

Módulo VI

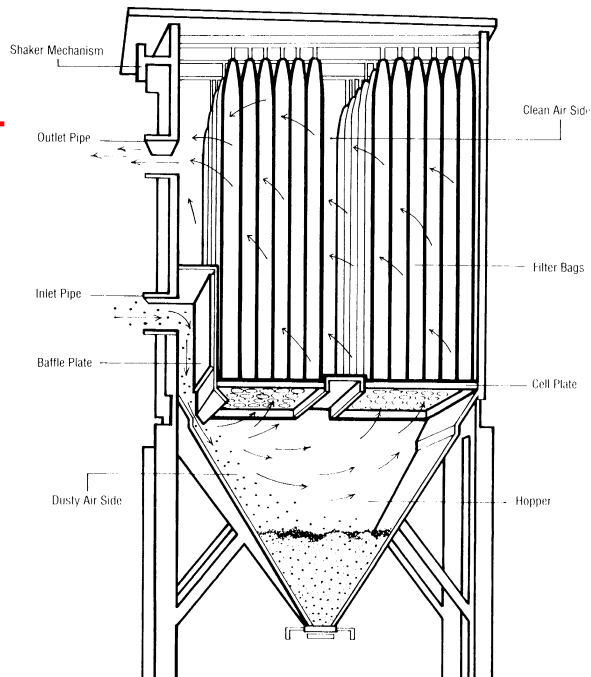
Equipamentos de Controle de Poluição do Ar

Equipamentos de Controle de Poluição do Ar

- Controle da emissão de material particulado
 - Filtros de Manga
 - Coletores Inerciais ou Gravitacionais
 - Coletores Úmidos
 - Ciclones
 - Pós-queimadores
 - Precipitadores Eletrostáticos

Filtros de Manga

- **Princípio de funcionamento:** o fluxo gasoso é forçado através de um meio poroso (filtro) onde o material particulado é retido.



Filtros de Manga



Filtros de Manga

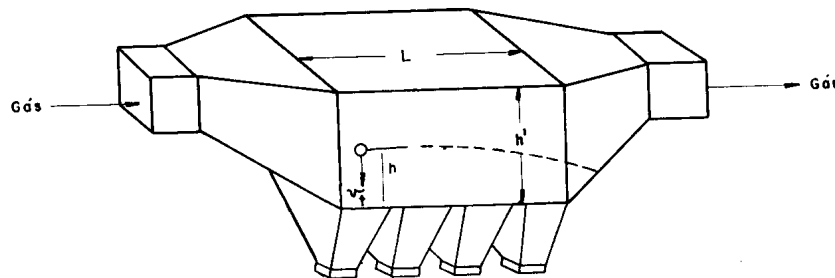
Vantagens:

- Alta eficiência (até 99.9%)
- Perda de carga não excessiva;
- Resistência a corrosão

Desvantagens:

- Grande espaço requerido para tratar grande vazões
- Alto custo
- Baixa resistência a altas temperaturas
- Empastamento devido a poluentes condensáveis e pegajosos
- Possibilidade de entupimento

Coletores Gravitacionais



- **Princípio de funcionamento:** Utilizam a deposição gravitacional das partículas carregadas pelo fluxo gasoso.

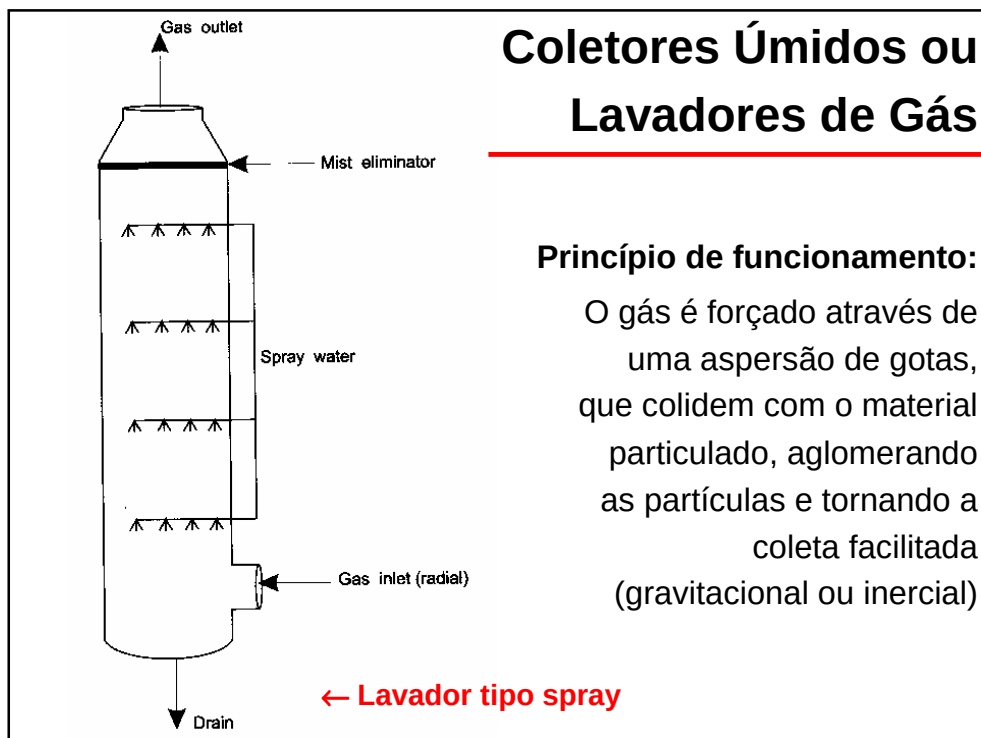
Coletores Gravitacionais

Vantagens:

- Baixo custo;
- Baixa perda de carga;
- Resistência a corrosão e temperatura;

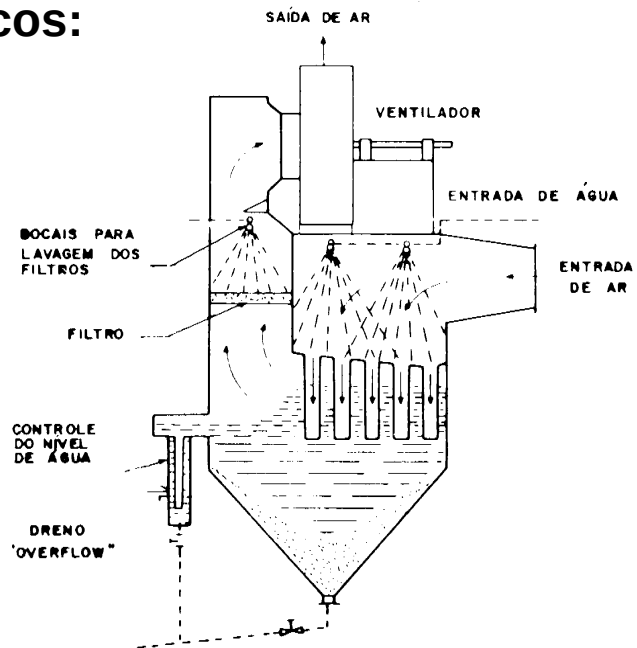
Desvantagens:

- Baixa eficiência para partículas pequenas (restritos a partículas maiores que $50\ \mu\text{m}$)
- Grande espaço requerido

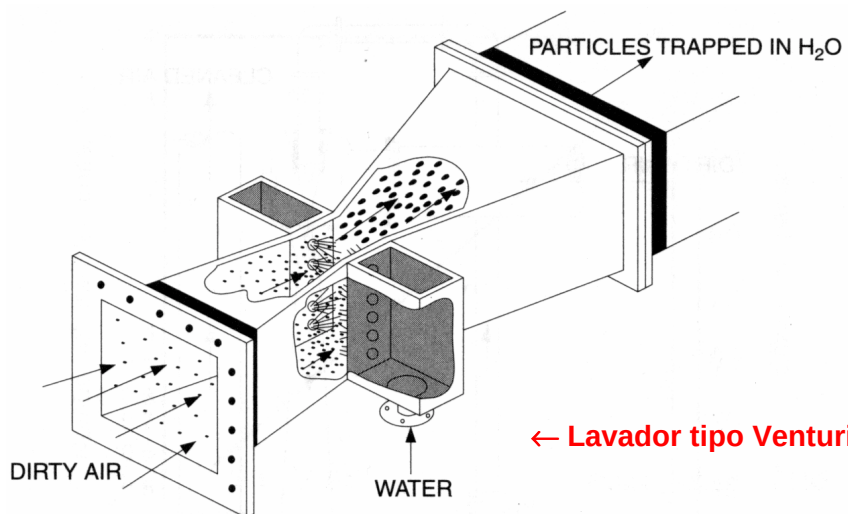


Desenhos típicos:

Lavador tipo spray
auto-induzido →



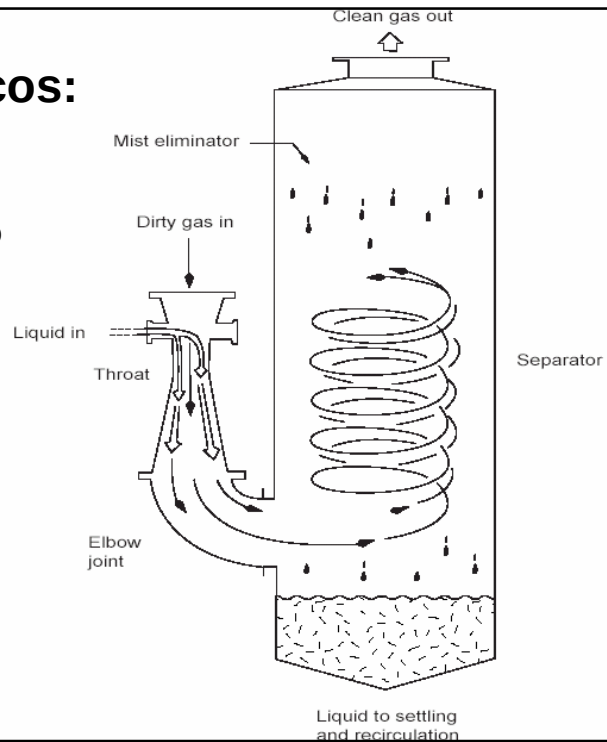
Desenhos típicos:



← Lavador tipo Venturi

Desenhos típicos:

- Lavadores do tipo Venturi requerem coletores inerciais ligados em série para coletar as partículas + gotículas de água no fluxo gasoso.



Coletores Úmidos ou Lavadores de Gás



Coletores Úmidos

Vantagens:

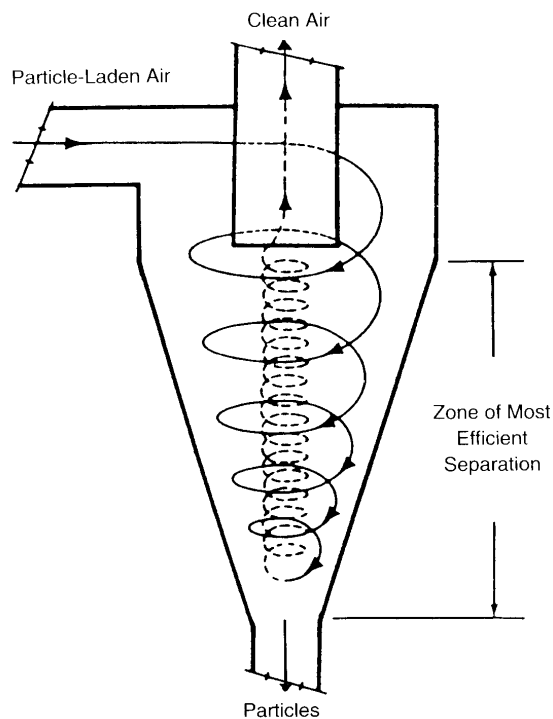
- Pode coletar partículas e gases ao mesmo tempo;
- Baixo custo inicial;
- Seu tamanho em geral é pequeno;

Desvantagens:

- Grande consumo de água
- Geração de resíduos
- Baixa eficiência para partículas menores que $1\ \mu\text{m}$)

Ciclones

- **Princípio de funcionamento:** O ciclone baseia-se na ação da força centrífuga que age sobre as partículas carregadas pelo fluxo de gás, empurrando-as na direção das paredes, e retirando-as do fluxo gasoso.



Ciclones



Ciclones

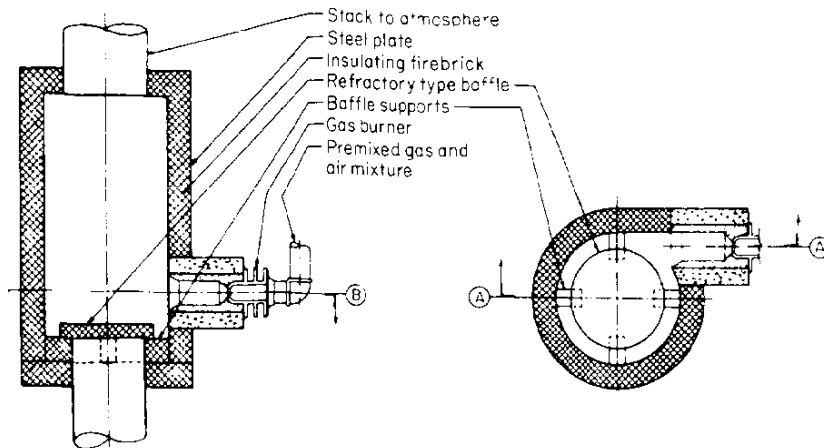
Vantagens:

- Baixo custo;
- Baixa perda de carga;
- Resistência a corrosão e temperatura;
- Simplicidade de projeto e manutenção;

Desvantagens:

- Baixa eficiência para partículas menores que 5 μm)
- Excessivo desgaste por abrasão
- Possibilidade de entupimento (partículas menores, higroscópicas e/ou pegajosas).

Pós queimadores



- A pós-queima dos resíduos de um processo industrial elimina as partículas orgânicas e resíduos de combustível não queimados.

Pós queimadores

Vantagens:

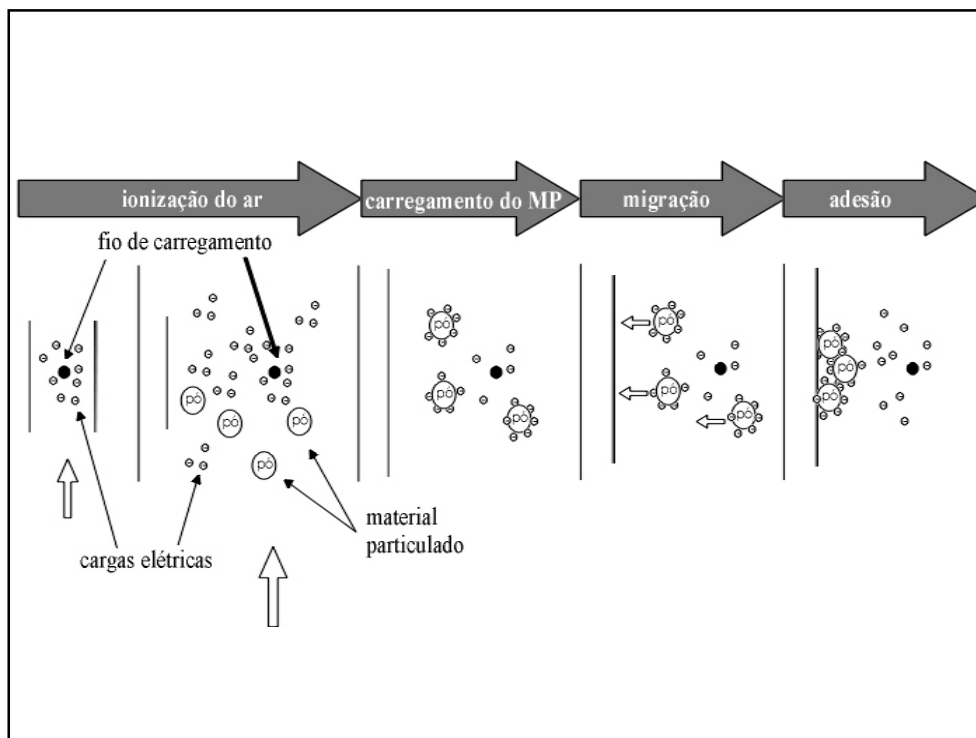
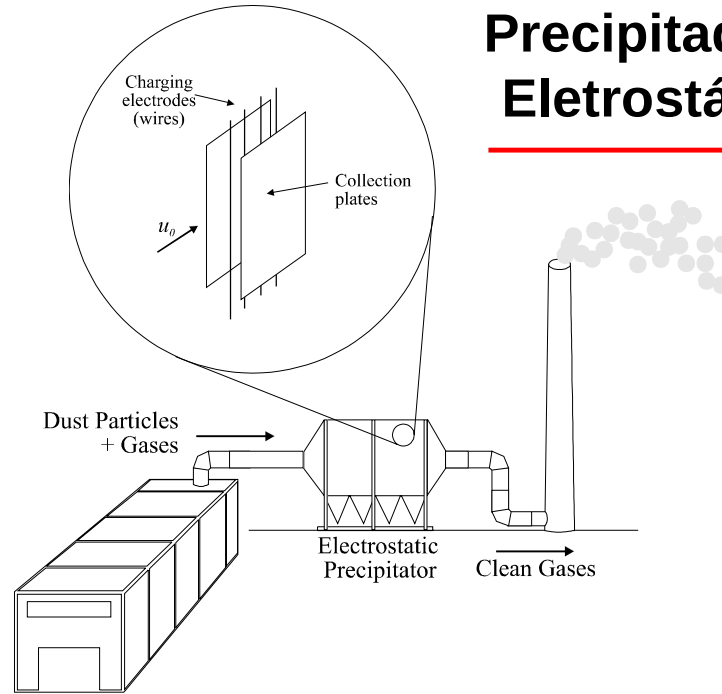
- Produção de energia que pode ser re utilizada no processo industrial;
- Alta eficiência no controle de gases, vapores e partículas orgânicas.

