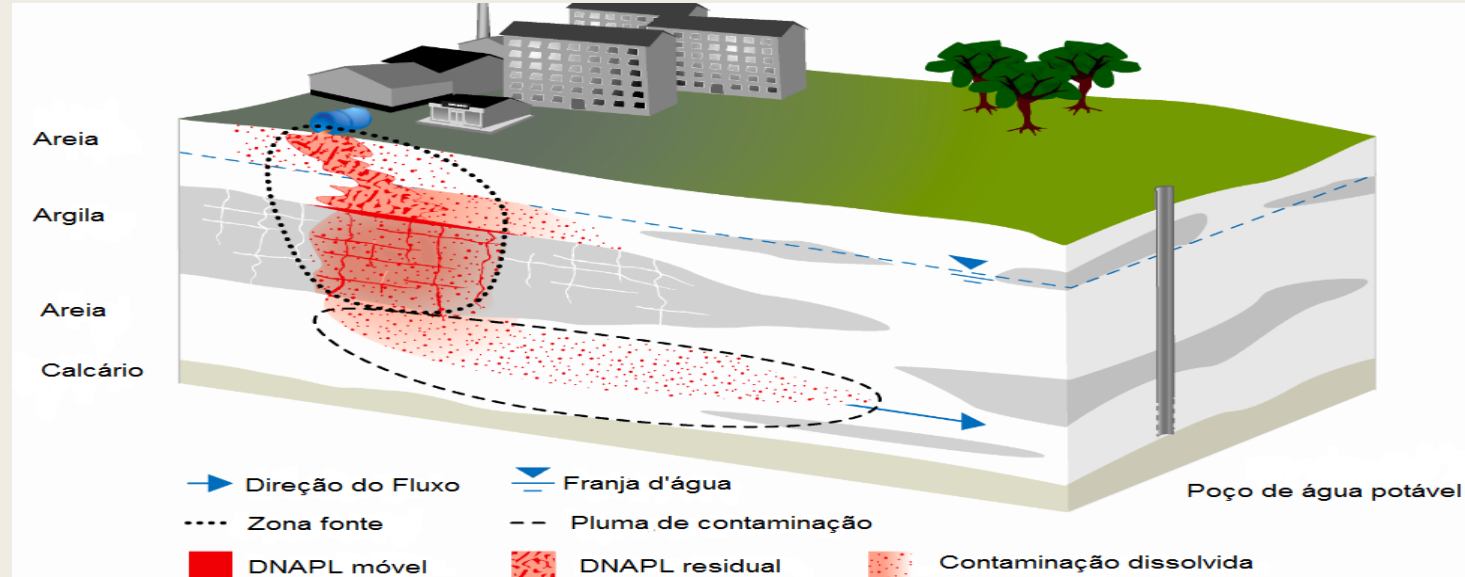
Disponível em: <http://axelgrael.blogspot.com.br/2009/11/com-a-regulamenta-remediacao-de-areas.html>



