

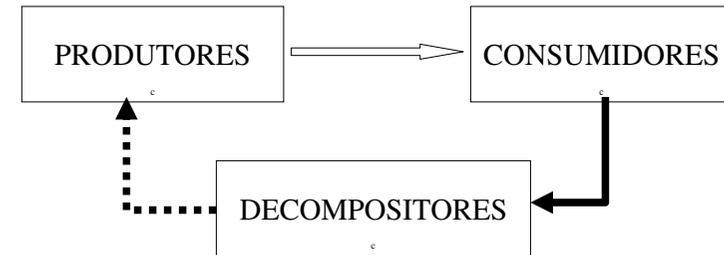
RESÍDUOS SÓLIDOS

FATORES DE FORMAÇÃO



RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

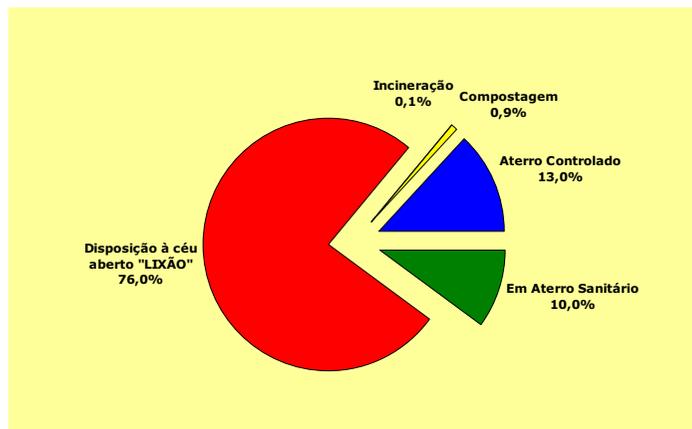
PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS



DESEQUILÍBRIO DO SISTEMA

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL BRASIL



(ABES, ABLP, 1998)

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL EUROPA

País	Aterramento (%)	Incineração (%)	Compostagem (%)	Reciclagem (%)
Áustria	55	12	17	16
França	44	41	9	6
Alemanha	47	19	-	34
Grécia	94	1	-	5
Hungria	87	9	-	4
Itália	90	6	-	4
Luxemburgo	20	65	-	15
Holanda	50	17	-	33
Espanha	76	4	10	10
Suécia	36	49	5	10
Suíça	14	47	-	39
Reino Unido	90	8	-	2

INCINERAÇÃO

Definição

Processo de redução do peso, do volume e das características de periculosidade dos resíduos, com a consequente eliminação da matéria orgânica e características de patogenicidade, através da combustão controlada.



...processo de reciclagem da energia liberada na queima dos resíduos, visando a produção de energia elétrica e vapor.

INCINERAÇÃO

➤ Vantagens do sistema

- ✓ redução drástica do volume a ser descartado (90%)
- ✓ redução do impacto ambiental (controle emissões)
- ✓ destoxificação (bactérias, vírus e compostos orgânicos)
- ✓ recuperação de energia (geração de vapor ou eletricidade)
- ✓ aplicável a vários resíduos

INCINERAÇÃO

➤ Desvantagens do sistema

- ✓ custo elevado (investimento inicial US\$ 20 milhões, custo operacional US\$ 20-60 por tonelada)
- ✓ exige mão-de-obra qualificada
- ✓ problemas operacionais (a variabilidade da composição dos resíduos)
- ✓ limite de emissões (dioxinas e furanos)
- ✓ oposição pública

INCINERAÇÃO

➤ Categoria de resíduos adequados ao processo

- ✓ resíduos orgânicos, constituídos basicamente de C,H e/ou O;
- ✓ resíduos que contém C, H , Cl com teores < 30 % em peso;
- ✓ resíduos que apresentam poder calorífico inferior (PCI) maior que 4700 kcal/kg

Solventes, óleos, emulsões, plásticos, resíduos hospitalares, pesticidas, farmacêuticos, refinarias, fenólicos, graxas, etc.

INCINERAÇÃO

➤ Resíduos não adequados

- ✓ Resíduos que não apresentam uma quantidade significativa de orgânicos, altamente explosivos ou radioativos (baixo teor radioativo pode ser incinerado desde que controle-se as emissões de isótopos)

INCINERAÇÃO

➤ Caracterização de resíduos para incineração

- ✓ Informações sobre o processo produtivo (industrial)
- ✓ Matérias-primas empregadas e produtos fabricados
- ✓ Fluxograma do processo indicando os pontos de geração de resíduos

INCINERAÇÃO

➤ CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA INCINERAÇÃO

- ✓ Informações sobre o resíduo
 - ✓ Quantidade
 - ✓ Estado físico
 - ✓ Poder calorífico
 - ✓ Viscosidade (líquidos)
 - ✓ Densidade, Viscosidade Porcentagem de sólidos (lamas)
 - ✓ Densidade (gases)
 - ✓ Corrosividade
 - ✓ Composição química (listagem N. 4 da NBR 10004)
 - ✓ Composição elementar (C,H,O,P,Cl,F,I,Br,N,S, metais e cinzas)

INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO

- ✓ Preparo do resíduos para a queima
- ✓ Combustão do resíduo
- ✓ Tratamento dos gases de saída
- ✓ Tratamento dos efluentes líquidos
- ✓ Acondicionamento e disposição dos resíduos sólidos gerados no processo de queima e nos equipamentos de controle de poluição do ar.