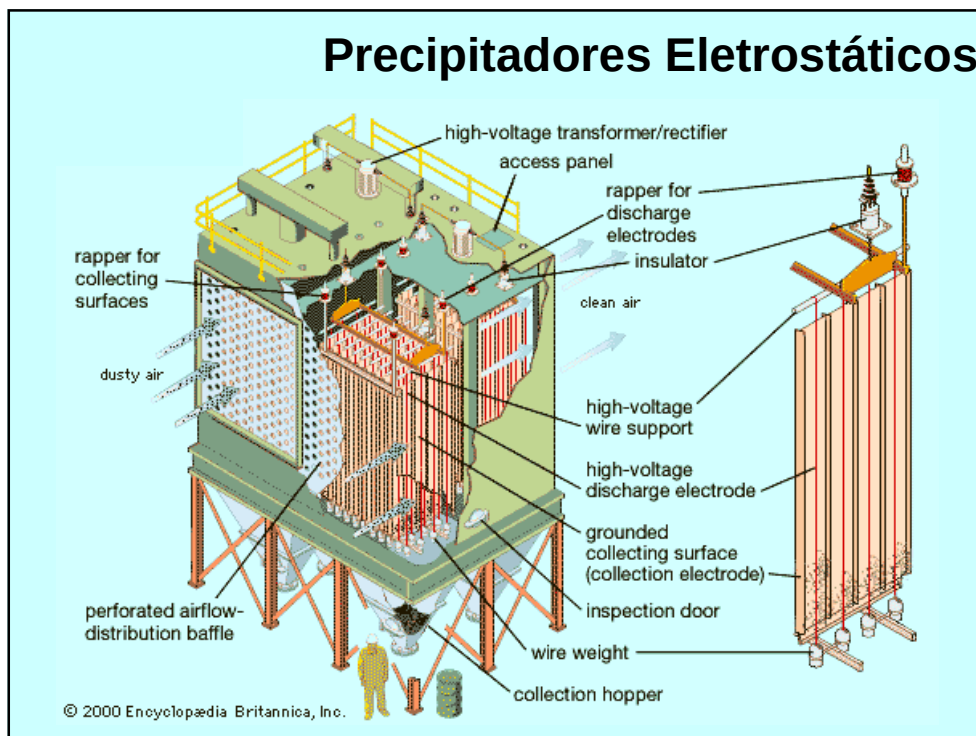
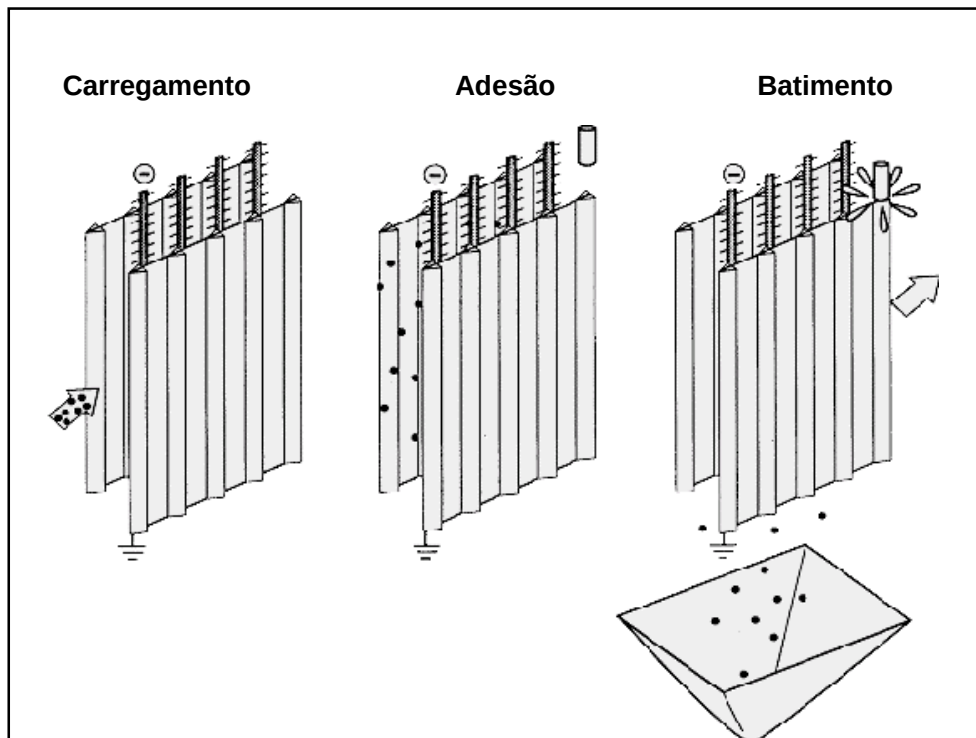
Desvantagem:

- Custo operacional elevado.

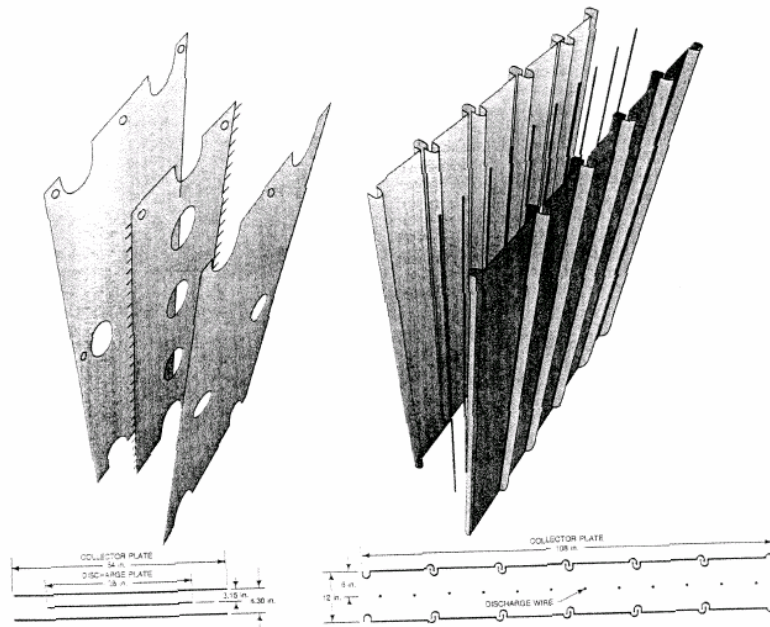


Precipitadores Eletrostáticos





Exemplos de geometria da placa de coleta e do eletrodo de carregamento



Precipitadores Eletrostáticos



Precipitadores Eletrostáticos

Vantagens:

- Tratar grandes vazões e altas temperaturas;
- Alta eficiência de coleta para partículas pequenas
- Baixo custo de operação e manutenção;

Desvantagens:

- Custo inicial elevado;
- Requer grande espaço físico;