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



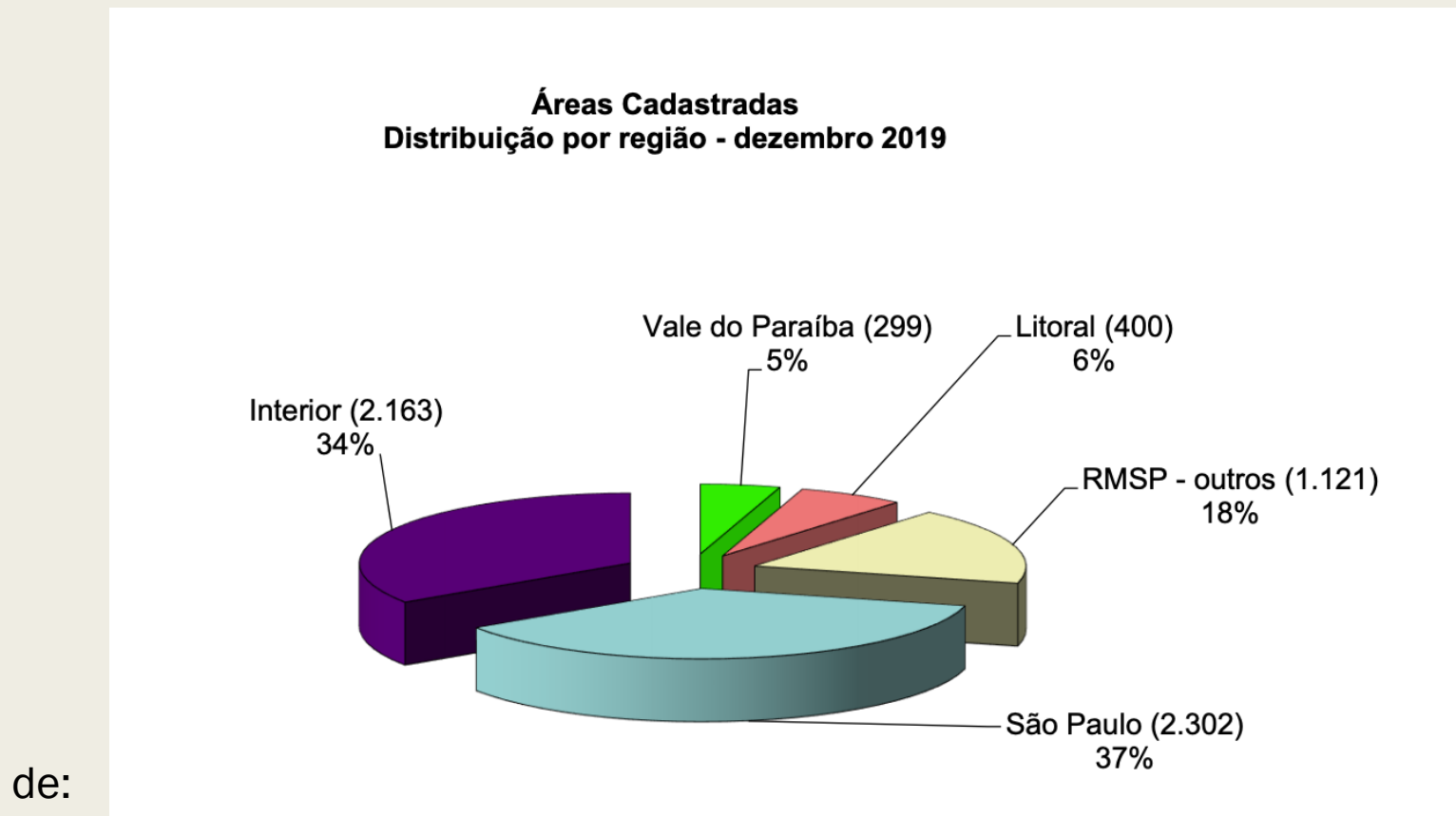
Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticias/campos-minados-a-situacao-de-quatro-terrenos-contaminados-no-estado-do-rio>



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, 2019)



