

# PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS - PREFE

## GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

### **ANEXO ÚNICO**

(a que se refere o inciso I da Decisão de Diretoria nº 133/2017/C, de 26/04/2017)



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO • SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



## COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



**GOVERNO DO ESTADO  
DE SÃO PAULO**

**Governo do Estado de São Paulo**  
Geraldo Alckmin - Governador

**Secretaria de Estado do Meio Ambiente**  
Ricardo Salles - Secretário

**CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**  
Carlos Roberto dos Santos - Diretor Presidente



## COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



### **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**

Carlos Roberto dos Santos - Diretor Presidente

#### **Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental**

Geraldo do Amaral Filho - Diretor

#### **Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental**

Ana Cristina Pasini da Costa - Diretora

#### **Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental**

Eduardo Luís Serpa - Diretor

#### **Diretoria de Gestão Corporativa**

Carlos Roberto dos Santos - Diretor em exercício



# **PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS - PREFE**

## **GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)**



**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO • SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

## **Ficha Técnica**

---

### **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**

*Eng. Carlos Roberto dos Santos*  
Diretor Presidente

#### **Coordenação:**

*Eng. Geraldo do Amaral Filho*  
Diretor de Controle de Licenciamento Ambiental

#### **Redação/ Organização:**

*Eng. Maria Cristina Poli*  
*Eng. Mauro Kazuo Sato*

#### **Equipe Técnica:**

*Quim. Marcelo Souza dos Anjos*  
*Quim. Márcia Aparecida Serafim*  
*Quim. Marcos Pié Cervera*  
*Eng. Maira Daise da S. R. Santos*  
*Quim. Ricardo Barros Uchôa*  
*Eng. Roberto Noboru Teraguchi*  
*Eng. Ademir Bacilli (in memorium)*  
*Eng. Loraine L. Barquero (estagiária)*  
*Eng. Airton Chiurato*  
*Eng. Milton Norio Sogabe*  
*Tecnól. José Roberto Schmidt*  
*Eng. José Marcelo Marton*  
*Eng. Antonio Fernando Cabral*  
*Eng. Manoel Gaspar Neto*  
*Eng. Eneidr Rodrigues*  
*Eng. Carlos Manuel da S. Souza*  
*Eng. Valéria Mendes Ferreira*  
*Eng. Renata Nogueira Araújo Loes*

#### **Colaboração:**

*Eng. Aruntho Savastano Neto*  
*Quim. Cláudio Darwin Alonso*  
*Eng. Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira*  
*Biol. Elizabeth Marques*

#### **Editoração:**

*Sandra Regina Moraes Melhado*  
EQ - Departamento de Qualidade Ambiental

#### **Distribuição:**

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros  
Tel: 3133.3000 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP  
Endereço Eletrônico: [www.cetesb.gov.br](http://www.cetesb.gov.br)



# GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

O Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE), previsto no Art. 6º do Decreto Estadual nº 59.113/13 (SÃO PAULO, 2013), objetiva o planejamento de ações para atendimento aos padrões vigentes de qualidade do ar no Estado de São Paulo. O referido decreto determina que a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabeleça, conforme a vigência de cada padrão de qualidade do ar e por sub-região, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas, composto pelo PREFE e pelo Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV).

O Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) em vigor foi aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014. O Decreto Estadual nº 59.113/13 preconiza também que, na implementação do PREFE, deverá ser utilizada a melhor tecnologia prática disponível no controle de poluentes.

Este guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo,

O guia tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade técnica de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O Guia agrupa as MTPD por fonte de poluição e/ou atividade produtiva. Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele está dividido em capítulos.



# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1**

*Automobilísticas - Atividades de Pintura .....13*

## **CAPÍTULO 2**

*Fontes de Combustão .....35*

## **CAPÍTULO 3**

*Fertilizantes .....51*

## **CAPÍTULO 4**

*Papel e Celulose .....75*

## **CAPÍTULO 5**

*Indústria Química e Petroquímica .....87*

## **CAPÍTULO 6**

*Refinarias de Petróleo e Calcinação de Coque .....117*

## **CAPÍTULO 7**

*Siderurgia e Metalurgia .....133*

## **CAPÍTULO 8**

*Tratamento de Superfície .....165*

## **CAPÍTULO 9**

*Produção de Vidro .....179*



# CAPÍTULO 1

## AUTOMOBILÍSTICAS - ATIVIDADES DE PINTURA

1

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia não abrange as instalações de combustão que deverão seguir as orientações da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível para Combustão e produção de peças metálicas utilizadas nas empresas automobilísticas que deverão seguir a Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível para Siderurgia e Metalurgia.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência, os dados da Comunidade Européia (CE) e Agência Ambiental Americana (EPA).

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminés) e demais fontes do processo de pintura dentro da indústria automobilística. Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética) e que utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes.

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana “California Air Resources Board” link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

### 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO DE PINTURA

Os principais objetivos da pintura de veículos, caminhões e máquinas agrícolas é a proteção a longo prazo contra a corrosão, tempo, influência química (por exemplo, excrementos de pássaros, chuva ácida), proteção contra lascas, sol, abrasão em virtude da lavagem de carro, etc; e também garantir propriedades estéticas como, profundidade de cor, livre de nebulosidade, sem defeito, etc.

As etapas de um processo de pintura são:

- desengraxe (Pré-limpeza) de carrocerias: Operação usada para remover impurezas como graxas lubrificantes e poeira.
- pré-tratamento (Fosfato): Tratamento dado para a superfície metálica da carroceria, voltado a proteger a mesma da oxidação, e em geral, é utilizado fosfato de níquel ou zinco para esse tratamento.
- eletroforese (Eletrocoat): Processo de pintura por imersão, ou aspersão, utilizando um campo elétrico para efetuar a deposição de materiais resinosos na carroceria do veículo. Nesse processo, a peça a ser pintada age como um eletrodo com a carga oposta à partícula do produto contido no tanque de imersão.
- selantes (Sealers): aplicação de massa selante à base de celulose.
- fundo Nivelador (Primer de Superfície): Pintura protetiva entre o processo de eletroforese e aplicação de esmalte.
- esmalte (Basecoat): A pintura da cor final, formada por uma resina pigmentada durável, o qual passa pelo processo de cura.

- verniz Transparente (Clearcoat): A pintura final, formada por uma resina clara provendo suavidade, alto brilho e durabilidade à superfície.
- purga: Operação de limpeza do sistema de aplicação quando resíduos de pintura são expelidos, permitindo assim a mudança de cor no sistema.
- reparo final: Pintura para correção de falhas ou imperfeições no final, após montagem do veículo.

Na primeira etapa, Desengraxe, as carcaças metálicas são desengorduradas com lavagens para remover óleos, graxas, partículas de sujeira, resíduos de lixamento, substâncias e outros contaminantes. Essa ocorre normalmente a uma temperatura de 50 a 60 ° C, utilizando, agentes de limpeza alcalínicos que também podem conter fosfatos e agentes tensoativos.

A fosfatização cria uma proteção contra corrosão e estabilidade de adesão da pintura. Uma camada fina de fosfato é conseguida por pulverização ou por imersão com uma solução à base de água. Pode conter outros metais, por exemplo, zinco, manganês e níquel, bem como cálcio, ácido fosfórico e oxidantes.

