

# Resíduos sólidos industriais: poluição (\*)

JOSÉ FRANCISCO FURQUIM DE CAMPOS (\*\*)

## 1. APRESENTAÇÃO

O fim do colonialismo, que se iniciou na primeira metade deste século, logo após o término da primeira grande guerra, teve grande repercussão nos países do terceiro mundo, também chamados de nações em desenvolvimento, provocando o que podemos denominar de anseio de vocação industrial, e com ele, a concentração das populações nos centros urbanos, com conseqüente esvaziamento das zonas rurais.

Como resultado da atividade industrial concentrada, geralmente, em torno de uma indústria básica, verifica-se o surgimento de pequenas e médias indústrias, subsidiárias e dependentes formando os pólos industriais. O centro ou o pólo pode ser industrial petroquímica, químico, siderúrgico, metalúrgico, etc., conforme a indústria de

base que o lidera e fornece matéria-prima para as outras pequenas e médias indústrias, chamadas de transformação ou secundárias.

Em conseqüência do crescimento industrial há a degradação ambiental (água, ar e solo). Trataremos neste trabalho da poluição do solo, quase sempre ocasionada pelo lançamento de resíduos sólidos industriais que podem causar, direta ou indiretamente, a poluição das águas ou do ar.

## 2. DEFINIÇÕES

Definiremos a seguir, algumas expressões a fim de evitar dúvidas quanto ao seu uso e aplicação correta:

### 2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

São considerados resíduos sólidos industriais os efluentes resultantes do processamento industrial, bem como determinados líquidos, não passíveis de tratamento pelos métodos convencionais que, por suas características peculiares, não podem ser lançados na rede de esgotos ou em corpos receptores de água. Incluem-se também nesta classificação, os lodos de estações de tratamento de efluentes.

### 2.2. RESÍDUOS PERIGOSOS

Os resíduos sólidos ou misturas de resíduos que, em razão de suas

quantidades, concentrações, características físicas, químicas ou biológicas, podem causar, ou contribuir, de forma significativa, para a mortalidade ou a incidência de doenças irreversíveis ou incapacitar a reversibilidade das demais ou, ainda, apresentar perigo substancial, imediato ou potencial, à saúde pública ou ao meio ambiente quando transportados, armazenados, tratados ou dispostos de forma inadequada.

## 3. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO RISCO

Os resíduos sólidos industriais podem ser classificados quanto ao risco que oferecem, em quatro categorias, a saber:

*Categoria 1:* resíduos considerados perigosos, ou seja, que requerem cuidados especiais quanto a coleta, acondicionamento, transporte e destinação final, pois apresentam substancial periculosidade, real ou potencial, à saúde humana ou ao organismo vivo e se caracterizam pela letalidade, não degradabilidade e pelos efeitos cumulativos adversos.

*Categoria 2:* resíduos potencialmente biodegradáveis e/ou combustíveis.

*Categoria 3:* resíduos considerados inertes e incombustíveis.

*Categoria 4:* resíduos constituídos por uma mistura variável e heterogênea

(\*) Palestra proferida no Primeiro Curso Básico Para Gerenciamento de Sistemas de Resíduos Sólidos, promovido pelo CEPIS-Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente, da Organização Pan-Americana de Saúde, escritório regional da Organização Mundial de Saúde e pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

(\*\*) Engenheiro Civil - Superintendente de Estudos de Resíduos Sólidos da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

de substâncias que individualmente poderiam ser classificadas nas categorias 2 ou 3.

Verifica-se pela classificação acima que os resíduos sólidos industriais de categoria 1 são os que oferecem efetivamente risco, tanto à saúde pública como ao meio ambiente sendo portanto, os que merecem maior atenção, tanto dos produtores, como das autoridades responsáveis pelo controle da poluição ambiental.

A identificação dessa categoria de resíduo poderá ser feita de duas formas:

- através da sua inclusão na lista de resíduos considerados perigosos, como a constante das recomendações preparadas pelo Comitê para Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas, não havendo portanto necessidade de execução de testes ou análises;
- a composição quantitativa e qualitativa é desconhecida, assim como eventuais efeitos sinérgicos indesejáveis, desconhecendo-se também, determinadas características dos componentes como: solubilidade, potabilidade, etc.