2013: 4.771 áreas contaminadas no ESP

2017: 5.942 áreas contaminadas no ESP

2018: 6.110 áreas contaminadas no ESP

2019: 6.225 áreas contaminadas no ESP

2019: **2.302 áreas no município de SP**

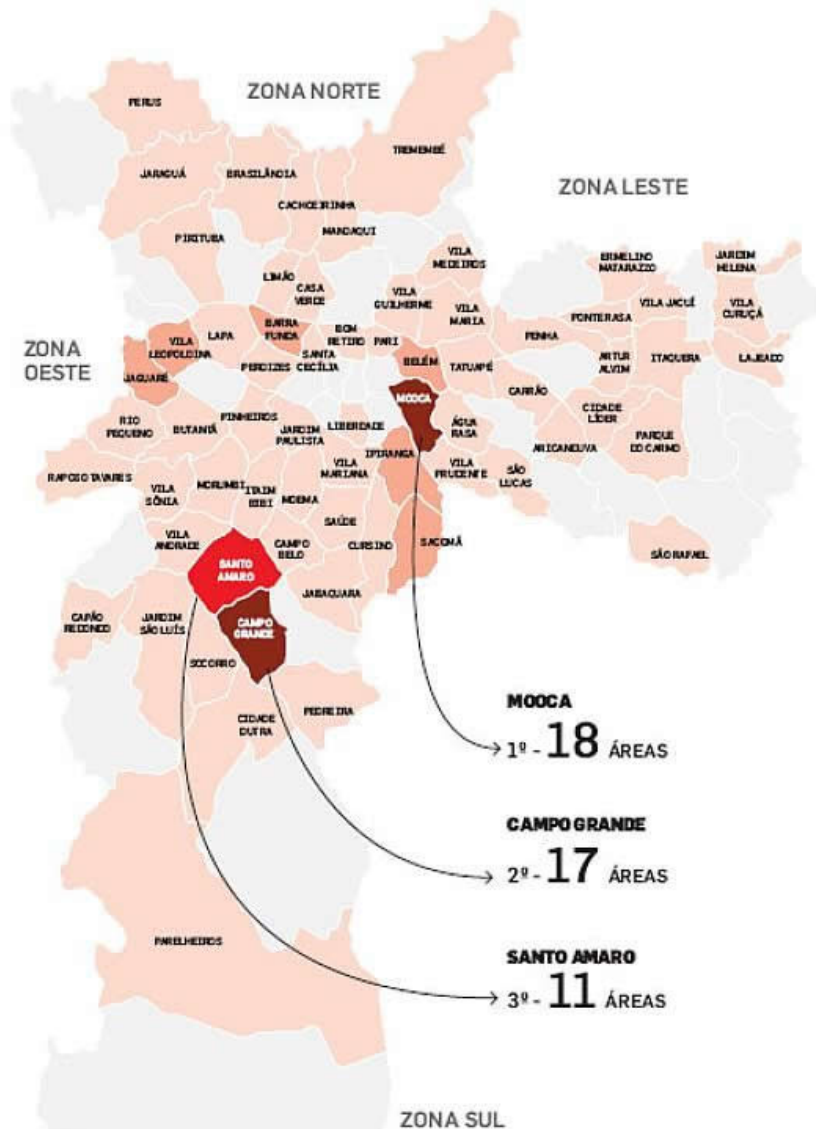
A partir de 2022 atualizadas em tempo real:

<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>

LEVANTAMENTO

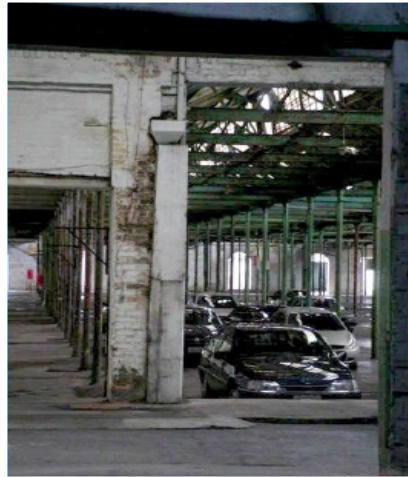
● Pesquisa da Prefeitura de São Paulo detectou terrenos contaminados em 66 dos 96 distritos do município

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_precisam_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?

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**

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	72	
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-Dicloroetano	75-35-4	-	0,04	2,8
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	-	0,01	0,08
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	-	0,03	0,7
Tricloroetano - TCE	79-01-6	-	0,004	0,03
Tetracloroetano - 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

(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.