Depois disso uma lavagem é realizada, com água desmineralizada. A carcaça é normalmente fosfatada a uma temperatura de 50 a 60°C, e imediatamente transferida para a zona de revestimento por eletrodeposição.

Eletrocoating é conhecido por uma variedade de nomes: e-revestimento, imersão, pintura eletroforética catódica, etc; é usado como revestimento, para proteção contra corrosão. A base de água, a tinta é aplicada por imersão.

Partículas de tinta que não foram depositadas eletricamente são removidas por lavagem. Para minimizar as perdas de tinta, são utilizados múltiplos sistemas de enxaguamento. A cura ocorre em uma estufa que normalmente opera entre 150 a 180°C.

As operações de selagem são realizadas por robôs ou manualmente utilizando vários materiais de PVC. Os materiais de proteção de vedação e parte inferior da carroceria são em alguns casos secos/curados antes de continuar o processo de pintura. Antes da aplicação do primer, a carroceria é limpa, uma vez que as partículas ainda podem ter um efeito prejudicial sobre a camada de revestimento da carroceria.

O primer tem as seguintes funções:

- enchimento de pequenos desníveis da superfície
- preparação da aplicação de acabamento garantindo a estabilidade e adesão, com aplicação de uma camada com espessura necessária para alcançar a qualidade pretendida
- proteção contra diversos tipos de agressões físicas (por exemplo: pedras, pedriscos, carrinho de supermercado, etc.)
- proteção UV para as camadas e eletro-imersão subjacentes.

Além do primer convencional contendo solventes, também é utilizado o primer base água. O Primer geralmente é aplicado eletrostaticamente e se necessário, pode ser aplicado manualmente em alguns locais da carroceria.

O esmalte é aplicado por robôs ou manualmente em cabines fechadas e na sequência passam por uma estufa de secagem.

A secagem acelera a vaporização dos solventes da camada de tinta aplicada. Três tipos de secagem podem ser distinguidos:

- secagem física: o material de revestimento é aplicado no estado líquido e com a evaporação dos solventes na estufa de secagem, resulta em um revestimento sólido.
- cura química: a camada de tinta solidificada após secagem física é reticulada por meio de reações químicas. Essas reações ocorrem a temperaturas mais elevadas e, por conseguinte, é necessária uma potência térmica específica. O calor adicional pode acelerar o processo de reação dentro de certos limites
- cura por reação de secagem: dois ou mais componentes reativos são misturados em proporções pré-definidas antes ou durante a aplicação e resultam numa película sólida por reação química. O sistema pode ser tanto à base de solventes ou sem solventes. Normalmente, a reação tem início a uma temperatura ambiente e pode também ser acelerada por aquecimento.

Na prática, secadores de convecção, secadores de radiação ou uma combinação de ambos os sistemas são usados, dependendo dos requisitos de qualidade do revestimento.

Na produção de veículos, os compostos orgânicos voláteis (COVs) representam a fonte de emissão mais significativa. Essa atividade emite compostos orgânicos voláteis não metanos (COVNM), provenientes das cabines de pintura, das estufas de secagem, e do sistema de limpeza dos equipamentos de aplicação de tinta.

As emissões de COVNM desse segmento podem variar significativamente de fábrica para fábrica. A indústria tem investido significativamente, tomando medidas para reduzir as emissões de solventes para a atmosfera.

Normalmente, a aplicação e secagem de primer e acabamento/revestimento transparente (verniz), contribuem com aproximadamente 80% das emissões de COVs provenientes do setor de pintura de automóveis. O revestimento de acabamento retoque (retificação), procedimentos de limpeza, bem como fontes adicionais (por exemplo, revestimento de peças pequenas, aplicação de proteção inferior) são responsáveis pelos 20% restantes.

Aproximadamente 70 a 90% do total de emissões de COV são gerados durante a aplicação e o procedimento de secagem originários da cabine de pintura. As taxas percentuais indicadas dependem geralmente dos tipos de solventes utilizados, dos sistemas de pintura e o fator de eficiência da técnica de aplicação.

Chassis de caminhões são montados a partir de perfis e peças (como eixos) que já estão pintados por eletrodeposição ou com um primer convencional. Existem ainda outros fabricantes que realizam a pintura de componentes (chassis, motores, peças plásticas, etc.) os quais não fazem parte deste guia.

Após a pré-montagem dos chassis, a qualidade da superfície é verificada e imperfeições são pontualmente reparadas com uma camada de primer. A limpeza é realizada manualmente com solvente ou à base de água para remover a sujeira, óleos e outras substâncias estranhas. Subsequentemente, uma camada de revestimento de topo é aplicada. Os chassis são pintados



manualmente, devido às suas variações de tamanho e estrutura. Tintas à base de solvente de acrilato composto por 2 componentes são aplicadas.

As emissões de COV da pintura de vans, ônibus, caminhões e cabines de caminhões são mais elevadas por metro quadrado do que os processos de revestimento na produção de automóveis, pelas seguintes razões:

- menor automação, resultando em menor eficiência de transferência e maiores emissões
- tamanho maior de veículos requer maiores câmaras de pulverização e maior tempo nos fornos de cura, conseqüentemente, maiores volumes de ar a serem tratados.
- técnicas disponíveis para os automóveis de passageiros muitas vezes não são disponíveis ou têm de ser adaptadas com custos elevados, devido ao grande tamanho dos veículos pintados
- gama de cores muito variada (300-800 cores diferentes, requisitos de frotas empresariais), sendo que sistemas à base de água não estão disponíveis para veículos multicoloridos e para um número de cores diferentes;
- algumas cores exigem maior espessura por razões de conversibilidade e, portanto, iniciadores coloridos precisam ser utilizados, ou pintura dupla é necessária,
- áreas de superfície maiores são mais propensas a danos e defeitos, requerendo mais reparos
- aumento da demanda por tintas metálicas aumenta as emissões de COV (metálicos são à base de solvente)
- mais restrições sobre tecnologias devido a diferentes tipos de materiais
- maior área de pintura no interior da cabine (menos painéis em comparação com os automóveis de passageiros).

As estufas de secagem, fornos e equipamentos de oxidação de compostos orgânicos voláteis (COV), normalmente utilizam como combustível gás natural e, portanto, com emissões potenciais de óxidos de nitrogênio. Para essas emissões deverão ser atendidos os critérios constantes da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível para Fontes de Combustão.

**Tabela 01 – Principais fontes de emissões de poluentes**

Fonte	Poluente			
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	HCTNM
Estufas de secagem e cura		x <sup>(a)</sup>	x <sup>(a)</sup>	x
Preparo de superfície (lixamento)	x			
Aplicação de selagem				x
Cabines de Pintura				x

(a) utilizar os critérios da guia de melhor tecnologia prática disponível para fontes de combustão

### 4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de pintura dentro da indústria automobilística, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos obrigatoriamente devem atender aos seguintes requisitos:

- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte emissora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- deve haver medidor de consumo de combustível por rede para atender cada tipo de fonte de combustão;
- o tratamento térmico para controle de emissões de COVs deve possuir monitoramento contínuo dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões como temperatura, tempo de operação, etc;

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014.

Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

A minimização das emissões de COV proveniente do processo de pintura, depende de:

- eficiência e forma de aplicação,
- quantidade e tipo de solvente utilizado na pintura e no verniz,
- captura eficiente dos vapores, e
- tratamento de efluentes gasosos, que podem ser por meio de tratamento térmico, catalítico ou combinado com a absorção (via úmida ou seca) e adsorção por carvão ativado.

Cabe ressaltar que além dos pontos citados acima, não poderá haver odor perceptível fora dos limites do empreendimento. Caso haja reclamações da comunidade, as emissões fugitivas deverão ser captadas e tratadas.

Para revestimento de automóveis, além dos pontos de minimização de COV listados anteriormente, constitui MTPD, para efeito deste guia:

- minimizar o consumo de energia na escolha e modo de funcionamento dos processos de pintura, secagem/tratamento e dos sistemas associados de redução das emissões;
- minimizar as emissões de solventes, bem como o consumo de energia e de matérias-

- primas, através da seleção dos sistemas de pintura e secagem;
- definir e aplicar, nas instalações existentes, planos de redução dos consumos e das emissões, de modo a conseguir alcançar os valores de emissões referidos na Tabela 02;
- minimizar o consumo de matérias-primas, através da maximização das eficiências na transferência;

Para Revestimento de caminhões e veículos comerciais, além dos pontos de minimização de COV listados anteriormente, constitui MTPD, para efeito deste guia:

- minimizar as emissões de solventes, bem como o consumo de energia e de matérias-primas, utilizando uma combinação de sistemas de pintura e de secagem, em conjunto com sistemas de tratamento dos efluentes gasosos;
- utilizar materiais de poliuretano sem solventes, aplicadas por pulverização sem ar, para os materiais de isolamento sonoro e de revestimento do chão, bem como materiais pré-revestidos;
- utilizar uma combinação de técnicas para reduzir as emissões de solventes das operações de limpeza;
- minimizar o consumo de matérias-primas por meio da maximização das eficiências na transferência.

Para revestimento de ônibus e camionetes, além dos pontos de minimização de COV listados anteriormente, constitui MTPD, para efeito deste guia:

- minimizar as emissões de solventes, bem como o consumo de energia e de matérias-primas, utilizando uma combinação de sistemas de pintura e de secagem em conjunto com sistemas de tratamento dos efluentes gasosos;
- utilizar matérias de poliuretano sem solventes, para os materiais de isolamento sonoro e de revestimento do chão, bem como materiais pré-revestidos;
- utilizar uma combinação de técnicas para reduzir as emissões de solventes das operações de limpeza;
- minimizar o consumo de matérias-primas por meio da maximização das eficiências na transferência.

Para revestimento de equipamentos agrícolas e de construção, além dos pontos de minimização de COV listados anteriormente, constitui MTPD, para efeito deste guia:

- reduzir o consumo e as emissões de solventes;
- maximizar a eficiência da aplicação do revestimento e minimizar a utilização de energia;
- reduzir o consumo de matérias-primas, as emissões de solventes e o volume de ar a tratar, utilizando técnicas de imersão para o revestimento dos componentes, antes da respectiva montagem;
- utilizar outros sistemas de pintura para substituir as tintas à base de solventes halogenados.

No que se refere a poluentes provenientes de estufas e secadores gerados pela combustão como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{MP}$  e  $\text{SO}_x$ , desde que não haja contato direto com o gás residual, deverão ser seguidos os procedimentos de MTPD da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível para Fontes de Combustão.

Instalações onde haja aproveitamento energético dos gases residuais dos processos de pintura ou se busque o seu tratamento térmico, o equipamento de tratamento deverá operar com

temperatura igual ou superior a 750° C, com tempo de residência que garanta a destruição térmica igual ou superior a 95% dos COVs, expressos como hidrocarbonetos totais excluindo o metanos. Deve possuir monitoramento e registro da temperatura e tempo de operação.

Não poderá haver lançamento para a atmosfera, sem tratamento, dos gases residuais dos processos de pintura, somente sendo permitido o uso de by-pass em situações de emergência.

Para que um processo de pintura automobilística seja considerado dentro dos padrões de MTPD, todos os pontos passíveis de emissão de COV deverão ser captados e tratados. Os valores de referência na Tabela 02, a seguir, referem-se a todas as fases do processo executadas na mesma instalação, por eletroforese ou por qualquer outro processo de revestimento, incluindo o enceramento e o polimento final, bem como os solventes utilizados na limpeza dos equipamentos, incluindo câmaras de pulverização e outros equipamentos fixos, durante e fora do tempo de produção. Os valores constantes da Tabela 02 não incluem a pintura de para-choques e outras peças plásticas.

A verificação do atendimento a estes valores de referência deverá seguir os procedimentos de balanço de massa constantes do Anexo II deste guia.

**Tabela 02 – Valores de referência para MTPD para processos de pintura em indústrias automobilísticas**

Atividade	Valor de referência de MTPD	
	Instalações licenciadas antes de 2007	Instalações licenciadas a partir de 2007
Automóveis	< 60 g/m <sup>2</sup>	45 a 15 g/m <sup>2</sup>
Cabine de caminhões, carrocerias de veículos utilitários, pick-up e caminhonete	90 g/m <sup>2</sup>	70 g/m <sup>2</sup>
Ônibus, Trator e veículos agrícolas e/ou utilizados na construção civil	225 g/m <sup>2</sup>	150 g/m <sup>2</sup>

## 5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo, será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

As fontes de emissão provenientes de processos de pintura na indústria automobilística, até a presente data, não possuem limites de emissão estabelecida em legislação nacional, devendo ser atendidos os valores de emissão estabelecidos no seu licenciamento.

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida (Tabela 03).

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46, ou outro documento que vier a substituí-lo.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na Tabela 03 a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

As emissões de COVs das estufas de secagem e cura, aplicação de selagem e das cabines de pintura devem ser expressas como hidrocarbonetos totais não metanos, devendo preferencialmente ser utilizado o método USEPA 25A para a sua coleta e análise.

As empresas que possuem em suas licenças exigências de valores de emissão expressas em g/m<sup>2</sup> deverão monitorar periodicamente as emissões de COVs (frequência semestral) por meio de balanço de massa, utilizando os critérios do Anexo II deste guia e manter os registros para eventuais solicitações e consultas da CETESB.