Tal resíduo deverá então ser amostrado criteriosamente e submetido a análises e testes de laboratório que permitirão a avaliação de algumas propriedades que definam o seu grau de periculosidade, como: inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade e capacidade de bio-acumulação

#### 4. POLUIÇÃO POR RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos de qualquer natureza quando dispostos de forma inadequada podem causar a poluição tanto da água como do ar e principalmente do solo e subsolo.

A poluição do ar pode ser causada por resíduos sólidos — apesar do seu peso específico ser alto — quando os mesmos são fragmentados em pequenas partículas e transformados em pó. Quando um veículo desenvolve alta velocidade em via não pavimentada, levanta uma nuvem de pó fino, ou mais grosso, que chega a prejudicar o tráfego, penetra no sistema respiratório, sendo transportado pelo vento, e empoeirando tudo ao se depositar. Isto é um exemplo de poluição do ar por sólidos.

Podemos citar um grande número de outros elementos sólidos sendo carreados ao ar poluindo-o, como a fuligem das chaminés (material particulado), pó das pedreiras, da descarga de cimento, etc.

A poluição das águas por materiais

no estado sólido é fácil de se sentir e avaliar e não faltam exemplos, desde os nossos bancos escolares. Como exemplo, usaremos o próprio pó que estava no ar. Se ele se depositar sobre um rio ou lago poderá alterar as condições físicas da água, alternando a sua cor, o que também é poluição.

Vejam agora, a poluição do solo por resíduos sólidos. O solo é nosso suporte e também do meio gasoso e líquido dos quais dependemos. Quaisquer resíduos ou matéria sólida nele depositados podem causar poluição. Quando construímos uma casa, depositamos no solo uma grande quantidade de materiais, tijolo, areia, madeira, telha que se transformam numa casa que, mesmo não sendo uma obra de arquitetura, também não é uma forma de poluição. Então o que é poluição do solo? Ora, se eu uso o solo como meu suporte, e nele faço várias obras para garantir minha subsistência, há necessidade de se definir o que é poluição do solo por sólidos.

Assim podemos definir como poluição do solo, a deposição, a disposição, a descarga, a infiltração, a acumulação ou o enterramento no solo de substâncias ou produtos, em qualquer estado da matéria, desde que poluentes.

#### 5. RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS

Todas as indústrias produzem detritos que definimos como RESÍDUOS INDUSTRIAIS e que no ítem 3 classificamos quanto ao risco em: perigosos; biodegradáveis e/ou combustíveis; inerte e incombustíveis, e combustíveis e inertes (mistura de bio-degradáveis).

Assim, uma indústria qualquer pode produzir resíduos das quatro categorias ou somente de uma das quatro categorias, mas nem todas as indústrias, felizmente, produzem resíduos sólidos perigosos.

Consideramos como resíduos sólidos perigosos, alguns detritos do processo industrial e alguns produtos já comercializados quando descartados que constem da listagem de produtos tóxicos (venenos) e substâncias infectantes, radiativos, corrosivos e reativos.

Podemos, também considerar como resíduos sólidos perigosos, determinados resíduos do processamento industrial que apresentam em teste de lixiviação determinados elementos ou compostos acima de níveis pré-estabelecidos ou fixados em normas ou regulamentos.

Esses elementos ou compostos, que indicam periculosidade são:

- Cr<sup>+6</sup> Cromo hexavalente
- Cd Cádmio
- Hg Mercúrio
- Pb Chumbo
- As Arsenio
- CN Cianeto
- Ba Bário
- Se Selenio
- Ag Prata
- Compostos organo-clorados (O.Cl)
- Compostos organo-fosforado (O.P)
- Produtos contendo bifenil-poloclorado (PCB)

A presença de alguns dos elementos ou compostos indicados acima de certa concentração, no resíduo sólido, leva a considerá-lo como perigoso.