Comparação entre os equipamentos de controle

Tipo de Coletor	Tamanho da Partícula (μm)	Temperatura Máxima (°C)	Queda de Pressão (cm H ₂ O)	Custo Anual U\$ por ano por m ³
Filtros de Mangas (algodão ou nylon)	1.0 - 50.0	80-120	10 - 12	14,00 - 17,00
Filtros de Mangas (Fibra de vidro ou Teflon)	1.0 - 50.0	260-290	10 - 20	21,00 - 23,00
Precipitador Eletrostático	0.1 - 10.0	400	1	21,00
Ciclones	10.0 - 50.0	400	5 - 12	7,00 - 11,00
Coletores Úmidos	1.0 - 50.0	540	10 - 88	25,00 - 56,00

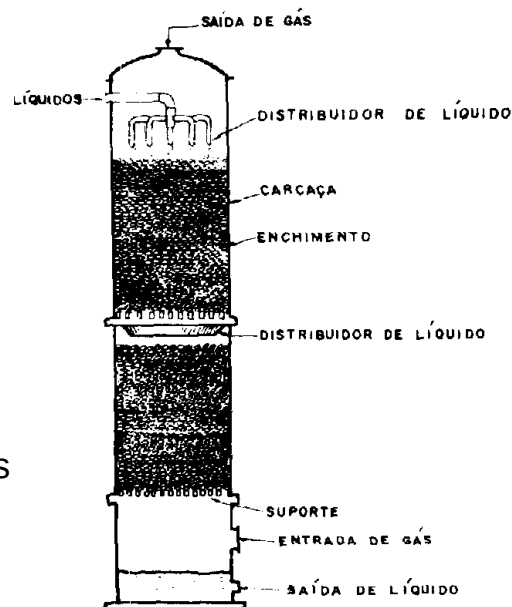
O custo inclui água, eletricidade, manutenção, custo operacional, capital e seguro (Stern, 1984).

Controle de emissão de gases

- Absorção por um líquido
 - Lavadores de Gás
- Adsorção para um material sólido
- Condensação
- Conversão para um composto menos poluente ou não poluente
 - Pós queimadores
 - Catalisadores

Lavadores de Gases

- **Princípio de funcionamento:** A absorção de gases é efetuada através do contato do fluxo gasoso com gotas de líquido, através de sprays, colunas de enchimento ou outros equipamentos. Para cada tipo de gás deve ser usado um líquido em particular.



Representação esquemática de um lavador por coluna de enchimento



Pall Ring



Tellerette



Intalox Saddle



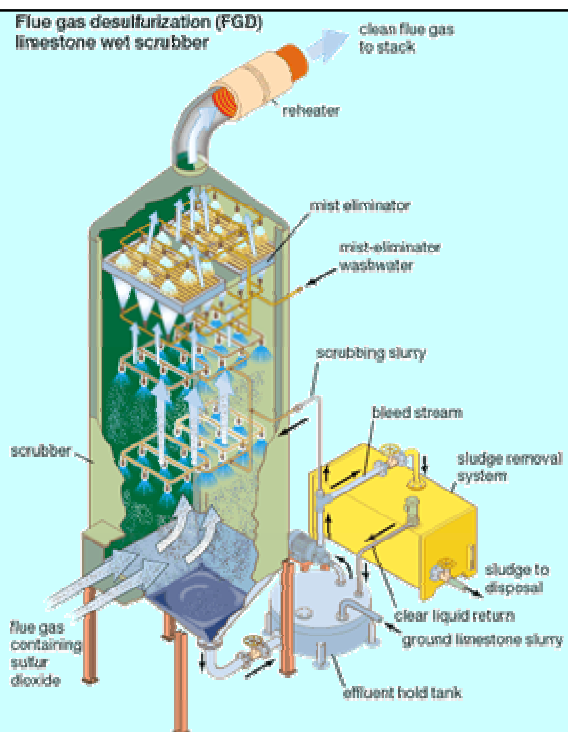
Berl Saddle



Raschig Ring

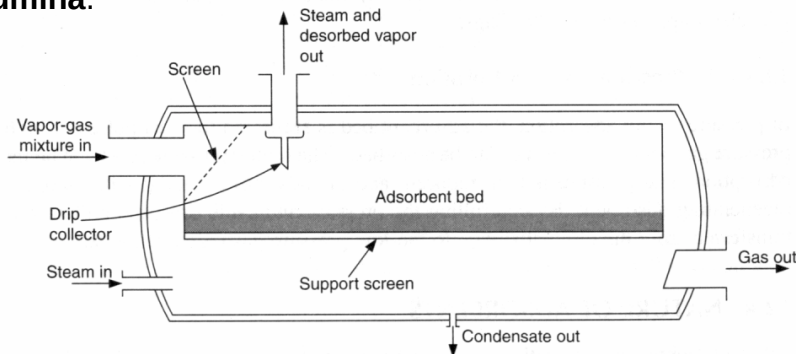
Tipos de partículas para o leito poroso

Lavador de Gases para SO_x



Equipamentos de adsorção

- **Princípio de funcionamento:** A Adsorção ocorre quando alguns gases são seletivamente capturados por superfícies ou poros de materiais sólido.
- Os materiais mais utilizados são o **carvão ativado** (muito utilizado para compostos causadores de odor), **silica gel** e a **alumina**.



Equipamentos de adsorção



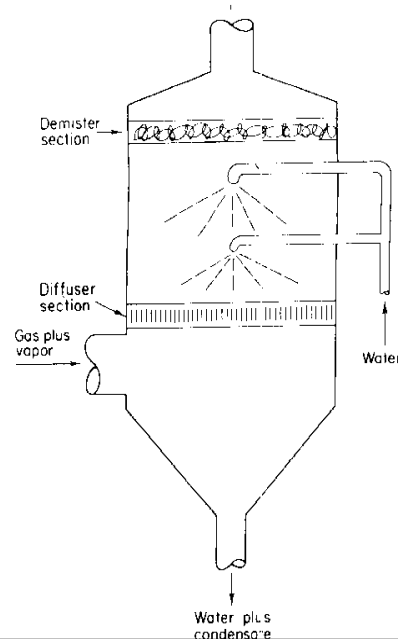
	Adsorvente		
Substância a ser removida	Carvão Ativado	Alumina ativada	Sílica Gel
Odores			
Óleo			
Hidrocarbonetos			
Fluorcarbonos			
Compostos orgânicos de Enxofre			
Solventes			
Umidade			

Equipamentos de adsorção

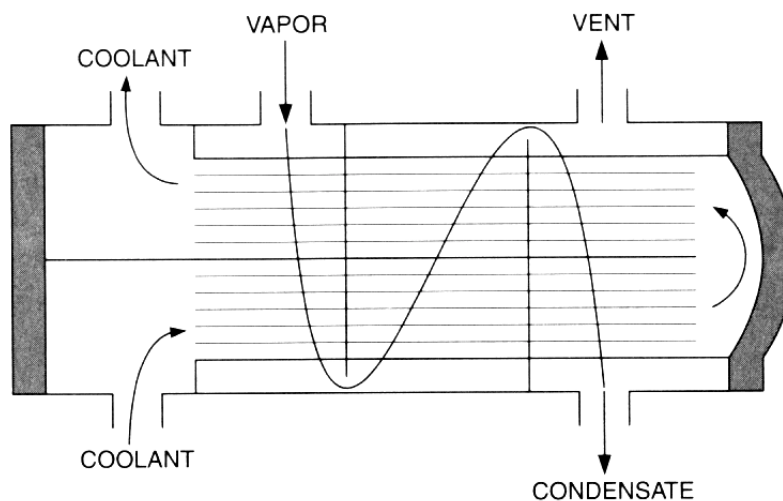
- A eficiência destes materiais é quase **100%** (entre 99 e 99,8% de eficiência de recuperação), e se mantém extremamente alta até sua completa saturação;
- Quando saturados estes materiais podem se regenerados e reutilizados.
- São muito utilizados quando os compostos recuperados possuem valor comercial.