•Cetesb: lista com 85 substâncias contaminantes

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,

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

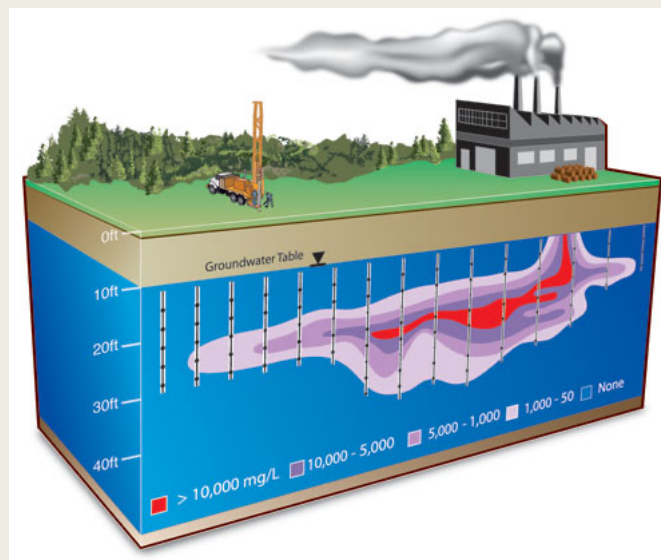
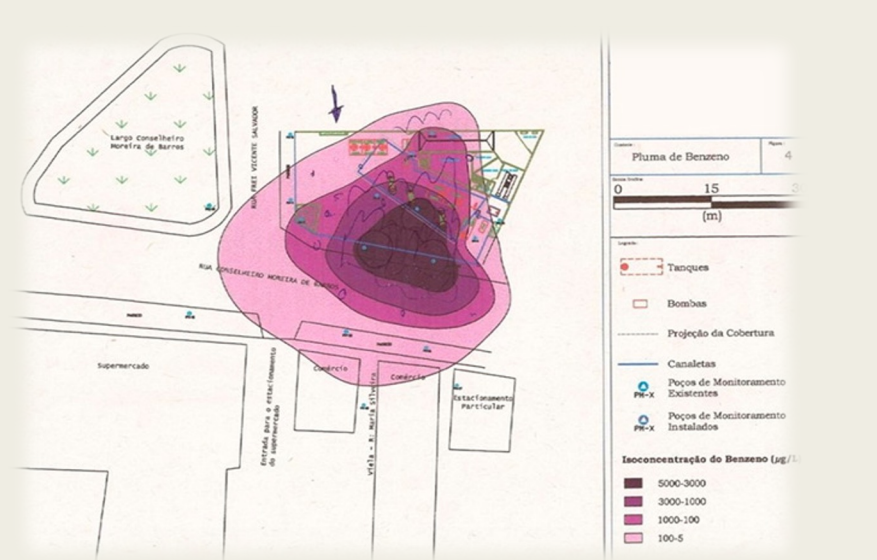
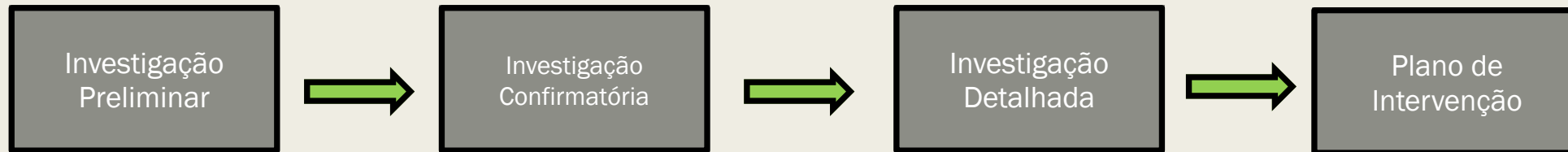
- ✓ novo uso: igual ou diferente do uso que precedeu a ação que causou a degradação
- ✓ o uso futuro proposto vai condicionar **o nível de descontaminação** a ser atingido

Como se realiza a avaliação da contaminação no solo?