Esta sistemática é adotada em alguns países industrializados como o Japão e os Estados Unidos da América, e mesmo assim, há bem pouco tempo. No Brasil ainda não há padrões para os testes de lixiviação, de modo que é difícil acionar-se uma indústria para que adote medidas adequadas à disposição desses resíduos.

Para fins de exemplificação vejamos quais são os índices adotados nesses países, comparando-os aos índices de controle de poluição das águas adotadas no Estado de São Paulo para efluentes líquidos industriais.

Analisando a tabela 1 verificamos que os Estados Unidos e o Japão, que apresentam alto índice de industrialização, têm também grande preocupação com o controle da poluição ambiental. Nesses países já ocorreram acidentes graves, como o de Minamata, no Japão, devido a efluente líquido contendo mercúrio e, nos Estados Unidos, em Love Canal, com produtos químicos.

Apesar disso verifica-se que os índices indicados para os testes de lixiviação variam, e variam de muito. Os índices foram escolhidos e fixados de acordo com as condições peculiares de cada um deles. Isto pode ser devido à tecnologia industrial, à composição da matéria-prima, condições ambientais diversas e talvez, até mesmo, a condições econômicas. Ao que nos parece o Japão é mais restritivo e isto porque na disposição final dá maior ênfase ao lançamento no oceano do que ao aterro sanitário.

**TABELA Nº 1**  
**ÍNDICES A SEREM OBSERVADOS EM TESTE DE LIXIVIAÇÃO**

POLUENTES	UNIDADE	PROPOSTO PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO DO SOLO	JAPÃO	USA EPA Federal Register Vol. 45 nº 98
		Q U A T I D A D E S		
Arsênio	mg/l As	5,00	1,00	5,00
Bário	mg/l Ba	100,00	- *	100,00
Cádmio	mg/l Cd	1,00	0,1	1,00
Chumbo	mg/l Pb	5,00	1,0	5,00
Cianeto	mg/l CN	2,00	1,0	
Cromo total	mg/l Cr	5,00	Cr <sup>+6</sup> =0,5	5,00
Fenois	mg/l Fenol	0,1	- *	*
Fluoreto	mg/l F	170,0	- *	*
Manganês	mg/l Mn	5,0	- *	*
Mercurio	mg/l Hg	0,2	aliquilico não detectável total=0,009	0,2
Prata	mg/l Ag	5,0	*	5,0
Selenio	mg/l Se	1,0	*	1,0
Aldrin	mg/l	0,1	*	*
Clordano	mg/l	0,3	*	*
DDT	mg/l	5,0	*	*
Dieldrin	mg/l	0,1	*	*
Eldrin	mg/l	0,02	*	0,02
Lindano	mg/l	0,4	*	0,4
Metoxicloro	mg/l	10,0	*	10,0
Toxafeno	mg/l	0,5	*	0,5
2,4 D	mg/l	2,0	*	10,0
2,4,5 T	mg/l	0,2	*	*
2,4,5 TP	mg/l	3,0	*	*
Organo fosforados e				
Carbamatos	mg/l	10,0	1,0	*
Bifenil Policlorado	mg/l	*	0,003	*

(\*) Não indicado

## 6. FONTES DE RESÍDUOS PERIGOSOS

Já tivemos oportunidades de verificar que nem todas indústrias produzem resíduos sólidos perigosos, bem como já estamos em condições de definir as várias categorias de resíduos. Entretanto é de interesse conhecer aquelas indústrias que, pela matéria-prima usada no processo após o teste de lixiviação, podem ser classificadas como capazes de gerar resíduos sólidos perigosos.

Os resíduos perigosos podem ser originados nos próprios processos de controle da poluição das águas e do ar. As águas de lavagem de chaminé, as cortinas de água ou os lodos de estações de tratamento de águas residuárias podem estar contaminados de forma a se classificarem como perigosos,

exigindo um método especial para sua disposição final.

Os processos industriais que podem produzir resíduos sólidos perigosos, constam da tabela 2, onde também são indicadas as substâncias que conferem a condição de perigo ou risco.