Condensadores

- **Princípio de funcionamento:** A aspersão de água é utilizada para baixar a temperatura do fluxo gasosos e removendo os componentes condensáveis.
- As principais razões para a utilização de condensadores são :
 - recuperação de produtos com valor econômico
 - redução no volume dos efluentes
 - remoção de componentes condensáveis que possam causar corrosão nos equipamentos



Condensadores de contato direto vs. Condensadores de superfície



Conversão para um composto menos poluente ou não poluente

- **Pós-queimadores :**

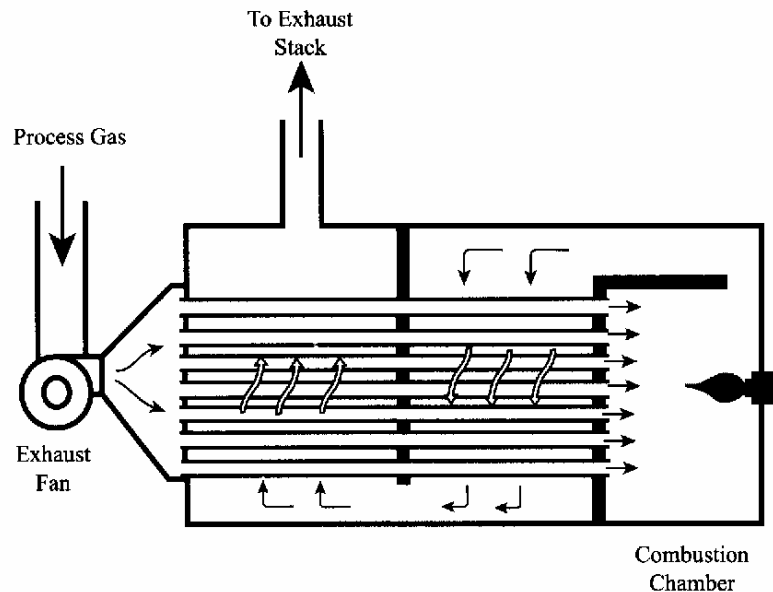
- **Princípio de funcionamento:** exposição direta do fluxo gasoso a uma chama.
- Eficiência próxima a 100% se operado corretamente
- Queima dos gases pode ser usada como fonte de energia
- Maioria dos compostos orgânicos se decompõe entre 650 e 825°C.

Queimador externo:

FLAIR ou Tocha



Queimador enclausurado ou incinerador

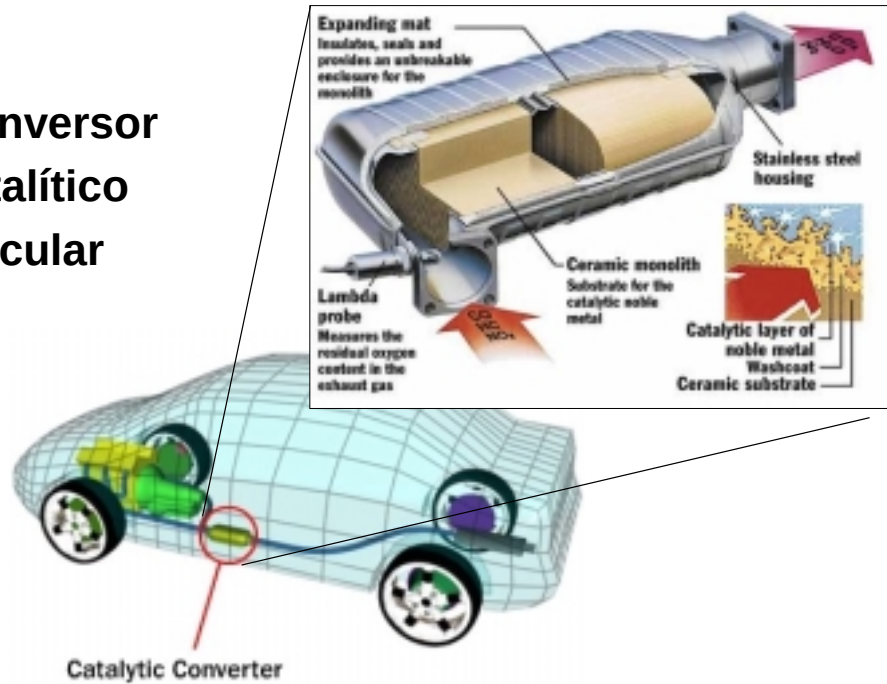


Conversão para um composto menos poluente ou não poluente

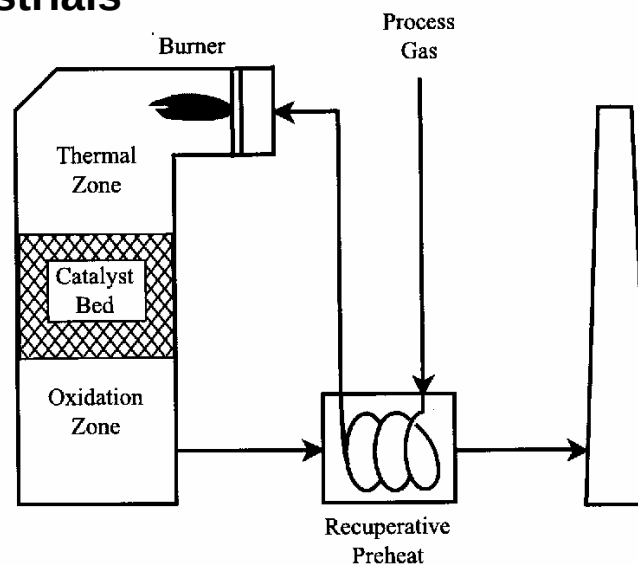
• Catalisadores:

- **Princípio de funcionamento:** este equipamento é basicamente uma câmara através da qual o poluente combustível, gás ou vapor, é forçado a passara. O Catalisador é uma substância que aumenta a taxa de reação (ou combustão), sem participar do processo.
- A combustão catalítica ocorre no interior do catalisador sem chama e à temperaturas relativamente baixas(300 - 400°C).
- Usada principalmente para a remoção de compostos de carbono (aldeídos e hidrocarbonetos não queimados) e NOx ($\text{NOx} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$)

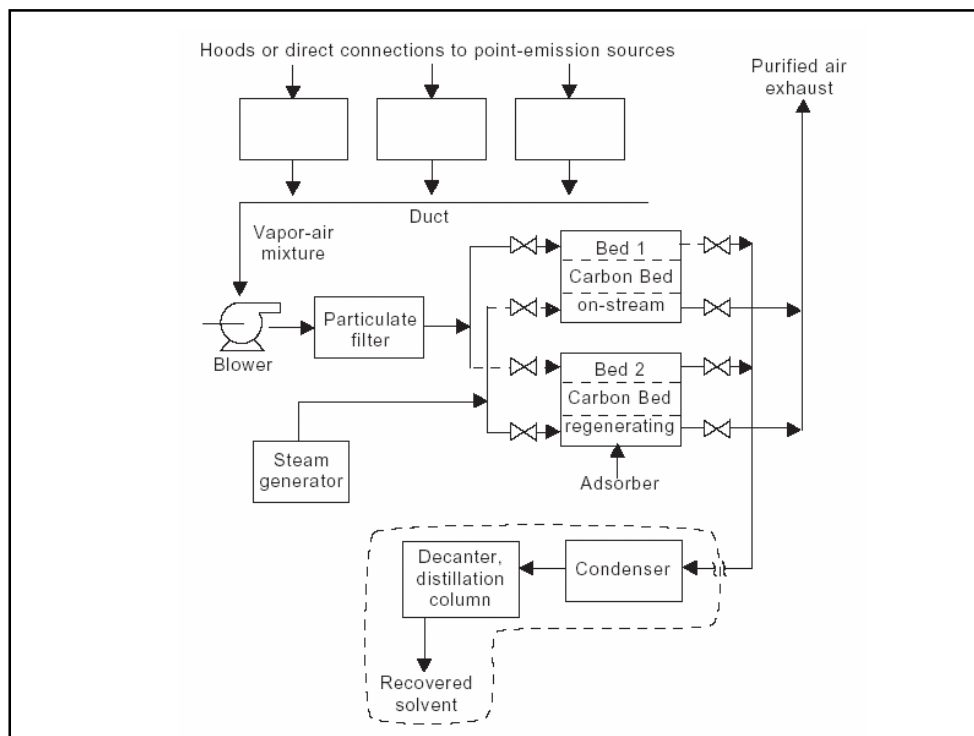
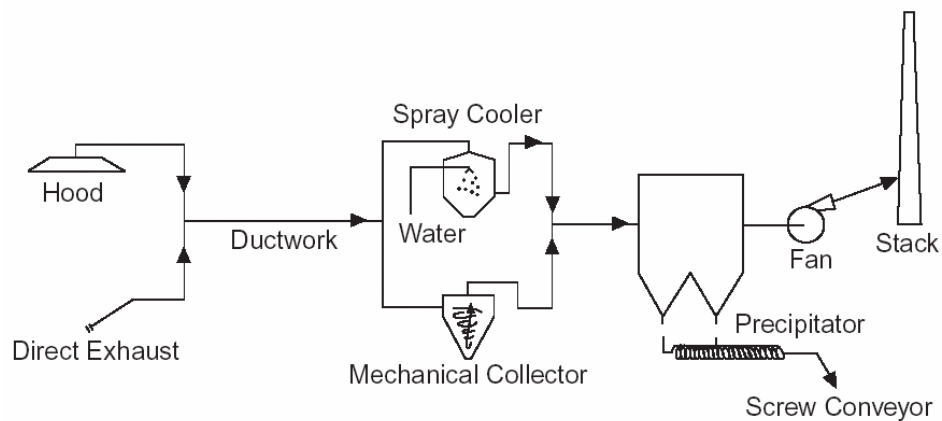
Conversor catalítico veicular