INCINERAÇÃO

➤ PROCESSO DE COMBUSTÃO

- ✓ Produtos da combustão ideal:
CO₂, vapor d'água e cinza inerte
- ✓ O calor liberado pela combustão é transferido por condução, convecção e radiação para os componentes do incinerador e para a mistura de resíduos.



Ignição do resíduo

INCINERAÇÃO

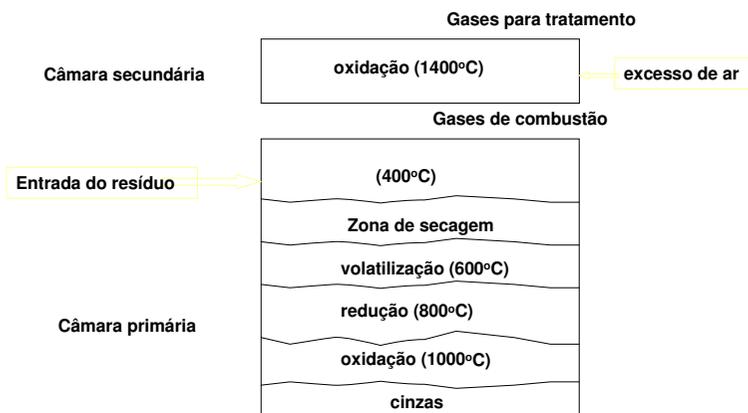
➤ PROCESSO DE COMBUSTÃO

- ✓ Principais variáveis do processo – 3 T's
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Turbulência
 - ✓ Tempo de residência
 - ✓ Disponibilidade de oxigênio (evitar a pirólise)
- ✓ Principais reações
 - ✓ Oxidação
 - ✓ Pirólise
 - ✓ Ataque de radicais



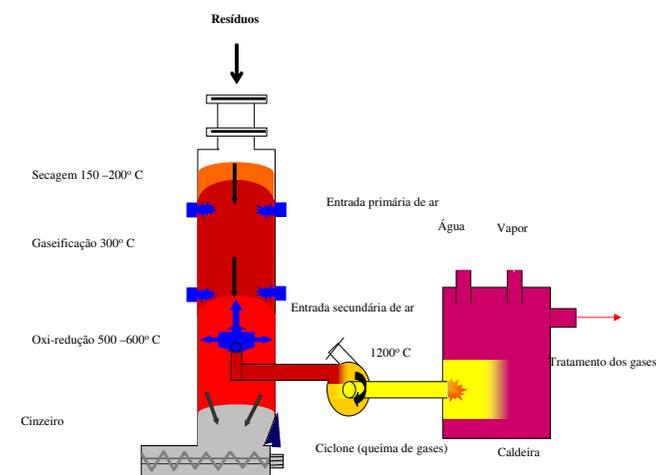
Projeto do sistema de incineração

INCINERAÇÃO



Representação esquemática do processo de combustão

INCINERAÇÃO



Representação esquemática do processo de combustão

INCINERAÇÃO

➤ PROCESSO DE COMBUSTÃO

- ✓ Combustão primária
 - ✓ Duração de 30 a 120 minutos a cerca de 500-800°C
 - ✓ Ocorrem a secagem, o aquecimento, a liberação de substâncias voláteis e a transformação do resíduo remanescente em cinzas.
 - ✓ Importante fornecer ar de combustão em quantidade suficiente e de maneira homogênea, expondo totalmente o resíduo ao calor.