## 7. DISPOSIÇÃO FINAL ADEQUADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos de qualquer natureza — domésticos, urbanos ou industriais quando não reutilizados devem ser dispostos adequadamente, de forma a não atentar contra o meio ambiente. Assim esta disposição final tem como requisito básico o retorno dos resíduos à natureza, sem perturbar o nosso ecossistema. Como já vimos, alguns resíduos sólidos, aos quais

chamamos perigosos, podem provocar efeitos adversos à saúde humana através da cadeia alimentar e outros, por serem sintéticos ou apresentarem alta toxicidade. Não existindo originalmente na natureza, poderão provocar a quebra da cadeia ecológica ou moléstias irreversíveis, devendo ser tratados com maior cuidado antes de serem lançados na água ou solo.

Para disposição final de resíduos sólidos industriais, contamos com os mesmos processos já analisados para os resíduos sólidos domésticos ou urbanos, acrescentando o lançamento submarino, em alguns casos.

Deixamos de falar dos resíduos sólidos radiativos os quais fazem parte de programa especial sob a responsabilidade dos próprios órgãos de produção.

TABELA Nº 2 – CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS QUE PODERÃO PRODUIR RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS

CÓDIGO DE ATIVIDADE M.F.	INDÚSTRIA	PROCESSO	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR PRESENTES NOS RESÍDUOS SÓLIDOS										
				Hg	Cd	Pb	O-P	Cr <sup>6+</sup>	As	CN	PCB	O-Cl		
10.40	Cerâmica		material vitrificado e cristal de rocha		x	x			x					
10.50	Cimento		cimento		x	x								
10.70	Vidro		cristal vidro ótico vidraça e outros produtos de vidro		x	x				x				
10.99	Produção de gás de carvão coque		gás combustível		x	x			x	x				x
11.00	Metalúrgica	decapagem revestimento preto cromação polimento eletrolítico, polimento químico gravação de painéis de circuito impresso gravação de materiais semi-condutores galvanização fusão de metais pintura			x	x			x	x				
11.02	Ferro e aço	forno de coque	coque, gás de forno de coque ferrocromo	x		x			x		x			
11.11	Metais não ferrosos	fusão de zinco fusão de cobre fusão de chumbo fusão de cádmio fusão de cromo fusão de mercúrio fusão de arsênio de cianeto	ouro, prata ácido sulfúrico		x	x			x		x			
12.00	Mecânica e de produtos metálicos	térmico (cementação) galvanização		x	x	x			x					x
12.00	Mecânica e de produtos metálicos	soldagem pintura		x	x	x			x	x	x			
13.00	Material elétrico e de comunicações		bateria de chumbo bateria alcalina de cádmio e níquel termômetro de mercúrio lâmpada fluorescente pilha de manganês pilha de mercúrio, pilha alcalina de manganês retificador de selênio, fotocela de selênio, condensador cerâmico, elemento piezoelétrico fotoelemento material fluorescente	x	x									
14.00	Material de Transporte	decapagem galvanização soldagem pintura		x	x	x			x	x				x
15.00	Madeira	tratamento químico anti-séptico							x	x				
17.00	Papel e papelão	reciclagem de papéis usados		x		x			x					
18.00	Borracha		mangueira de borracha			x								
19.00	Couro	curtimento a cromo							x					
20.00	Pigmentos inorgânicos		vermelhão (HgS)	x										

TABELA Nº 2 – CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS QUE PODERÃO PRODUIR RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS (continuação)