Conversor catalítico em processos industriais



Associação de equipamentos de controle em processos industriais



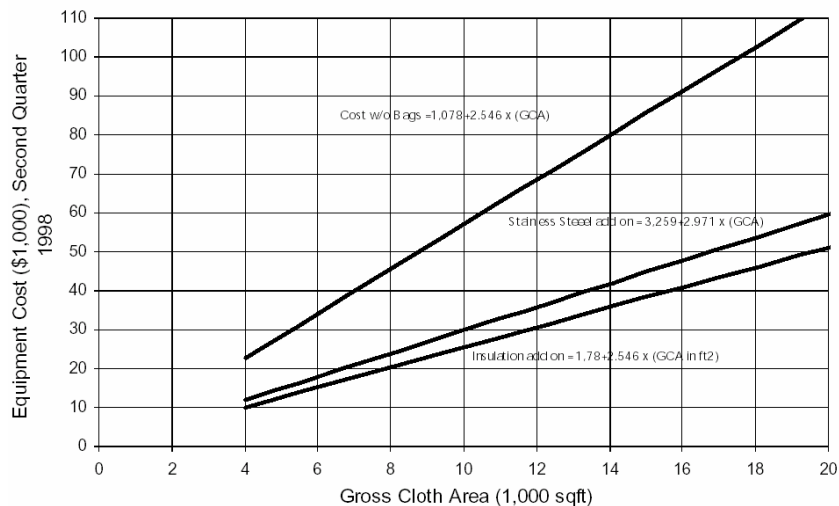
Base de dados da EPA sobre custo de equipamentos de controle de poluição do ar:

EPA Air Pollution Control Cost Manual Chapters & Information

<http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#cccinfo>

Exemplo:

Custo de instalação de um filtro de mangas (pag. 600)



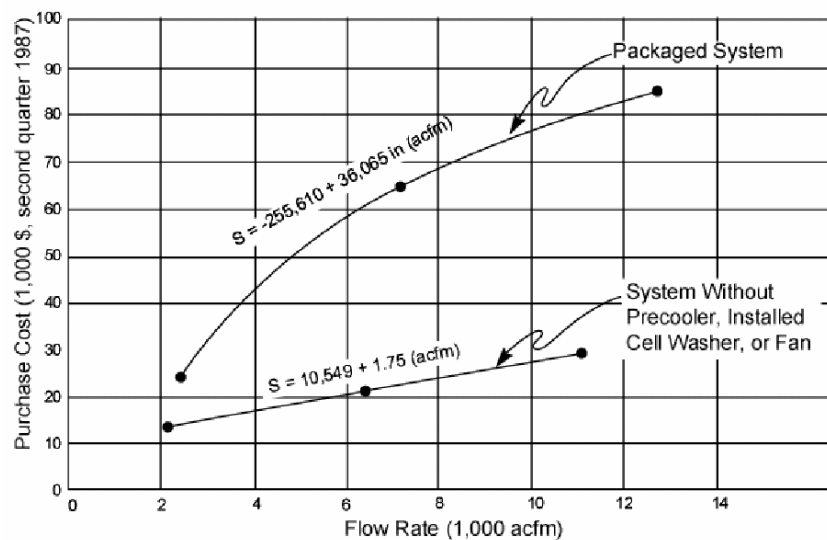
Exemplo:

Custo de instalação de um precipitador eletrostático úmido (pag. 724)

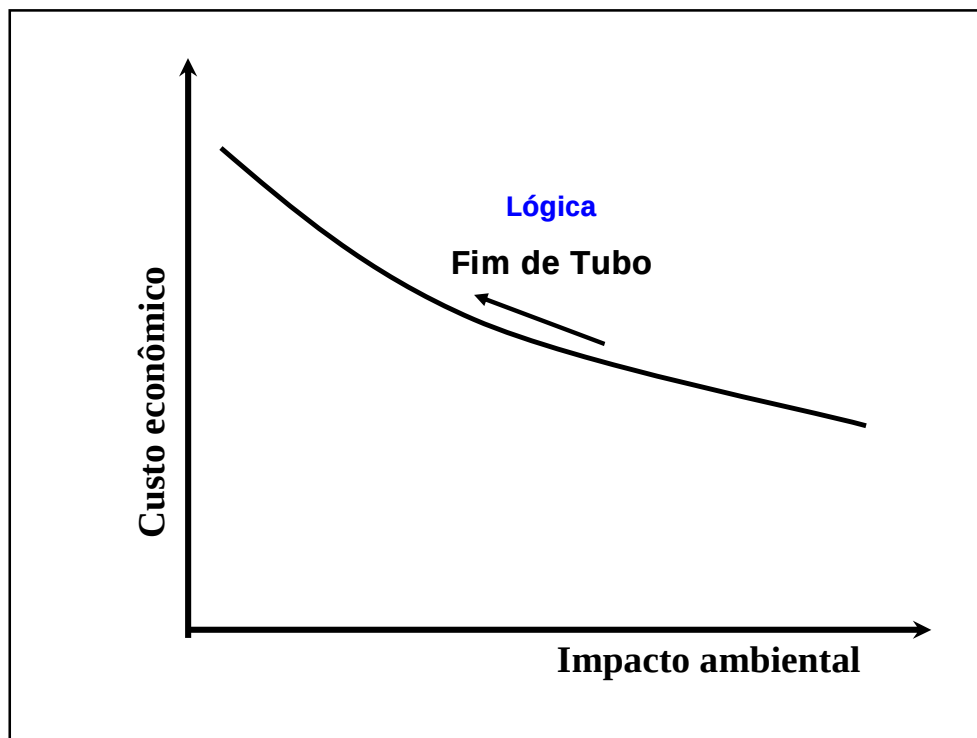
Saturated Volume (acfm)	80% Efficiency		85% Efficiency		90% Efficiency		95% Efficiency	
	Price (\$x1000)	Price (\$/acfm)	Price (\$x1000)	Price (\$/acfm)	Price (\$x1000)	Price (\$/acfm)	Price (\$x1000)	Price (\$/acfm)
10,000	315	31.5	327	32.7	339	33.9	365	36.5
15,000	342	22.8	355	23.7	378	25.5	408	27.2
20,000	369	18.5	385	19.3	412	20.6	451	22.6
25,000	398	16.0	423	17.0	448	18.0	---	---
30,000	427	14.3	441	14.7	---	---	---	---
35,000	442	12.7	---	---	---	---	---	---