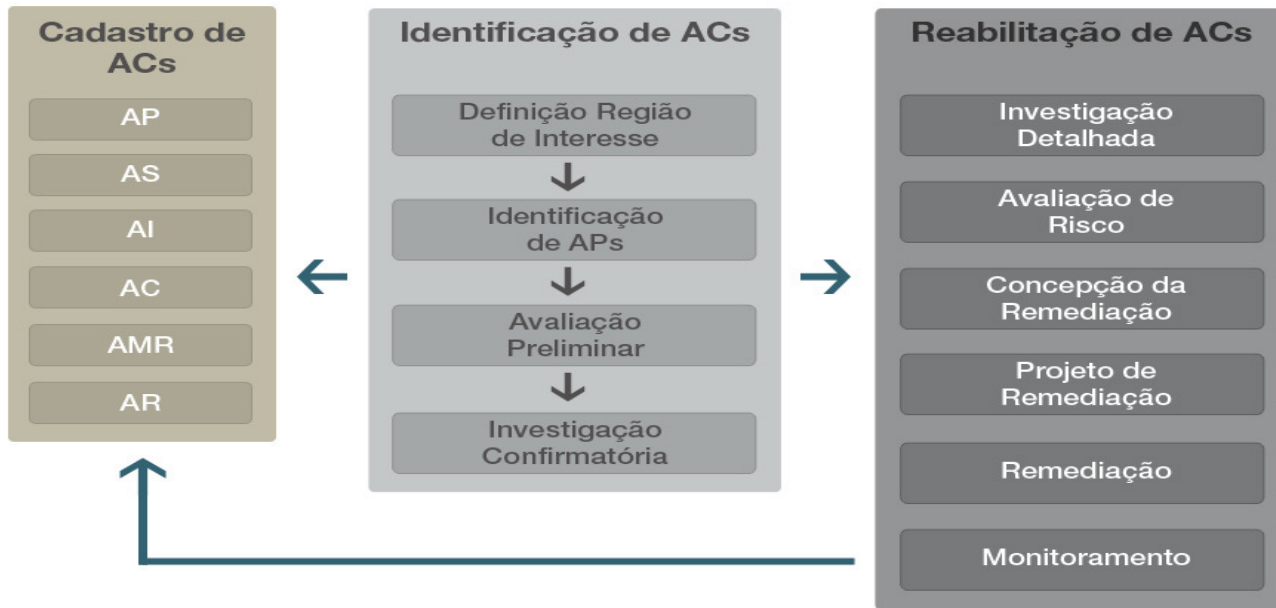
Investigação Ambiental

Como saber se uma área está contaminada ou não?

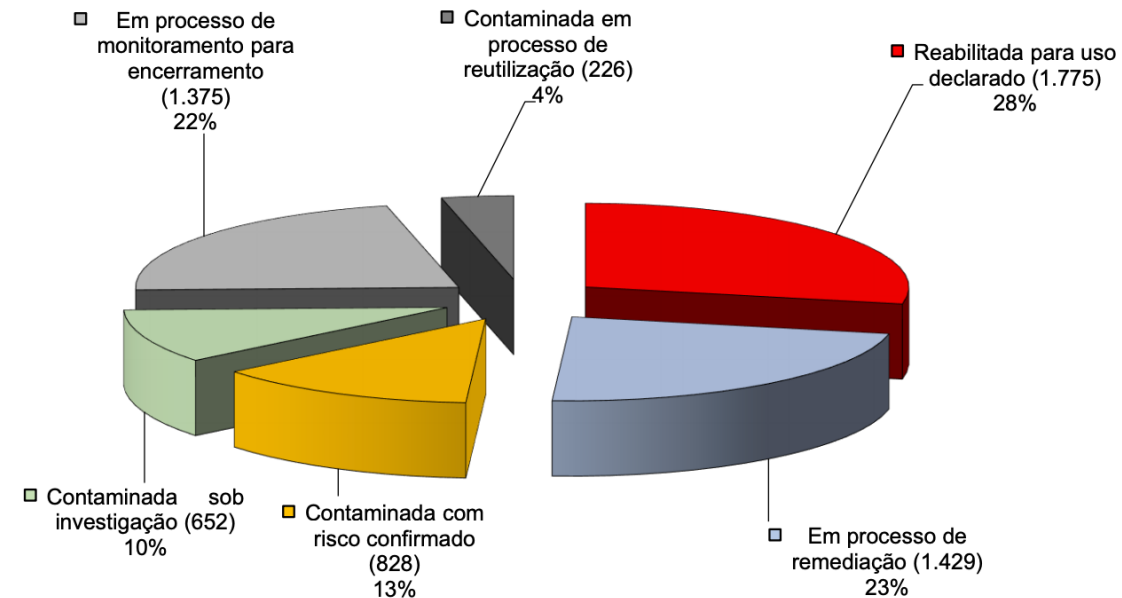
Atividades realizadas para verificar o histórico da área, as atividades envolvidas e seu potencial de contaminação de solo e de águas subterrâneas



Princípios gerais para Remediação de área contaminada:



Distribuição das áreas cadastradas quanto a classificação dezembro 2019



AP - Áreas com potencial de contaminação

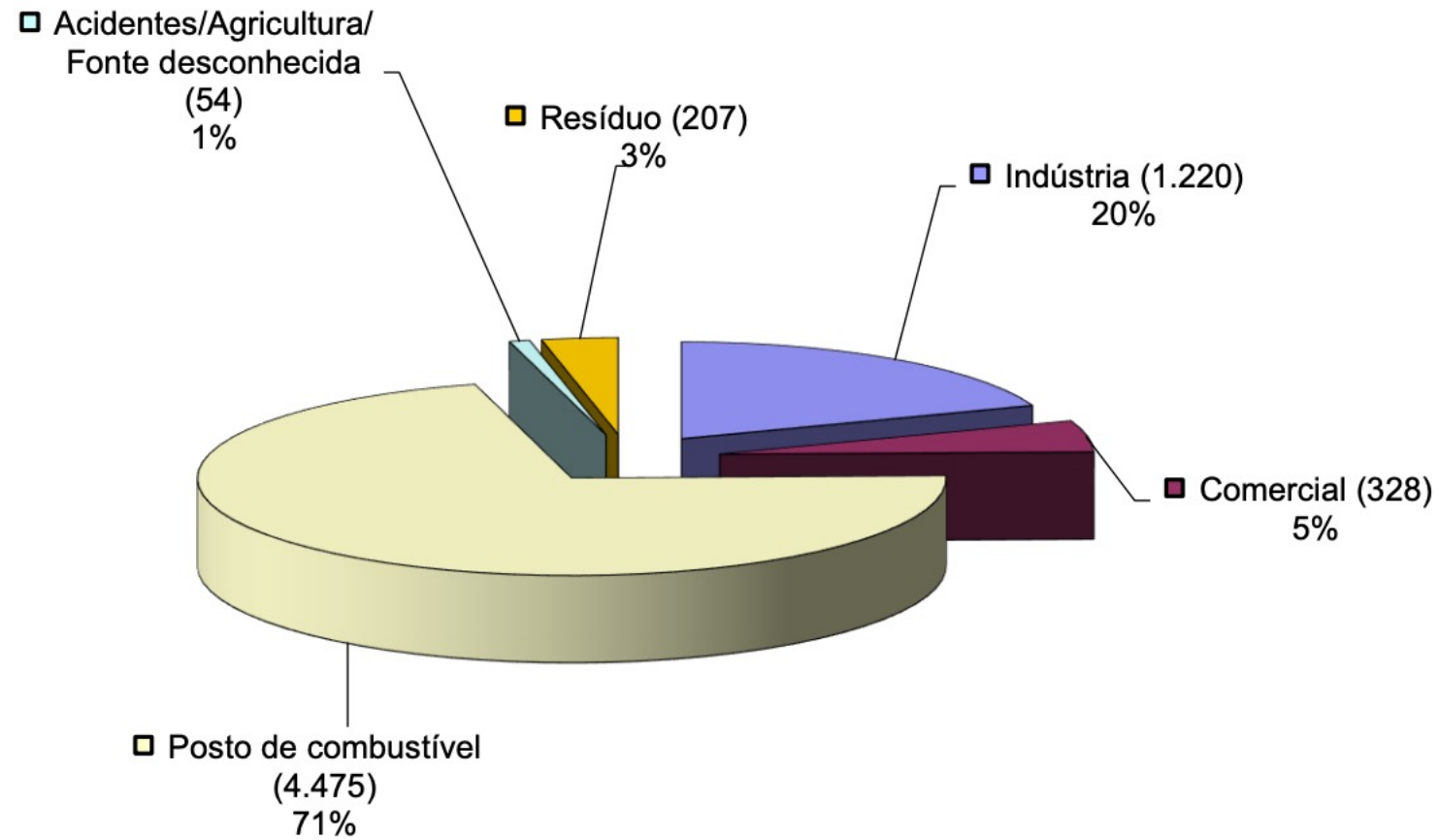
AS - Áreas suspeitas de contaminação

AI - Áreas contaminadas sob investigação

AC - Áreas contaminadas

AMR - Áreas em processo de monitoramento para reabilitação

No Estado de São Paulo: como é a atuação da Cetesb?