A cada renovação da licença de operação realizar amostragens com o objetivo de avaliar

a eficiência do tratamento térmico, tratamento catalítico, absorção (via seca ou úmida) ou adsorção com carvão ativado quando ocorrerem mudanças nos equipamentos de processo ou controle, e também, em casos de odor perceptível fora dos limites do empreendimento

**Tabela 03 - Frequência e tipo de monitoramento aplicável às fontes listadas no PREFE/2014.**

Fonte	Monitoramento Direto (amostragem em chaminé)				Monitoramento Contínuo			
	MP	SOx	NOx	COVs (HCNM)	MP	SOx	NOx	COVs (HCNM)
Estufas de secagem e cura	NA	*	*	LOR	NA	NA	A	A
Cabines de Pintura	NA	NA	NA	LOR	NA	NA	NA	A

(\*) utilizar os critérios da guia de melhor tecnologia prática disponível para fontes de combustão

A – Aplicável NA – não aplicável

LOR – Renovação da Licença de Operação

**ANEXO I**  
**DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS PARA A PREVENÇÃO E CONTROLE DAS EMISSÕES**  
**PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Finalidade</b>
Absorção Via úmida	COV	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuárias e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração (por exemplo: cabine de pintura com cortina d'água)
Absorção Via seca	COV	Os compostos gasosos são absorvidos em um material poroso como cartuchos de papel
Adsorção com carvão ativado	COVs	Adsorção com carvão ativado é um método de filtragem que utiliza um leito de carvão ativado para remover os contaminantes e impurezas, utilizando adsorção química. O carvão ativado funciona por meio de um processo chamado de adsorção, em que as moléculas poluentes no líquido a ser tratado ficam na superfície dos poros do substrato de carbono.
Tratamento Catalítico	COVs	O tratamento catalítico é caracterizado pela destruição de COV sem a presença de chama, a temperaturas entre 200 e 500°C, com a presença de um catalizador.
Tratamento Térmico	COVs	No Tratamento térmico os componentes orgânicos e inorgânicos presentes no ar de exaustão são oxidados e/ou destruídos com a presença de chama, a uma temperatura superior a 750°C. Podem utilizar o poder calorífico do gás a ser tratado e/ou com o uso de combustível gasoso como GLP ou gás natural.

## ANEXO II.1 ROTEIRO PARA ELABORAÇÃO DE BALANÇO DE MASSA

Este procedimento estabelece critérios para o cálculo das emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) para a atmosfera, originadas no processo de pintura e secagem de carrocerias metálicas de automóveis novos, cabines de caminhões, veículos de uso múltiplo, e carrocerias de veículos utilitários, pick-up e caminhonete, trator e ônibus, excluindo veículos agrícolas e/ou máquinas utilizadas na construção civil. Não é aplicável às pinturas em peças plásticas, como por exemplo, para-choques.

### 1. Princípio:

Estimativa das emissões de COVs por m<sup>2</sup> pintado por meio do balanço de massa entre a quantidade de solventes presentes na tinta utilizada e a quantidade de sólidos fixos. Também estabelece uma relação com a área pintada, criando assim a condição de se observar a eficiência dos produtos utilizados, equipamentos, processos, métodos e eventual abatimento das emissões, dentre as diversas instalações do processo de pintura.

### 2. Objetivo:

Estimar e quantificar as emissões de COVs provenientes do processo de pintura em empresas automotivas visando atendimento às exigências de licenças ambientais e monitoramento periódico junto à CETESB para fontes novas e existentes.

### 3. Especificações

Os responsáveis por fontes estacionárias referenciadas neste documento devem atender os seguintes requisitos:

- manter registros de manutenção para o processo e equipamentos de controle.
- manter registros mensais de consumo de tintas e solvente que contenham COV de todas operações de pintura de carrocerias descritas nesta metodologia, incluindo as seguintes informações:
  - quantidade e tipos de carrocerias pintadas
  - área total da superfície de cada modelo de veículo produzido
  - variação da superfície pintada devido a mudança de modelo
  - consumo de tinta e informação de quantidade de COV
  - consumo de solvente na purga e limpeza (por tipo)

As informações sobre a quantidade de COVs contida nos produtos utilizados deverão ser fornecidas pelos fornecedores de matérias-primas com base no método "US Environmental Protection Agency (EPA) Method 24 of the Code of Federal Regulations (CFR) Title 40, Part 60, Appendix A", . A quantidade de COVs deverá constar na Ficha de Informações sobre Produtos Químicos - FISPQ, no campo IX da mesma.

A qualquer momento poderá ser solicitada ao fabricante de tintas, a comprovação das informações constantes na FISPQ do produto relativas à quantidade de COVs e método utilizado para medição.

#### 3.1 Determinação da Área Total de Superfície da Carroceria

A área da superfície da carroceria considerada para o cálculo de COV é somente a área de pintura que passa pelo processo de eletroforese, determinado pelo Departamento de Engenharia de



cada montadora. A qualquer momento poderá ser solicitada à montadora a comprovação das informações relativas à área de pintura e método utilizado para tal medição.

### 3.2 Cálculo das Emissões de COVs

O cálculo das emissões de COVs para as operações de pintura são baseadas no consumo total de COVs durante um período de tempo.

O cálculo do COV captado e destruído por equipamento de controle deve contemplar a quantidade de COV no estado gasoso captado nas estufas de secagem do processo produtivo, além da eficiência de destruição do equipamento de controle e destruição instalado no processo.

## 4. Método

A seguinte fórmula é usada para o cálculo das emissões de COV:

$$VE = 1000 \times [ (VC1 \times COV1) + (VC2 \times COV2) + Solv1 + Solv2 \dots - (RSA + RSB \dots) ] / [(B1 \times S1) + (B2 \times S2) + \dots]$$

VE	= emissão média de COV (g/m <sup>2</sup> por mês)
VC1	= volume de Tinta 1 usada por mês (L); Exemplo: fundo (primer)
COV1	= conteúdo de COV da Tinta 1 (kg/L)
VC2	= volume de Tinta 2 usada por mês (L); Exemplo: esmalte (basecoat)
COV2	= conteúdo de COV da Tinta 2 (kg/L)
Solv1	= peso do Solvente 1 usado por mês (kg); Exemplo: solvente para primer-colorido
Solv2	= peso do Solvente 2 usado por mês (kg); Exemplo: solvente de purga
RSA	= somatória de solventes capturados na fase de vapor, reciclados ou destruídos por equipamento de controle de COV (kg); Exemplo: emissão de solventes durante a aplicação de tinta
RSB	= somatória de solventes capturados na fase líquida (kg); Exemplo: purga de solventes ou solvente utilizado para limpeza das linhas de recirculação; A somatória precisa ser o valor líquido dos sólidos medido pelo método usado para se determinar o conteúdo de COV na tinta.
B1	= número de carrocerias do tipo B1 pintadas em um mês
S1	= área de Superfície da carroceria B1 que passa pela eletroforese (m <sup>2</sup> )
B2	= número de carrocerias do tipo B2 pintadas em um mês
S2	= área de Superfície da carroceria B2 que passa pela eletroforese (m <sup>2</sup> )

#### Notas:

1. Para o apontamento das quantidades de cada um dos fatores e cálculo da fórmula de emissões de COVs, bem como produção mensal e área dos veículos pintados, sugerimos que seja utilizada planilha conforme Anexo II.1 deste guia.

2. Para determinação do conteúdo de COVs das tintas (COV1, COV2, ...) deve ser seguido o método descrito no Anexo II.2 deste procedimento, documento esse baseado no "US Environmental Protection Agency (EPA) Method 24 of the Code of Federal Regulations (CFR) Title 40, Part 60, Appendix A".

3. Para a determinação da somatória de solventes capturados na fase de vapor, reciclados ou destruídos por equipamento de controle (RSA), deverá ser utilizado o protocolo de medição conforme Anexo II.3 deste documento, relativo a determinação da quantidade de COV captado nas estufas de secagem e encaminhados para reciclagem ou destruídos em equipamento de controle.