INCINERAÇÃO

➤ PROCESSO DE COMBUSTÃO

- ✓ Combustão secundária
 - ✓ Os gases, vapores e material particulado, liberados na combustão primária, são soprados ou succionados para a câmara de combustão secundária onde permanecem cerca de dois segundos expostos a uma temperatura elevada (> 1000°C)

INCINERAÇÃO

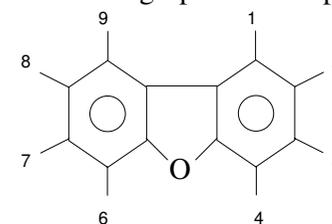
➤ PRINCIPAIS PRODUTOS DA INCINERAÇÃO

- ✓ CO₂, vapor d'água, CO
- ✓ O₂, N₂ (excesso de ar)
- ✓ Gases ácidos (HCl, NO_x, SO_x)
- ✓ Material particulado:
 - ✓ Grãos: >75 microns
 - ✓ Pós: 1-75 microns
 - ✓ Finos: , 1 micron
- ✓ Metais pesados (Pb, Cd, Hg)
- ✓ Compostos orgânicos (hidrocarbonetos, dioxinas, furanos)

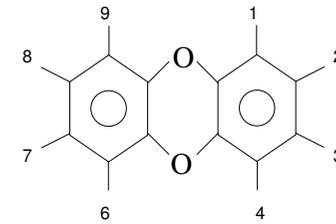
INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS PRODUTOS DA INCINERAÇÃO

- ✓ Dioxinas e Furanos
- O termo dioxinas é usado para denominar uma família de compostos aromáticos, planares, tricíclicos constituída por dois grupos de compostos:



Dibenzofuranos policlorados (PCDF)
(135 compostos)



Dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD)
(75 compostos)

INCINERAÇÃO

➤ DIOXINAS E FURANOS

International Toxic Equivalence Factors

Composto	I-TEF	Composto	I-TEF
Dibenzo-p-dioxinas		Dibenzofuranos	
2,3,7,8 – TCDD	1	2,3,7,8 – TCDF	0,1
1,2,3,7,8 – PnCDD	0,5	1,2,3,7,8 – PnCDF	0,05
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	0,1	2,3,4,7,8 – PnCDF	0,5
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	0,1	1,2,3,4,7,8 – HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	0,1	1,2,3,6,7,8 – HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDD	0,01	1,2,3,7,8,9 – HxCDF	0,1
OCDD	0,001	2,3,4,6,7,8 – HxCDF	0,1
		1,2,3,4,6,7,8 – HpCDF	0,01
		1,2,3,4,7,8,9 – HpCDF	0,01
		OCDF	0,001

INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS PRODUTOS DA INCINERAÇÃO

✓ Dioxinas e Furanos

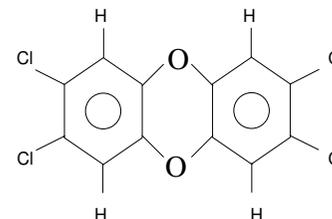


Tabela 2 - Toxicidade relativa de algumas substâncias.

Substância	Massa molecular	Dose letal ($\mu\text{g/kg}$)
Botulinustoxina A	900.000	0,00003
Tetanustoxina	150.000	0,0001
Ricina	66.000	0,02
Crotoxina	30.000	0,2
Difteriotoxina	72.000	0,3
2,3,7,8-TCDD	320	1
Tetradoxina	319	10
Aflatoxina B1	312	10
Curamina	696	500
Estriquina	334	500
Nicotina	162	1.000
Cianeto de Sódio	49	10.000
Fenobarbital	232	100.000

Fonte: Grossi² (1993)

A toxicidade aguda mais elevada é para a 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (2,3,7,8-TCDD)

INCINERAÇÃO

➤ Mecanismos de formação de Dioxinas e Furano

- ✓ Condições favoráveis em processos térmicos:
 - ✓ presença dos compostos orgânicos do tipo fenol;
 - ✓ compostos clorados percussores;
 - ✓ presença de catalisadores (Ex. cobre);
 - ✓ temperaturas no processo entre 200 - 600°C;
 - ✓ Equip. de controle de poluição operando entre 200 - 400 °C;

Em última análise a formação destes compostos requer necessariamente uma fonte de cloro, uma fonte de matéria orgânica e um ambiente térmico ou quimicamente reactivo.

INCINERAÇÃO

➤ Mecanismos de emissão de dioxinas/furanos para o ambiente

I - **Material combustível contaminado** – O material combustível alimentado é constituído por dioxinas/furanos e parte deste conteúdo não sofre alteração quando sujeito ao processo de combustão, o que implica a sua emissão.

INCINERAÇÃO

➤ Mecanismos de emissão de dioxinas/furanos para o ambiente

II - Formação devida a precursores – Formação através de termólise e rearranjo molecular de compostos precursores da formação de PCDDs/PCDFs; são exemplos de compostos precursores os PCB's, os fenóis clorados e o benzeno clorado. A formação de PCDDs/PCDFs ocorre a jusante da câmara de combustão (“cool zone”), numa gama de temperaturas entre 250-450°C, após condensação e adsorção do precursor a locais específicos de ligações químicas dispostos na superfície das partículas de cinzas volantes.