Tecnologias de Remediação

Ex situ/off site

Escavação e incineração

Ex situ/on site

Bombeamento e tratamento

In situ

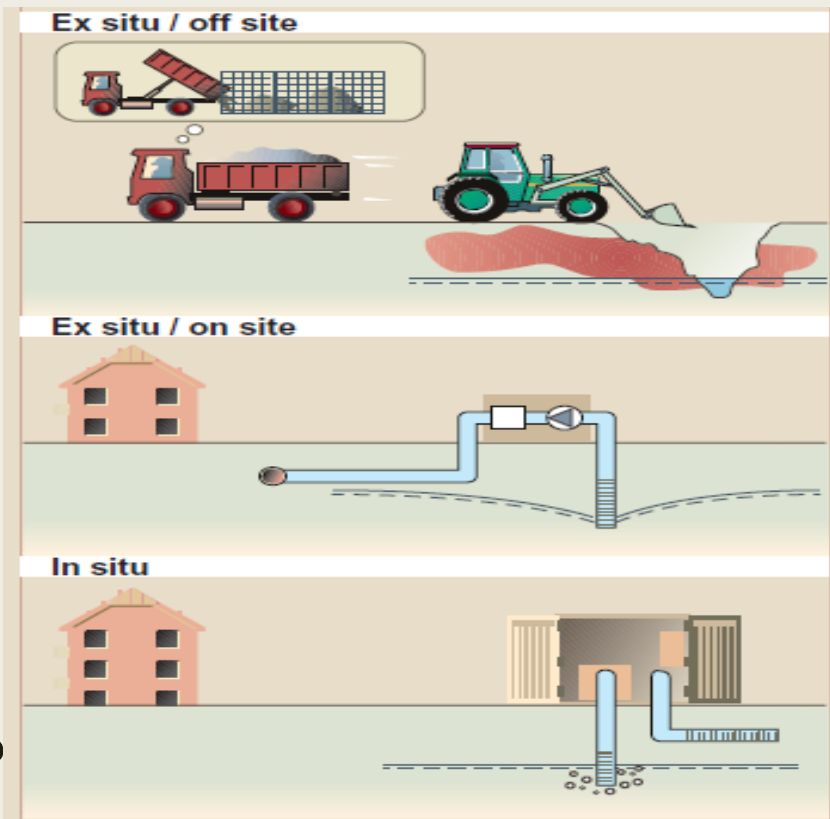
Injeção Tratamento químico

Nanopartículas de Fe

Biorremediação

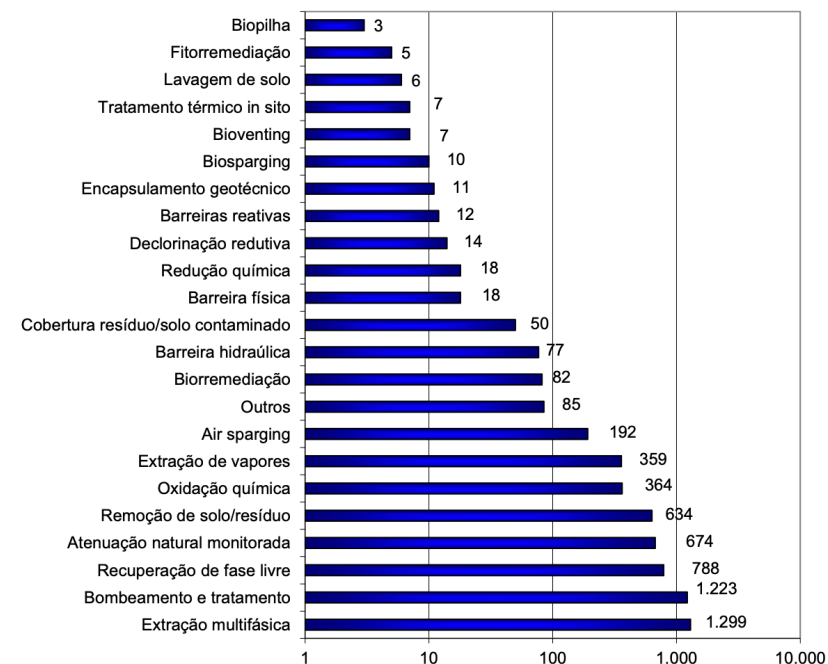
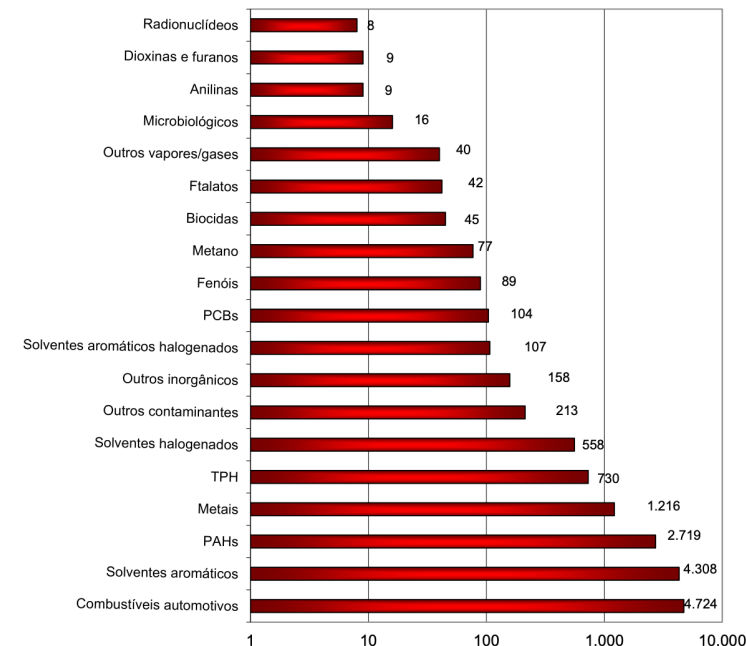
Dessorção térmica (tratamento com calor para volatilização de contaminantes do solo)