4. Para determinação da eficiência de destruição de equipamentos de controle de emissão de COVs (por exemplo: RTO – Oxidação Térmica Regenerativa), deve ser seguido Termo de Referência para Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas - CETESB, Publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

**Anexo II.1 – Planilha de cálculo de emissões de COVs por área pintada**

Nome da Empresa:											
Período:											
Emissão Total de COV (g/m <sup>2</sup> )											
Processo/Material	Consumo (lts)	Densidade da Tinta (Kg/litro)	Consumo Total (kg)	COV (% peso)	COV Tinta (kg)	Solvente Adicionado (litros)	Densidade Solvente (kg/litro)	Total COV Emitido (kg)	Fator de Emissão	Emissão (kg)	
<b>Pintura Eletroforetica (e-coat)</b>											
Total											
<b>Selantes e Antirruído</b>											
Total											
<b>Pintura de fundo (primer)</b>											
Total											
<b>Esmalte Base e Verniz</b>											
total											
<b>Cera de Cavidade</b>											
Total											
<b>Material de Reparo</b>											
Total											

Anexo II.2 – Planilha de cálculo de emissões de COVs por área pintada

Processo/Material	Consumo (lts)	Densidade (Kg/litro)	Quantidade (kg)	COV (% peso)	Solvente (kg)
<b>Solvente Consumido</b>					
<b>Total</b>					
<b>Recuperação</b>					
<b>Total</b>					
<b>Superfície de Eletroforese – ELPO (m<sup>2</sup>)</b>					
Veículo			Produção	m <sup>2</sup> /veículo	Área pintada (m <sup>2</sup> )
<b>Emissão de COV – Resumo Geral</b>					
Processo			Material Usado (kg)	Emissão COV (kg)	g/m <sup>2</sup>

## ANEXO II.2

### MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE MATERIAL VOLÁTIL E DENSIDADE DE REVESTIMENTOS DE SUPERFÍCIES DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS.

Este método é usado para determinar o teor de material volátil e densidade de tinta, verniz e laca ou outros revestimentos de superfícies de carrocerias automotivas.

#### 1. Preparo da amostra

1.1 Prepare cerca de 100 ml da amostra, se necessário adicionando os compostos, em um jarro de vidro ou recipiente metálico, mas sempre com tampa. O recipiente deve ter volume suficiente para que caiba a amostra, mesmo quando existir a necessidade de adição de compostos. Neste caso, combine os compostos (por peso ou volume) na proporção recomendada pelo fabricante. Feche hermeticamente o recipiente entre as adições e durante a mistura, a fim de prevenir perda de material volátil.

1.2 Imediatamente após o preparo da amostra, pegue aliquotas destes 100 ml de amostra preparada, para a determinação do total de conteúdo volátil, conteúdo de água e densidade.

#### 2. Conteúdo de Volateis: Para determinar o conteúdo total de voláteis use o seguinte procedimento:

2.1 Pese e registre o peso de um prato de alumínio, com precisão de 1 mg. Usando uma seringa, adicione de 0,3 a 0,5 g de tinta no prato de alumínio.

2.2 A amostra deve ser levada a estufa de secagem e permacer no mínimo 1 hora, a temperatura de 110° C.

2.3 Remova o prato de alumínio da estufa e coloque-o imediatamente em um dessecador para que resfrie até a temperatura ambiente e em seguida efetue a pesagem em balança com precisão de 1 mg.

2.4 Calcule a quantidade de volateis (Wv), conforme a seguinte equação:

$$WV = (W1 - W2)/W3$$

onde,

W1 = peso do prato e da amostra antes do aquecimento, em g

W2 = peso do prato e da amostra após o aquecimento, em g

W3 = peso da amostra, em g.

#### 3. Densidade da Tinta: Para determinar a densidade da tinta use o seguinte procedimento:

3.1 Pese e registre o peso de um recipiente de vidro (becker) com volume suficiente para conter 100 ml, com precisão de 1 mg.

3.2 Adicione 100 ml de tinta no recipiente e pese novamente, em balança com precisão de 1 mg

3.3 Calcule a densidade da tinta (Dc), conforme a seguinte equação:

$$Dc = (Wb - Wa)/V$$

onde,

Wa = peso do recipiente, em g

Wb = peso do recipiente e da amostra, em g

V = volume da amostra, em ml.

A unidade da densidade da tinta (Dc) é apresentada em g/ml ou kg/litro.

### ANEXO II.3

## PROTOCOLO DETERMINAÇÃO DA SOMATÓRIA DE SOLVENTES CAPTURADOS NA FASE DE VAPOR, RECICLADOS OU DESTRUÍDOS POR EQUIPAMENTO DE CONTROLE (RS<sub>A</sub>)

Protocolo determinação da somatória de solventes capturados na fase de vapor, reciclados ou destruídos por equipamento de controle (RS<sub>A</sub>)

### A. Resumo do Método

A captação de COVs de estufas de pintura é determinada, simulando a perda de COV de uma superfície recém-pintada por diferença de peso antes e após a secagem. Painéis de teste de metal são submetidos a um filme de pintura e em sequência ao “flashoff” e secagem em estufa.

A perda de peso durante a secagem é então relacionada ao volume de sólidos depositados sobre os painéis de teste para calcular um controle de carga de entrada do dispositivo em gramas de COV por litro de tinta aplicada.

Este método é usado para determinar a quantidade de COV que segue para o dispositivo de controle usados em uma operação de pintura e acabamento. As variações apenas para este protocolo são de que o painel de testes tem lugar na linha de pintura durante a pintura real do veículo e o seu processo de secagem. As tintas utilizadas são transferidas por propelente a base de água e / ou solvente. Uma amostra de cada tinta avaliada é coletada para determinação da densidade de sólidos.

### B. Procedimento de Teste

#### 1. Colocação do painel / Determinação do Peso

Painéis de aço limpos e secos previamente pesados, e com dimensões 0,10m x 0,30m (“electrocoated”, tamanho 4” x 12”, são colocados em um suporte na carroceria de um veículo, onde ocorrerá a aplicação de pintura. A carroceria é pintada como uma unidade de produção típica. O sistema de transporte de carrocerias deve ser parado pouco antes da carroceria entrar na estufa. Nesta fase, os painéis são cuidadosamente retirados, pesados imediatamente em uma balança analítica, e depois voltam a carroceria para secar na estufa. Depois de sair da estufa, os painéis são removidos da carroceria e após resfriamento, novamente são pesados na mesma balança analítica. Além disso, a espessura média de cada revestimento aplicado é determinada. A espessura do filme deve ser medida com um instrumento apropriado, como um “Elcometer” ou “Dualscope”.