INCINERAÇÃO

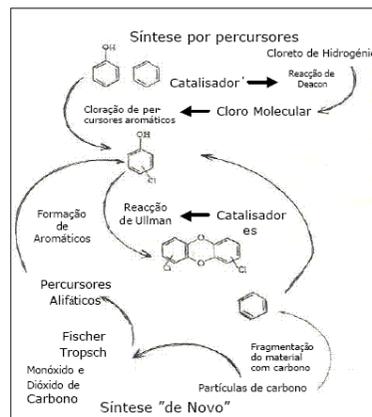
➤ Mecanismos de emissão de dioxinas/furanos para o ambiente

III - Síntese “de novo” – A formação de PCDDs/PCDFs resulta de compostos não precursores (compostos base de formação), que incluem substâncias diversas como, produtos de petróleo, PVC, PS, celulose, lignina, coque, carvão, carbono particulado, HCl.

Os processos de formação II e III são os considerados predominantes nos sistemas de combustão

INCINERAÇÃO

Mecanismos de Formação de Dioxinas/Furanos



INCINERAÇÃO

➤ Mecanismos de emissão de dioxinas/furanos para o ambiente

- ✓ Os mecanismos II e III prevêm a formação de PCDDs/PCDFs fora da câmara de combustão, numa região onde os gases e partículas resultantes da combustão sofrem um arrefecimento (“cool zone”), o que pressupõe que as condições no sistema de tratamento dos efluentes gasosos devem ser devidamente controladas com vista ao não favorecimento de condições de temperatura propícias à formação destas substâncias.

INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS FATORES PARA CONTROLE DA POLUIÇÃO

- ✓ Controle da combustão: o projeto, operação e manutenção adequados são fundamentais no controle das emissões. Necessidade de limitar, a formação de dioxinas e furanos.
- ✓ Controle de material particulado: emprego de equipamentos do tipo filtros-manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores Venturi.
- ✓ Controle de gás ácido: normalmente feito por scrubbers.

INCINERAÇÃO

Padrões de Emissão e Diretrizes para Incineradores Municipais

Descrição	NSPS ^{a,b}	Diretrizes de Emissão ^a	
Capacidade (t/dia)	225	225-1000	>1000
Opacidade (%)	10	10	10
Emissão de metais (como M.P., mg/m ³)	34	69	34
Emissão de orgânicos (como PCDD/PCDF, ng/m ³)	30	125-250 ^c	60
NO _x (ppmv)	180	nenhum	Nenhum
HCl (% de Redução/ppmv)	95/25	50/25	90/25
SO ₂ (% de Redução/ppmv)	80/30	50/30	70/30
CO (ppmv) ^d	50-150	50-250	50-250

a – todos os limites de emissão são em base seca, 20°C, 760 mmHg, corrigido 07 % de O₂

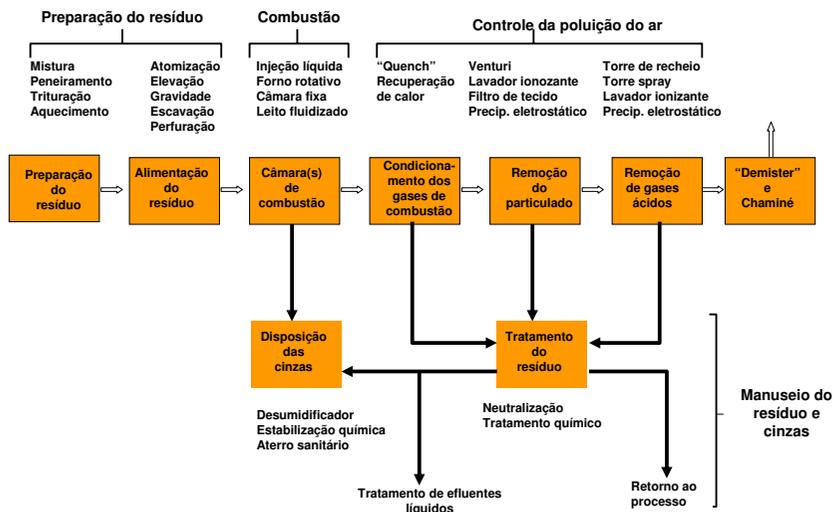
b – NSPS: New Source Performance Standards

c – Aplicável somente a queimadores que usem combustíveis derivados de resíduos e combustores que utilizem como combustível carvão misturado com derivados de resíduos.

d – limites de emissão para CO dependem do tipo de tecnologia do Incinerador Municipal. Técnicas de Boa Práticas de Combustão também contém limitações sobre o máximo de carga de vapor e temperatura na entrada do equipamento de controle de particulado.