Fitorremediação (plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos contaminantes no solo)

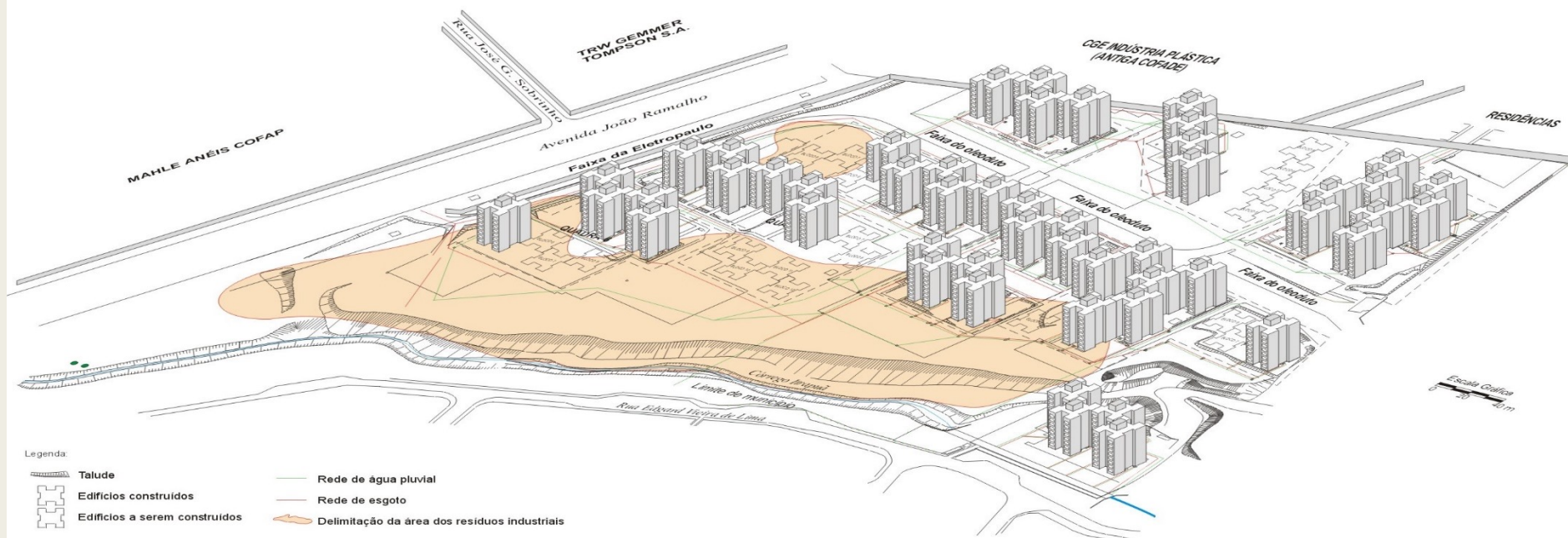


- consumir insumos
- consumir recursos hídricos e energéticos
- alterar o meio
- gerar emissões

Áreas Cadastradas
Constatações de grupos de contaminantes - dezembro de 2019



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 - 10:50 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

<https://www.youtube.com/watch?v=fcdT08nnLEQ>