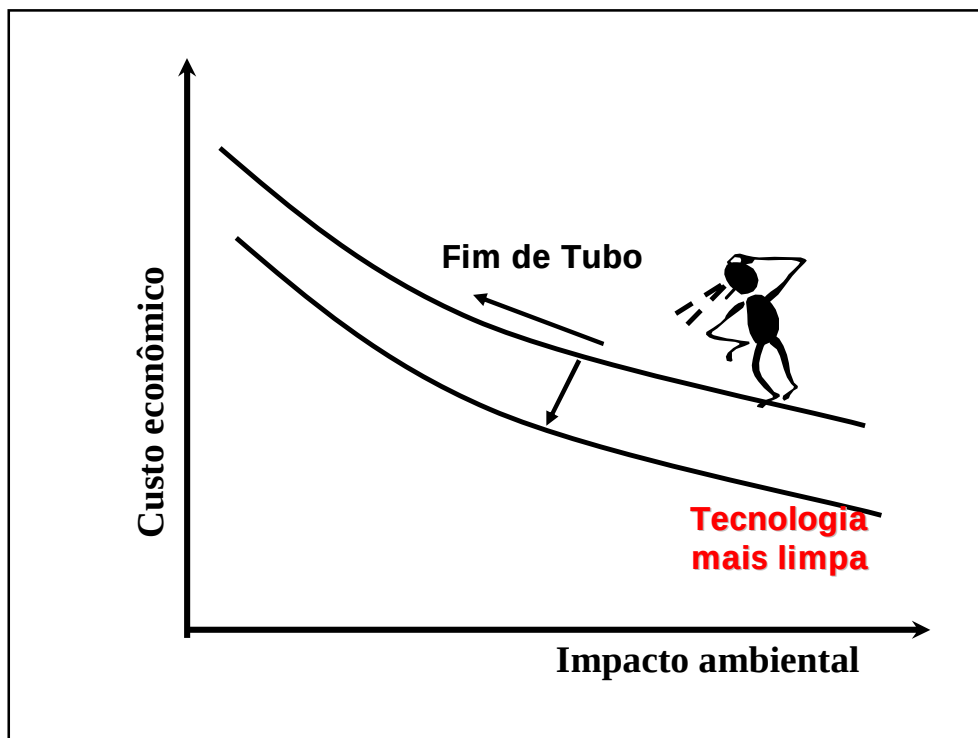
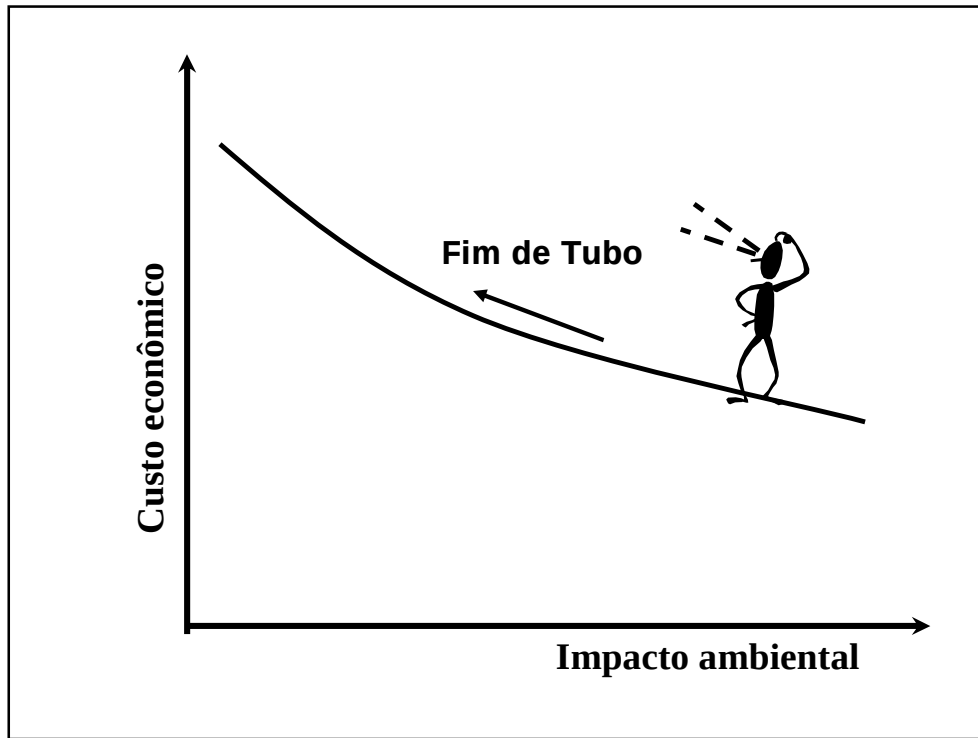
Exemplo:

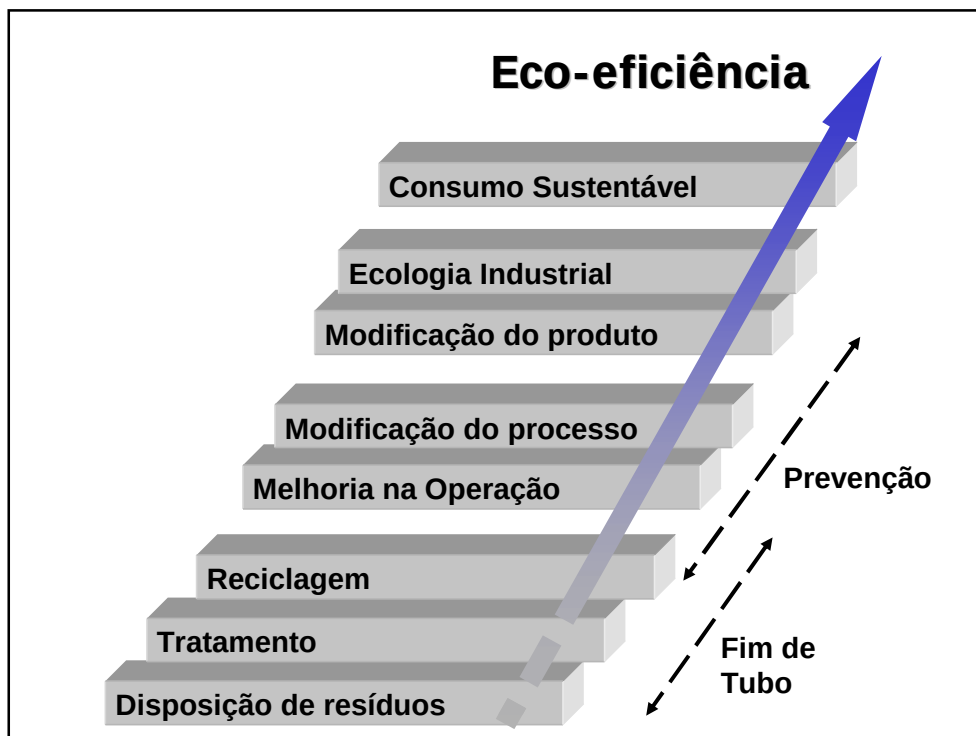
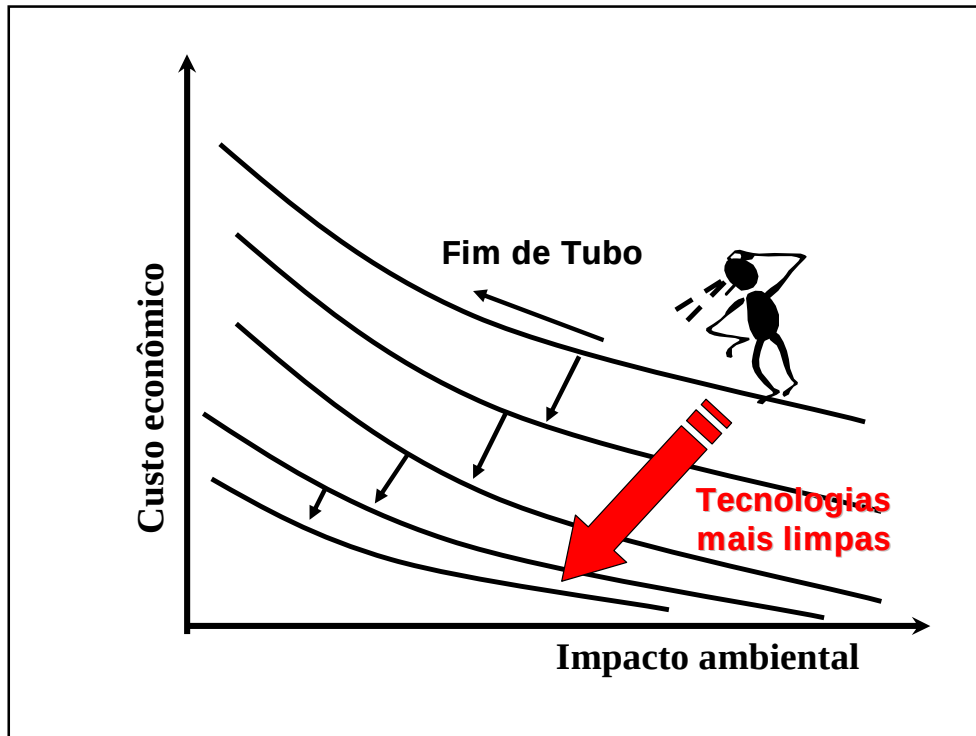
Custo de instalação de um precipitador eletrostático de 2 estágios c/ sistema de batimentos mecânico (pag. 726)