INCINERAÇÃO

Orientação Geral dos Subsistemas da Incineração e Opções de Componentes de Processos Típicos



INCINERAÇÃO

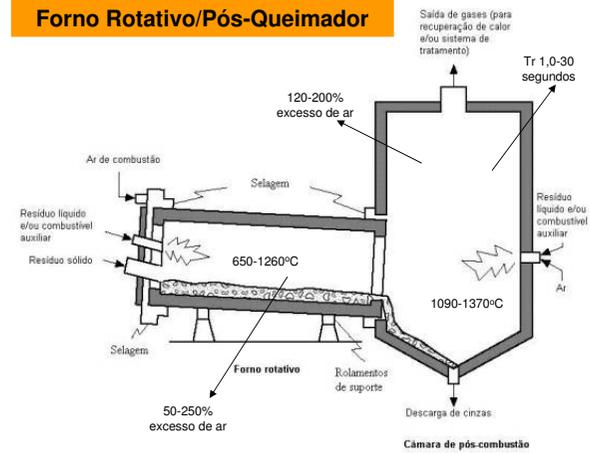
➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES

- ✓ Fornos rotativos
- ✓ Fornos de injeção líquida
- ✓ Fornos de múltiplos estágios
- ✓ Fornos de leito fluidizado
- ✓ Incinerador de plasma
- ✓ Incinerador de câmaras múltiplas

INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES

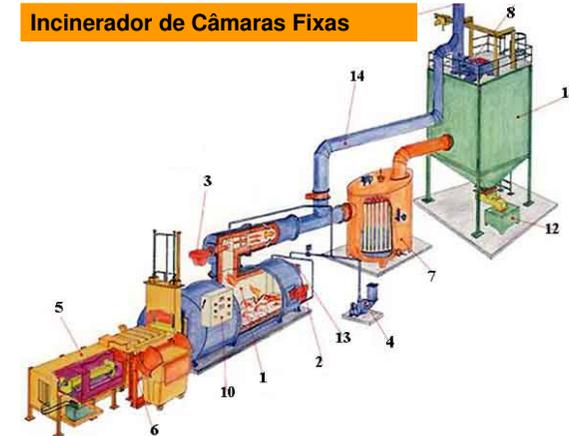
Forno Rotativo/Pós-Queimador



INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES

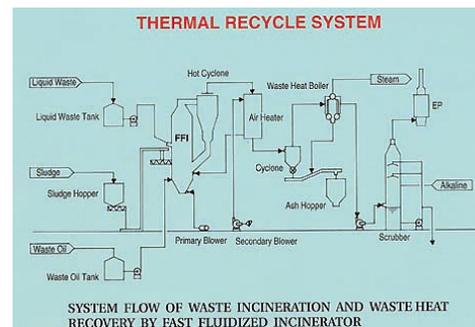
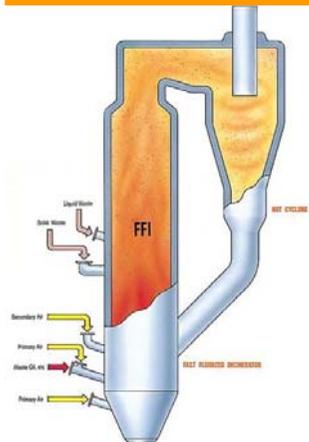
Incinerador de Câmaras Fixas



INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES

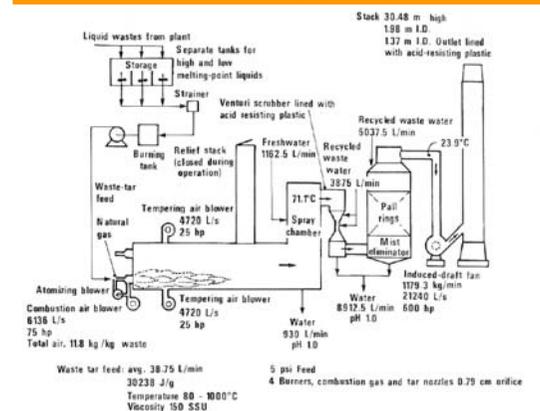
Incinerador de Leito fluidizado



INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES

Incinerador de Injeção Líquida



INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS TIPOS DE INCINERADORES



INCINERAÇÃO

Aplicabilidade dos Principais Tipos de Incineradores

Forma dos resíduos	Injeção Líquida	Forno Rotativo	Câmara Fixa	Leito Fluidizado
Sólidos				
Granulares		x	x	x
Irregular, bruto (pellets, etc.)		x	x	
Baixo ponto de fusão (alcatrões, etc.)	x	x	x	x
Compostos orgânicos com constituintes de cinza fundíveis		x	x	x
Material não preparado, volumoso, material a granel		x	x	
Gases				
Vapores orgânicos	x	x	x	x
Líquidos				
Resíduos aquosos com alta carga de orgânicos	x	x	x	x
Líquidos orgânicos	x	x	x	x
Sólidos/Líquidos				
Resíduos contendo compostos aromáticos halogenados	x	x	x	
Lodo aquoso orgânico		x		x