#### 2. Captura na Estufa

Os seguintes cálculos são usados para expressar o COV captado na estufa por litro de sólidos aplicados:

- Peso de sólidos de tinta aplicado = peso do painel pintado após secagem em estufa menos o peso do painel antes da aplicação de tinta.

$$WPS = W2 - W$$

onde:

WPS = Peso de sólidos da pintura aplicada, g

W = Peso do painel antes da aplicação de tinta, g

W2 = Peso do painel (BC/CC or Cor sólida) após sair da estufa de secagem e resfriamento apropriado, g

- peso de COV disponível para o controle (captado) é igual à massa do painel no ponto em que todo o ar de escape é exaurido para o dispositivo de controle, menos a massa do painel no ponto que o ar de exaustão não é mais ventilado para o dispositivo de controle (depois da estufa de cura). Para pinturas a base de água, a massa de água é subtraída da perda de massa total

$$WSA = W1 - W2, \text{ para pinturas base solvente}$$

ou

$$WSA = [W1 - W2] - [(W4 - W3) * \%H_2O_{corr}/100], \text{ para pintura base água}$$

onde:

WSA = Massa do COV disponível para controle(capturado), g

W1 = Massa do painel (BC/CC ou Cor Solida) antes de entrar na estufa de cura, g

W2 = Massa do painel (BC/CC or Cor Solida) após sair da estufa de cura e apropriadamente resfriada, g

W3 = Massa do painel (Somente base água) antes da aplicação de tinta, g

W4 = Massa do painel (Somente base água) antes de entrar na cabine de pintura de verniz, g

$\%H_2O_{corr}$  = Porcentagem de água na amostra de tinta corrigida para o ranço, (massa,  $H_2O$ /massa, Tinta)

- Calculo de quilograma de COV disponíveis para o controle por litro de sólidos de revestimento aplicado para cada painel medido:

$$CDL = WSD * WSA / WPS$$

onde:

CDL = Credito de Captação na estufa, kg COV capturados/litro de sólidos aplicado

WSA/WPS = Massa de COV disponível para controle/massa de sólidos aplicados, g/g

WSD = Densidade média de Sólidos pesados, kg sólidos/litro sólidos

### **C. Requisitos de Teste**

#### **1. Frequência de Certificação**

O dispositivo de controle de escape da estufa de cura de COV deve ser determinado por um teste de conformidade inicial. O proprietário /operador deve rever as condições operacionais anualmente.

Os resultados dos testes mais recentes, mantem-se validos até que o proprietário/operador demonstre que não ocorreram mudanças significativas na tecnologia ou processo de pintura. Variações anuais nas cores ou ajustes menores na mistura de solventes referentes ao processo, qualidade ou outras razões, não constituem mudanças significativas na tecnologia de pintura. Mudanças significativas no processo, podem incluir alterações de tubulações para os

---

oxidadores (pós queimadores) ou alterações de grande porte nas cabines de pintura, tuneis de “flash off” ou estufas.

## 2. Equipamento

Use pelo menos três painéis de alumínio ou de aço fino com uma área mínima de 24 polegadas quadradas (154,8 cm<sup>2</sup>) para cada tinta avaliada (48 polegadas quadradas ~310 cm<sup>2</sup> de preferência). As folhas devem ser de 1,5cm maior em tamanho do que a área a ser pulverizada para facilidade de manuseio.

Para medições da massa do painel, utilizar uma balança com precisão de 0.01g

### ANEXO III

#### DEFINIÇÕES PARA EFEITO DESTA GUIA

- área Total de Superfície de Carrocerias: É a superfície da carroceria a ser pintada (também conhecida como área de eletroforese).
- automóvel - Veículo de Passeio: Veículo automotor, destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, incluindo o condutor.
- caminhão: Veículo automotor com ou sem chassis, com peso total maior que 2727 kg, projetado para o transporte de carga.
- veículo utilitário: Veículo automotor para o transporte de carga ou de mais de oito pessoas com peso total menor que 2727 kg.
- pick-Up – Caminhonete: Veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até 3.500 kg.
- trator – Ônibus: Veículo automotor destinado a tracionar, arrastar outro ou transporte coletivo com capacidade para mais de 20 passageiros.
- veículo agrícola e/ou utilizado na construção civil: Veículo automotor ou não, destinado a uso exclusivo na agricultura ou na construção civil,
- carroceria: Corpo ou estrutura de veículo automotor, seja este automovel, caminhão, veículo de uso múltiplo, veículo utilitário, pick-up, trator ou ônibus, incluindo partes externas como pára-choques, portas, guarda-corpos, teto, assoalho, chassis e peças metálicas ou plásticas incorporadas antes de serem pintadas, contanto que sejam pintadas na mesma linha de aplicação.
- Compostos Orgânicos Voláteis (COVs): Pela abrangência dada a esta definição que inclui tanto compostos orgânicos quanto as misturas em diversas proporções com tais compostos, deverá se considerado como COV todo composto orgânico exceto metano (CH<sub>4</sub>). As emissões de COVs consideradas neste procedimento são baseadas somente nas emissões geradas dentro da unidade industrial do processo de pintura de carrocerias automotivas.
- equipamento de Controle e Abatimento: Dispositivo ou grupos de dispositivos utilizados para a redução de emissões de poluentes para a atmosfera.
- pintura: Um fino filme, protetor ou decorativo aplicado à carroceria do veículo.

As operações de pintura controladas neste procedimento incluem os seguintes processos:

- desengraxe (Pré-limpeza) de carrocerias: Operação usada para remover impurezas como graxas, lubrificantes e poeira.
- pré-tratamento (Fosfato): Tratamento dado para a superfície metálica da carroceria,



voltado a proteger a mesma da oxidação – em geral, é utilizado fosfato de níquel ou zinco para este tratamento.

- eletroforese (Eletrocoat): Processo de pintura por imersão, utilizando um campo elétrico para efetuar a deposição de materiais resinosos na carroceria do veículo. Nesse processo, a peça a ser pintada age como um eletrodo com a carga oposta a partícula do produto contido no tanque de imersão.
- selantes (Sealers): aplicação de massa selante a base de celulose.
- fundo Nivelador (Primer de Superfície): Pintura protetiva entre o processo de eletroforese e aplicação de esmalte.
- esmalte (Basecoat): Pintura inicial provida da cor final, formada por uma resina pigmentada durável, a qual pode ser curada ao longo da pintura de verniz transparente.
- verniz Transparente (Clearcoat): Pintura final, formada por uma resina clara provendo suavidade, alto brilho e durabilidade à superfície.
- purga: Operação de limpeza do sistema de aplicação quando resíduos de pintura são expelidos, permitindo assim a mudança de cor no sistema.
- reparo final: Pintura para correção de falhas ou imperfeições no final, após montagem do veículo.



## CAPÍTULO 2 FONTES DE COMBUSTÃO

# 2

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange os seguintes combustíveis:

- gás natural;
- gás liquefeito de petróleo (GLP);
- óleo diesel;
- óleo combustível; e
- biomassa constituída, por exemplo, de derivados de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE), Agência Ambiental Americana (EPA) e Banco Mundial (World Bank/Environment Department).

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também alterações no processo que diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética).

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana "California Air Resources Board" link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

A maior parte das emissões atmosféricas provenientes de fontes de combustão ocorre em instalações que geram vapor ou energia, geralmente no setor de utilidades. As emissões que se originam de fontes de combustão dentro de processos industriais serão tratadas em guias específicos para o setor produtivo, como, por exemplo, fornos de produção de vidro, fornos de refino de petróleo que utilizam gás de refinaria, caldeiras de recuperação da indústria de papel e celulose, etc.