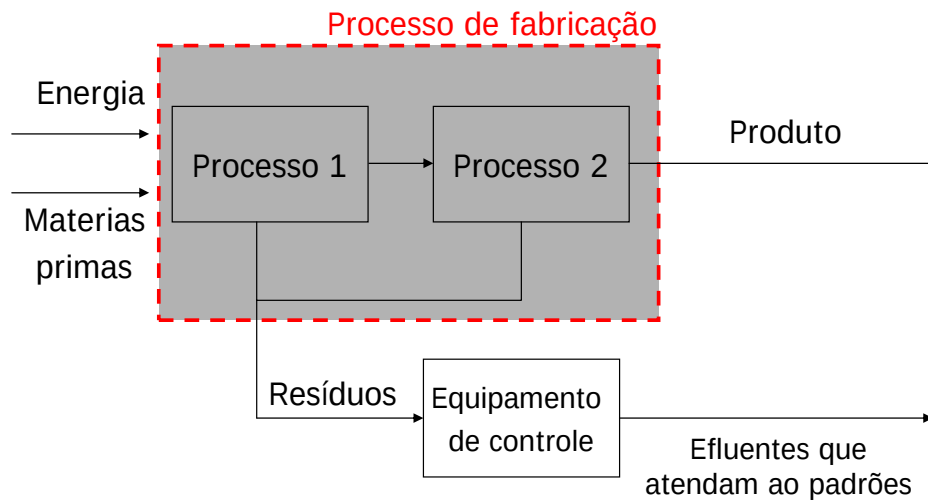
Equipamentos de controle de emissão no contexto da **Produção + Limpa**



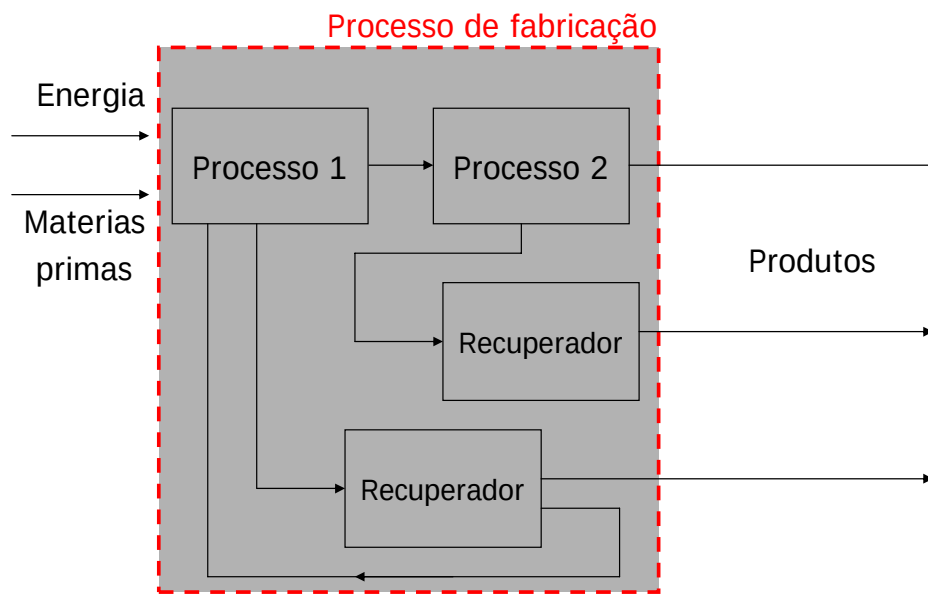


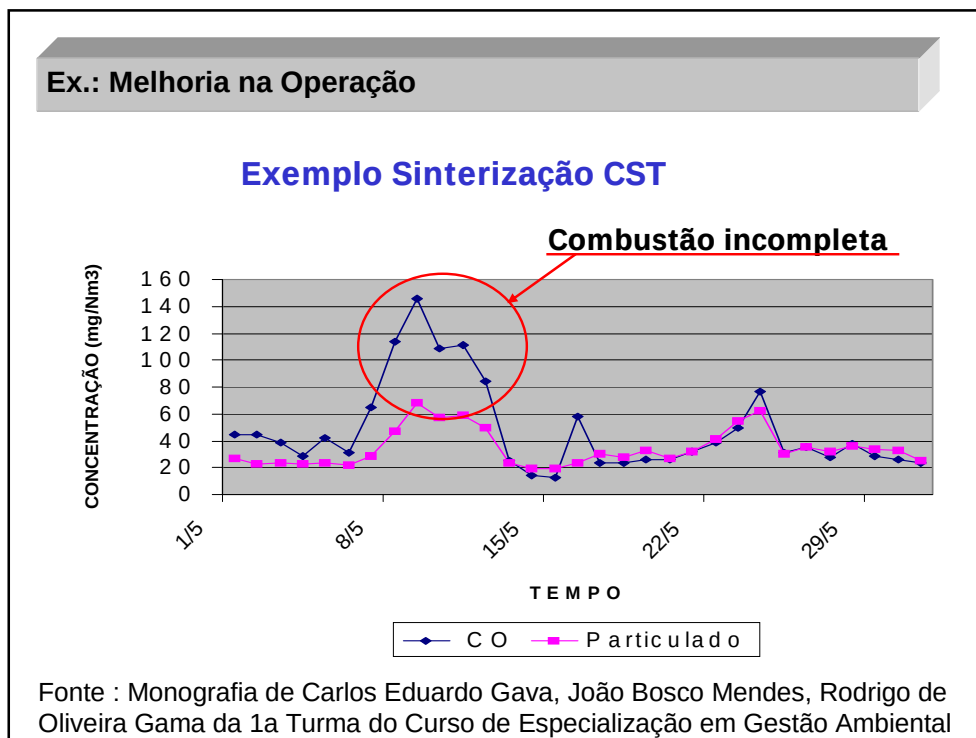
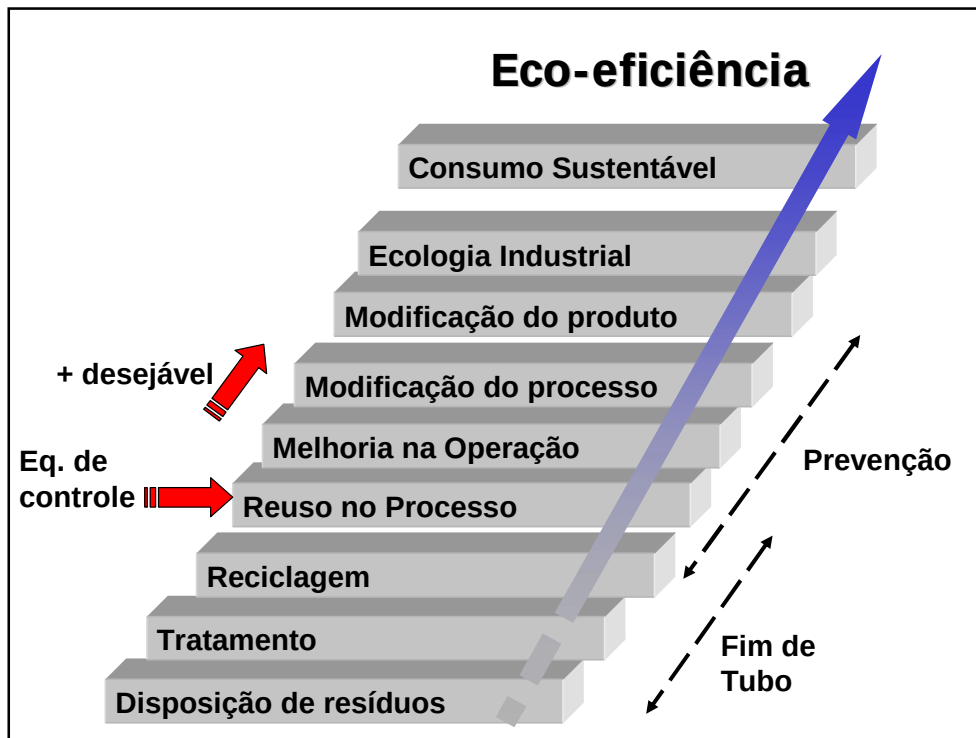


Lógica Usual



Lógica P+L





Ex.: Modificação do processo

Substituição ou mudança de matérias-primas

- Uso de materiais biodegradáveis;
- Redução do número de componentes para reduzir a complexidade dos processos;
- Uso de substâncias livres de metais pesados;
- Em geral: uso de materiais menos tóxicos;
- Uso de matérias-primas que tenham um ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos.

Modificação tecnológica