INCINERAÇÃO

➤ GERAÇÃO DE POLUENTES NO PROCESSO INCINERAÇÃO

- ✓ Estado físico do poluentes
 - ✓ Sólido
 - ✓ Líquido
 - ✓ Gasoso
- ✓ Pontos de geração
 - ✓ Cinzas de fundo
 - ✓ Cinzas volantes (arrastada com os gases)
 - ✓ Água de limpeza dos gases
 - ✓ Lamas do tratamento das águas
 - ✓ Gases

INCINERAÇÃO

Principais Poluentes Gerados em Unidades de Incineração

Poluente	Fase
Material particulado (cinzas de fundo e cinzas volantes)	S
Efluentes líquidos dos sistemas de limpeza dos gases	L
Lama do sistema de tratamento de efluentes	S
Óxidos de enxofre (SO ₂ e SO ₃)	G
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	G
Metais tóxicos (Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Ba e outros)	G e S
Compostos orgânicos tóxicos (CO, dioxinas e furanos)	G
Ácido clorídrico	G
Ácido fluorídrico	G
Cloro	G

Fonte: IPT. Manual Integrado de Gerenciamento de Lixo. 2 Ed. 2000

INCINERAÇÃO

Principais Poluentes Gerados em Unidades de Incineração

Poluente	Principais efeitos
Metais	Aumento na incidência de doenças cancerígenas e de intoxicação
Dioxinas e furanos	Aumento na incidência de doenças cancerígenas. Má formação de fetos.
Material Particulado	Doenças respiratórias. Agravamento de doenças respiratórias pré-existentes
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Doenças respiratória. Agravamento de doenças respiratórias pré-existentes. Irritação da vias respiratórias.
Monóxido de carbono (CO)	Diminuição da taxa de transporte de oxigênio no sangue. Diminuição dos reflexos. Caso extremo pode levar a morte.
Óxidos de nitrogênio(NO _x)	Diminuição da resistência imunológicas. Irritação das vias respiratórias. Agravamento de doenças respiratórias pré-existentes

Fonte: IPT. Manual Integrado de Gerenciamento de Lixo. 2 Ed. 2000

INCINERAÇÃO

Efeitos das Estratégias nas Taxas de Emissão de Poluentes

Poluente	Separação de materiais	Boas práticas de combustão	Equipamentos de limpeza			
			Lavador Venturi	Torres lavagem	Filtro de tecido	Lavador seco
Partículas	X	X	X	C	X	
Metais	X		X	C	X	
Orgânicos		X	C	C		C
CO		X				
HCl	X		C	X		X
SO ₂	X		C	X		X
NO _x	X	X				

Fonte: USEPA (1990)

C: apresenta algum tipo de controle, porém não é projetado especificamente para o controle deste tipo de poluente

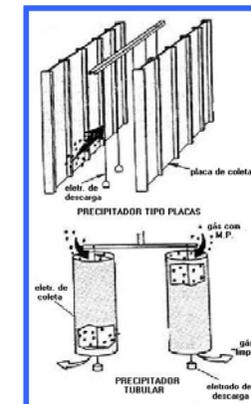
INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES

- ✓ Resfriador de gás – trocadores de calor
- ✓ Remoção de pós e particulados – precipitador eletrostático, bag filters, lavadores venturi
- ✓ Remoção de gás ácido – lavadores de prato
- ✓ Remoção de traços orgânicos – filtro carvão

INCINERAÇÃO

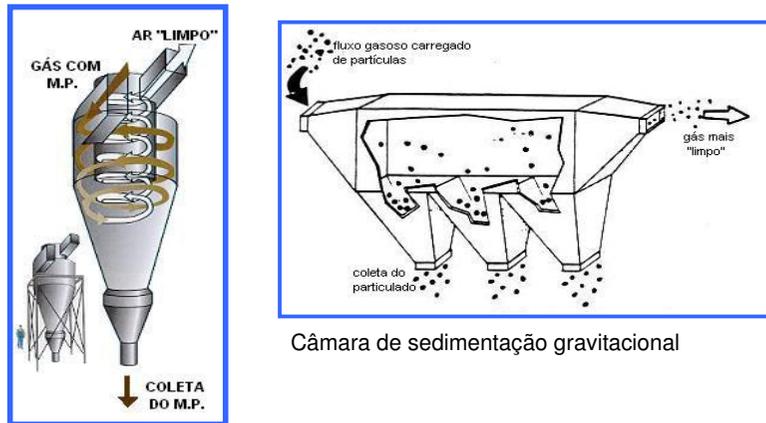
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Precipitador Eletrostático: dispositivo usado para remover matéria particulada dos gases de combustão. As partículas de um fluxo gasoso recebem uma carga elétrica e são mecanicamente coletadas num eletrodo.