Este guia pode ser aplicado a:

- caldeiras;
- aquecedores de fluido térmico;
- secadores sem contato direto da chama com o produto; e
- fornos sem contato direto da chama com o produto. (Portanto, este guia não se aplica aos fornos cerâmicos de monoqueima, por exemplo).

### 3. TIPOS DE COMBUSTÍVEIS

#### 3.1 GÁS NATURAL

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que, à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. A utilização do gás natural como insumo energético apresenta algumas vantagens ambientais se comparada com outros combustíveis fósseis, uma vez que não requer estocagem, eliminando os riscos do seu armazenamento.

As fontes de combustão a gás natural possuem o potencial de emitir óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e material particulado (MP).

Para este tipo de combustível, as emissões mais significativas são os óxidos de nitrogênio

(NO<sub>x</sub>). A formação de óxidos de nitrogênio ocorre basicamente por dois mecanismos:

- presença de nitrogênio no combustível, e
- oxidação do nitrogênio presente na atmosfera a alta temperatura (NO<sub>x</sub> térmico).

O principal mecanismo de formação de NO<sub>x</sub> na combustão do gás natural é o NO<sub>x</sub> térmico, o qual ocorre por meio da dissociação térmica e subsequente reação das moléculas de nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>) presentes no ar de combustão. A maioria do NO<sub>x</sub> formado no mecanismo de NO<sub>x</sub> térmico ocorre a alta temperatura (> 900°C), na zona de chama perto dos queimadores. O mecanismo de NO<sub>x</sub> térmico é dependente da temperatura da chama e da concentração de oxigênio.

Basicamente, não obedecendo a uma ordem de classificação, existem três diferentes tecnologias que podem ser usadas isoladas ou combinadas, sempre com o objetivo de atender a meta do PREFE, visando reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> em caldeiras e sistemas de combustão:

- aplicação de queimadores de baixo NO<sub>x</sub> (lowNO<sub>x</sub>);
- recirculação de gases de combustão; e
- tecnologia de pós-combustão.

A recirculação dos gases (FGR) é uma técnica que pode ser eficaz, se uma grande percentagem da emissão de NO<sub>x</sub> for térmica. Nesse método uma porção do gás de combustão é reciclada para a caixa de ar do queimador (pré-aquecedor ou economizador).

O gás recirculado é misturado com o ar de combustão, antes de serem alimentados para o queimador. Há uma redução de picos de temperatura da chama e a concentração de oxigênio na zona de mistura com o combustível.

Queimadores de baixo NO<sub>x</sub> (lowNO<sub>x</sub>) reduzem NO<sub>x</sub> por meio da realização do processo de combustão em etapas, atrasando parcialmente o processo de queima, resultando em uma chama mais fria, que reduz a formação do NO<sub>x</sub> térmico. Estes queimadores têm geometria especializada de forma a converter o combustível em zonas de mistura com o ar predefinidas. Isso pode ser conseguido através do estagiamento da injeção de ar ou pelo estagiamento da injeção de combustível.

Finalmente a terceira maneira de se reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> é o uso de sistemas de abatimento do poluente gerado pela chama. Há duas tecnologias de pós-combustão que podem ser aplicadas às caldeiras a gás natural para reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> são: redução não-catalítica seletiva (SNCR) e redução catalítica seletiva (SCR).

O Sistema SNCR injeta amônia (NH<sub>3</sub>) ou ureia nos gases de combustão (em uma zona de temperatura específica), para reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>, convertendo a nitrogênio gasoso N<sub>2</sub>. Nesta técnica não se utiliza catalisador para promover a reação de conversão a N<sub>2</sub>, mas somente as condições de temperatura e concentrações de compostos presentes nos gases de combustão.

O sistema SCR, por sua vez envolve a injeção de NH<sub>3</sub> no gás de combustão, na presença de um catalisador, para reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>.

O uso de gás natural gera usualmente baixa emissão de SO<sub>x</sub>, sendo recomendado que as emissões desse poluente sejam estimadas por meio de balanço de massa.

Para o controle de Hidrocarbonetos Totais (HCT) provenientes do uso de gás natural é aconselhável a prática de boa combustão, sendo que, em fontes onde houver um grande consumo de combustível medidas adicionais poderão ser requeridas.

### 3.2. GLP

O Gás liquefeito de petróleo (GLP) é um combustível que consiste de uma mistura de propano e butano. É armazenado como um líquido, sob pressões moderadas. O maior mercado de GLP é o mercado doméstico/comercial, seguido pela indústria química e petroquímica, onde é utilizado como matéria-prima.

Os processos de combustão que utilizam GLP são muito semelhantes aos que usam gás natural, porém, a estequiometria do GLP é diferente da do gás natural.

Os fatores mais significativos que afetam a quantidade de emissão de  $\text{NO}_x$  e as emissões de compostos orgânicos são: o projeto e o ajuste do queimador, parâmetros de funcionamento da fonte de combustão e de ventilação dos gases de combustão. As emissões de  $\text{NO}_x$  dependem de variáveis como temperatura, excesso de ar, mistura ar/combustível e tempo de residência na zona de combustão.

A quantidade de  $\text{SO}_2$  emitida é diretamente proporcional à quantidade de enxofre no combustível, sendo que as emissões de partículas são muito baixas.

### 3.3. ÓLEO DIESEL

O Óleo diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos. É um combustível líquido nas condições ambientes e é formado por correntes destiladas e craqueadas de petróleo. Sua composição elementar possui predominantemente átomos de carbono, hidrogênio e enxofre e, em baixas concentrações, encontram-se ainda, nitrogênio e oxigênio.

É utilizado normalmente em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel). No caso de indústrias, devido a seu alto custo, não é usualmente utilizado em fornos e caldeiras, mas é empregado em geradores de energia, que devem prever sistemas de abatimento de  $\text{NO}_x$  quando estiverem em operação permanente, dependendo de suas características.

### 3.4. ÓLEO COMBUSTÍVEL

Largamente utilizado na indústria para aquecimento de fornos e caldeiras, ou em motores de combustão interna para geração de calor, o óleo combustível é proveniente da destilação das frações do petróleo, designadas de modo geral como frações pesadas, obtidas em vários processos de refino.

A composição bastante complexa dos óleos combustíveis depende não só do petróleo que os originou, como também do tipo de processo e misturas que sofreram nas refinarias, de modo que podem atender as várias exigências do mercado consumidor numa ampla faixa de viscosidade. A concepção da caldeira ou do forno, a geometria das superfícies de transferência de calor,

as condições de atomização e a configuração e tamanho do queimador podem influenciar as emissões.

As emissões de material particulado geradas pela queima de óleo combustível podem ser categorizadas como filtráveis ou condensáveis.

Emissões de óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) são geradas durante a combustão do óleo, a partir da oxidação do enxofre contido no combustível, não sendo afetadas pelo tamanho da caldeira ou tipo do queimador. Em média, mais de 95% do enxofre do combustível é convertido em  $SO_2$ . Cerca de 1 a 5% é adicionalmente oxidado para trióxido de enxofre ( $SO_3$ ), e de 1 a 3% é emitido na forma de partículas de sulfato. O  $SO_3$  facilmente reage com o vapor de água (tanto na atmosfera quanto nos gases de combustão) para formar uma névoa de ácido sulfúrico.