CÓDIGO DE ATIVIDADE M. F.	INDÚSTRIA	PROCESSO	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR PRESENTES NOS RESÍDUOS SÓLIDOS														
				Hg	Cd	Pb	O-P	Cr <sup>6+</sup>	As	CN	PCB	O-Cl						
20.00	Pigmentos inorgânicos		pigmento de cádmio	x	x													
			chumbo vermelho (Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )			x												
			chumbo branco			x												
			chromo amarelo			x												
			molibdênio vermelho			x												
			chromato de zinco							x								
			azul da prússia															
			Química inorgânica	cloreto de mercúrio (HgCl <sub>2</sub> )	x													
				óxido mercúrico (HgO)	x													
				óxido de cádmio (CdO)		x												
				nitrate de cádmio (Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )			x											
				cloreto de cádmio (CdCl <sub>2</sub> )			x											
				carbonato de cádmio (CdCO <sub>3</sub> )				x										
				estearato de cádmio				x										
				naftenato de chumbo					x									
	octilato de chumbo							x										
	octilato de cádmio							x										
	estearato de chumbo								x									
	PbSO <sub>4</sub> 3PbO H <sub>2</sub> O									x								
	óxido de chumbo									x								
	acetato de chumbo									x								
	peróxido de chumbo (PbO <sub>2</sub> )									x								
	nitrate de chumbo								x									
	dicromato de sódio									x								
	dicromato de potássio									x								
	anidrido crômico (CrO <sub>3</sub> )									x								
	anidrido arsênico										x							
	AS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )											x						
	ácido arsênico (H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> )											x						
	arseneto de sódio												x					
	(Na <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O)													x				
	ácido cianídrico														x			
	cianeto de sódio															x		
	cianeto de cobre															x		
	cianeto de zinco															x		
	triclorotriazina ((CNCl) <sub>3</sub> )															x		
	20.00		Química inorgânica	ferrocianeto de sódio													x	
				ferrocianeto de potássio													x	
				ferrocianeto de potássio													x	
				óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )							x							
				fósforo amarelo														x
			Acetileno	de carburato de acetileno	acetileno	x												x
					acetileno	x												
			Pigmentos sintéticos		pigmento de sal complexo metálico													x
					azul de metileno B													x
violeta de ácido 5B																x		
Química orgânica			verde de malaquita				x											
			sacarina									x						
			ácido láctico													x		
			ácido tartárico													x		
			ácido cítrico													x		
	ácido antraquinona - 1 - sulfônico															x		
	tintas		x													x		
	tinta de impressão		x													x		
	Reagentes químicos			nitrate de mercúrio	x													
				sulfato de mercúrio	x													
sulfato de cádmio					x													
dicromato de amônio															x			
cloreto mercúrico (HgCl <sub>2</sub> )		x																
óxido de mercúrico (HgCl <sub>2</sub> )		x																
óxido de cádmio																x		
nitrate de cádmio (Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )																x		
carbonato de cádmio (CdCO <sub>3</sub> )																x		
óxido de chumbo (PbO)																x		
acetato de chumbo														x				
peróxido de chumbo (PbO <sub>2</sub> )														x				
nitrate de chumbo														x				
dicromato de sódio														x				
dicromato de potássio														x				
anidrido crômico (CrO <sub>3</sub> )														x				

TABELA N.º 2 – CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS QUE PODERÃO PRODUIR RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS (continuação)

CÓDIGO DE ATIVIDADE M.F.	INDÚSTRIA	PROCESSO	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS QUE PODERÃO ESTAR PRESENTES NOS RESÍDUOS SÓLIDOS																
				Hg	Cd	Pb	O-P	Cr <sup>6+</sup>	As	CN	PCS	C-CI								
20.00	Reagentes químicos		enidrido arsênico (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ácido arsênico (H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> ) arseneto de sódio (Na <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O) cianeto de sódio triclora-triazina [(CNCl) <sub>3</sub> ] ferrocianeto de sódio ferrocianeto de potássio ferricianeto de potássio óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )							x										
20.12	Petroquímica	"sohio" "Henkel" modificado	acrilonitrila ácido tereftálico																	
20.20	Resina plástica		metacrilato de metila AS (copolímero de estireno acrilonitrila) ABS (copolímero de estireno-butadieno-acrilonitrila)		x															
	Borracha Sintética		NBR (borracha de butadieno nitrila)																	
20.60	Praguicidas		Arseneto de chumbo (PbHAsO <sub>4</sub> )			x					x									
21.10	Farmacêuticas		metionina																	
23.00	Produtos plásticos	moldagem de PVC e PVDC			x	x														
24.00	Têxtil	tingimento de lã ou da seda								x	x									
29.00	Gráfica	foto-gravação impressão tipo móvel		x	x	x				x	x									
30.00	Diversas	revelação automática de filmes e processos de limpeza																		
			filmes, papéis fotográficos		x	x														