INCINERAÇÃO

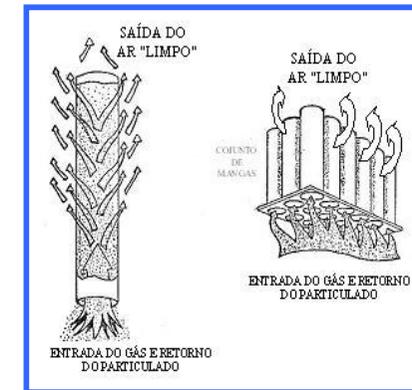
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Ciclone: pré-coletor, partículas > 5 μm .

INCINERAÇÃO

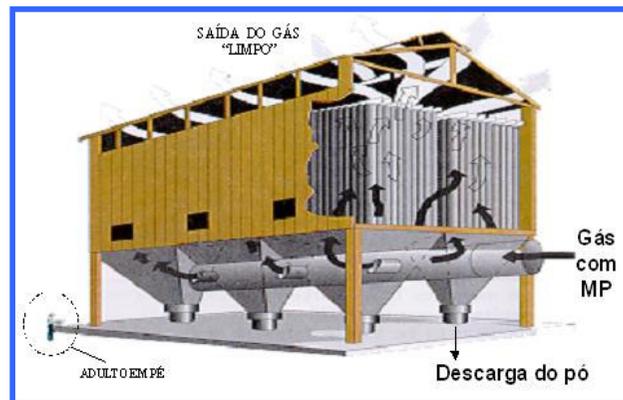
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Filtro de manga: alta eficiência (99,99%), partículas >1 μm

INCINERAÇÃO

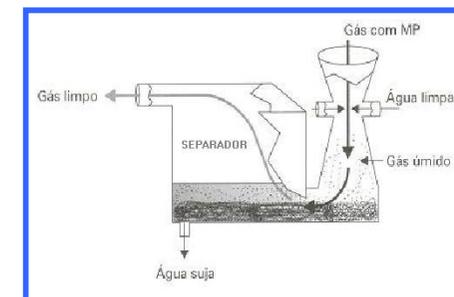
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Filtro de manga: alta eficiência (99,99%), partículas >1 μm

INCINERAÇÃO

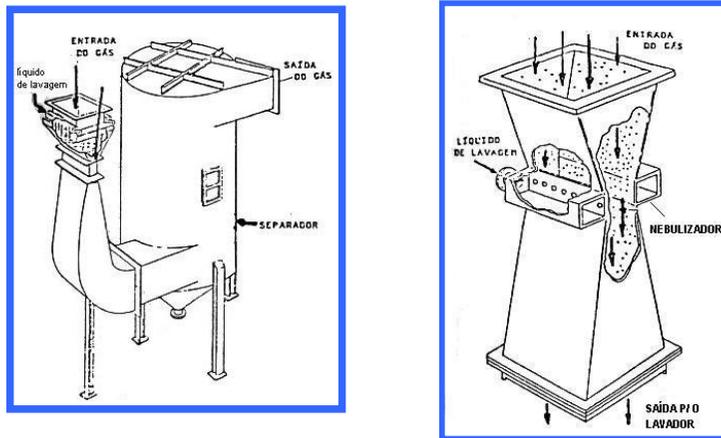
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Lavadores: absorção por líquidos

INCINERAÇÃO

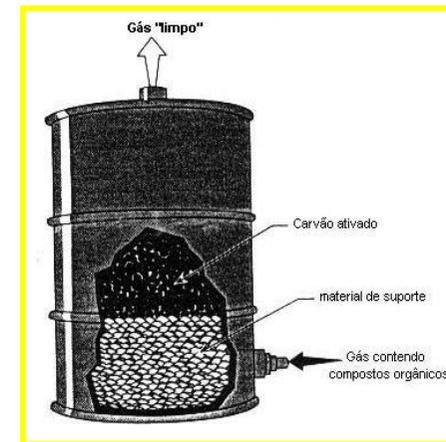
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Lavador tipo Venturi

INCINERAÇÃO

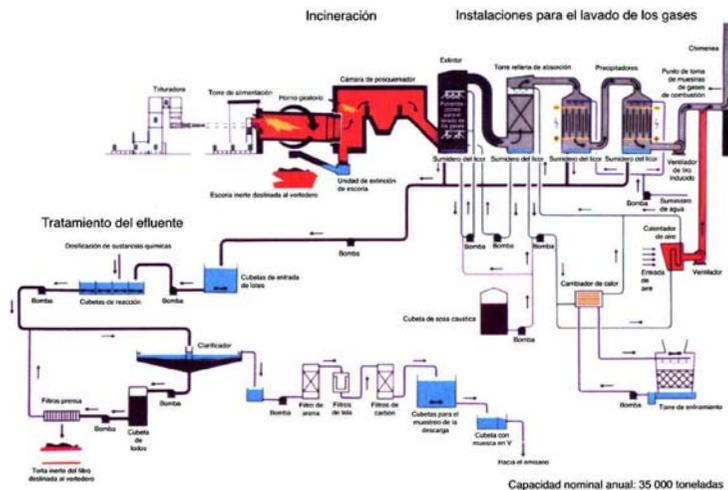
➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



Filtro de carvão

INCINERAÇÃO

➤ PRINCIPAIS SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES



INCINERAÇÃO

➤ MONITORAMENTO E CONTROLE DO PROCESSO INCINERAÇÃO

➤ Monitoramento

Tem como objetivo fornecer informações de como o processo está se desenvolvendo.

- ✓ Fatores importantes na escolha do tipo de monitoração e dos instrumentos que serão utilizados
- ✓ Exigências legais para definição dos parâmetros
- ✓ Exigências legais quanto ao tipo de monitoração
- ✓ Parâmetros mais importantes do processo
- ✓ Custo do investimento, operacional e manutenção
- ✓ Mão-de-obra qualificada necessária

INCINERAÇÃO

➤ MONITORAMENTO E CONTROLE DO PROCESSO INCINERAÇÃO

➤ Controle de Processos

Tem como objetivo ajustar os parâmetros operacionais dentro dos limites mais adequados de operação.

- ✓ Formas de controle
 - ✓ Manual
 - ✓ Automática

INCINERAÇÃO

Parâmetros Operacionais a Serem Monitorados em Função da Estratégia de Controle Considerada

Parâmetros	Boas Práticas de Combustão	Controle Emissão de Poluentes
Temperatura dos gases na saída da segunda câmara de combustão	X	
Concentração de oxigênio nos gases na saída da segunda câmara de combustão	X	
Concentração de CO nos gases de saída da segunda câmara de combustão	X	
Opacidade dos gases de combustão na chaminé	X	
Pressão na primeira câmara de combustão		X
Pressão na entrada e na saída nos dispositivos de lavagem dos gases		X
Vazão do líquido de lavagem		X
Temperatura na entrada do filtro de tecido		X
Pressão na entrada e saída nos filtros de tecido		X
pH do líquido de lavagem		X

Fonte: IPT. Manual Integrado de Gerenciamento de Lixo. 2 Ed. 2000

INCINERAÇÃO

Principais incineradores instalados no Brasil

Planta	Capac. t/ano	Resíduos processados
BASF (Guaratinguetá – SP)	2.700	R.S.L.P., exceção de ascaréis
BAYER (Belfort Roxo – RJ)	3.200	R.S.L.P. incluindo Difenilas policl.
CETREL (Camaçari – Bahia)	10.000	Resíduos líquidos organoclorados
CETREL (Camaçari – Bahia)	4.500	Resíduos sólidos Classe I
CIBA (Taboão da Serra – SP)	3200	Res. ind. org. e inorg.
CINALMarechal (Deodoro – AL)	11.500	R.S.L.P.incl. PCBs e organoclorados
CLARIANT (Suzano – SP)	2.700	Resíduos sólidos e pastosos
ELI LILLY (Cosmópolis – SP)	10.400	Resíduos sólidos, líquidos e pastosos.
KOMPACFortaleza – Ceará	10.950	Resíduos de serviços de Saúde e Industriais
RHODIA (Cubatão – SP)	18.000	R.S.L.P., incluindo. Organoclorados
SILCON (Paulínea – SP)	3.600	Resíduos de serviços de Saúde

R.S.L.P. – Resíduos Sólidos, líquidos e pastosos

Fonte: (Cerqueira e Alves, 1999; Sanches, 2000)

TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL

Principais incineradores instalados no Brasil



Centro de Tratamento de Resíduos Perigosos – Fortaleza, Ceará – Sistema de tratamento de gases

Depoluição de gases dos incineradores de resíduos hospitalares – Silcon – Paulínea, S.P



TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL

Incineradores no Mundo

País	População (milhões)	Geração (milhões ton/a)	# incineradores
Suíça	7	2,9	29
Japão	123	44,5	1893
Dinamarca	5	2,6	32
Suécia	9	2,7	21
França	56	18,5	100
Holanda	15	7,1	9
Alemanha	61	40,5	51
Itália	58	15,6	51
USA	248	180,0	168
Espanha	38	11,8	21
Reino Unido	57	35,0	7

Fonte: Lima, 1994; BNDES, 1997