Para os óxidos de enxofre os sistemas de controle de emissões úmidos (lavadores de gases) são os mais comumente aplicados. Sistemas úmidos geralmente usam soluções alcalinas como meio absorvente e podem ser concebidas para remover cerca de 90% dos  $SO_x$ .

Óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) formados em processos de combustão são devidos ao  $NO_x$  térmico (nitrogênio do ar de combustão) ou pela conversão do nitrogênio quimicamente ligado ao combustível ( $NO_x$  do combustível), da mesma maneira citada no item 3.1 deste documento.

Uma série de variáveis influencia o quanto de  $NO_x$  é formado por esses dois mecanismos. Uma variável importante é a configuração da chama. Queima com baixo excesso de ar, recirculação dos gases de combustão, combustão estagiada, pré-aquecimento do ar, queimadores tipo "Low- $NO_x$ " e injeção de vapor podem resultar em reduções de  $NO_x$ .

Técnicas de controle para os poluentes provenientes de combustão de óleo combustível podem ser classificadas em três grandes categorias: substituição/alteração de combustível, modificação da combustão e utilização de equipamento de controle de poluição. Essas medidas podem ser adotadas isolada ou conjuntamente, dependendo do caso concreto.

Substituição de combustíveis pode reduzir  $SO_x$  ou  $NO_x$  e envolve queima de um combustível com teor de enxofre inferior ou menor conteúdo de nitrogênio, respectivamente. Material particulado pode ser reduzido quando um óleo combustível mais leve é queimado.

Alteração de óleos combustíveis pesados inclui misturar agentes emulsificantes, para melhor atomização e menores temperaturas de combustão. De acordo com algumas condições, as emissões de  $NO_x$  e MP podem ser significativamente reduzidas.

Modificação de combustão inclui qualquer mudança física ou operacional no forno ou caldeira e é aplicada principalmente para fins de controle de  $NO_x$ , embora, para unidades pequenas, uma redução das emissões de MP pode ser obtida por meio de uma melhor prática de combustão.

Controle pós-combustão por meio de equipamentos de controle de emissões é aplicável para controlar as emissões de MP,  $SO_x$  e  $NO_x$ . As emissões de HCT podem ser significativas dependendo do consumo de óleo e se a queima estiver desregulada.

### **3.5. BIOMASSA**

#### **3.5.1. Biomassa de Cana-de-Açúcar**

Entendem-se como Biomassa de Cana-de-Açúcar os subprodutos da colheita e processamento industrial da cana-de-açúcar, como o bagaço e a palha, esta proveniente de áreas onde a colheita é mecanizada, portanto, sem a queima da palha no campo.

O poluente mais significativo emitido por caldeiras a bagaço é o material particulado, causado em sua maior parte por condições de queima e pelo arraste das partículas (cinzas) devido ao movimento turbulento dos gases. As concentrações de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) são mais baixas do que as dos combustíveis fósseis convencionais devido às características de níveis baixos de enxofre e de nitrogênio associados com o bagaço, porém as taxas de emissão de  $NO_x$  são significativas devido ao volume de combustível utilizado e às temperaturas na zona de queima das caldeiras.

Se a cana é indevidamente lavada ou mal preparada, as características do solo como tamanho de partícula, podem afetar a magnitude de emissões de partículas (MP) da caldeira, uma vez que as partículas do solo que ficam no bagaço podem influenciar o teor de cinzas do bagaço.

Coletor mecânico normalmente tem sido instalado como ciclone simples, ciclone duplo, ou multiciclone. Devido à natureza abrasiva das cinzas volantes do bagaço, o desempenho do coletor mecânico pode se deteriorar ao longo do tempo devido à erosão, se o sistema não for bem conservado, sendo que a eficiência de coleta desses equipamentos tem se mostrado baixa, de 20 a 60%.

Na maioria dos casos, caldeiras que utilizam bagaço de cana como combustível adotam como ECP o multiciclone seguido de um lavador de gases para o controle das emissões de material particulado, o que tem se mostrado adequado para atendimento aos limites da legislação vigente.

Filtros de tecido e precipitadores eletrostáticos não têm sido utilizados de forma significativa para controlar MP de caldeiras a bagaço. Filtros de tecido também representam um risco potencial de incêndio.

Poeiras fugitivas podem ser geradas por operações de tráfego de caminhões, manuseio de cana na usina de açúcar e, principalmente, pela ação de vento nas pilhas de estocagem ao ar livre.

As emissões de  $NO_x$  são ocasionadas principalmente pelo  $NO_x$  térmico e pela grande entrada de ar em excesso para a combustão. As medidas para controle de  $NO_x$  são as já comentadas para os demais tipos de combustível citados neste guia. As emissões de  $SO_x$  e HCT têm se mostrado insignificantes para esse tipo de combustível.

#### **3.5.2 Derivados de Madeira**

Para efeito deste guia, Derivados de Madeira são madeiras em forma de lenha, cavacos, serragem e pó de lixamento.



A principal preocupação de emissão de fontes que utilizam madeira como combustível é o material particulado (MP). Essas emissões dependem principalmente da composição do derivado de madeira utilizado como combustível e do equipamento de controle de emissões. Óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) também podem ser emitidos em quantidades significativas quando certos tipos de resíduos de madeira são queimados ou quando as condições de queima não são adequadas.

Condições de funcionamento de fornos são particularmente importantes quando há queima de resíduos de madeira. Por exemplo, por causa do elevado teor de umidade que pode estar presente nos derivados de madeira, uma área de superfície refratária maior do que o usual é muitas vezes necessária para secar o combustível antes da combustão.

Várias configurações de caldeiras são usadas para a queima de derivados de madeira. Um tipo comum de caldeira utilizada em operações menores é a com grelha. Essa unidade é amplamente utilizada porque pode queimar combustíveis com alto teor de umidade.

A inovação mais recente na queima de madeira é a caldeira de combustão em leito fluidizado (FBC), que consiste em um leito fluidizado composto por partículas inertes, normalmente areia, através do qual o ar é soprado, de modo que o leito se comporta como um fluido.

Os derivados de madeira entram por cima do leito e queimam, tanto na suspensão como quando entram em contato com a cama. Devido à grande massa térmica representada pelas partículas quentes do leito, podem ser utilizados combustíveis com umidade de até 70%. O leito fluidizado também pode lidar com combustíveis sujos (até 30% de material inerte).

O combustível de madeira é queimado mais rápido num leito fluidizado do que em uma grelha, devido ao imediato contato entre o combustível com o material quente do leito. Como resultado, a combustão é rápida e resulta em combustão quase completa da matéria orgânica, minimizando assim as emissões de compostos orgânicos não queimados e material particulado.

Em caldeiras de leito fluidizado, o pré-aquecimento do ar pode ser utilizado para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$ . Nas regiões onde as emissões de  $\text{NO}_x$  devem ser reduzidas para o seu mais baixo nível, a aplicação da redução não catalítica seletiva (SNCR) para caldeiras que utilizam resíduos de madeira pode ser requerida, bem como a aplicação de redução catalítica seletiva (SCR).

A composição de derivados de madeira e as características das emissões resultantes dependem, da origem do derivado de madeira.

Operações de produção de pasta de celulose, por exemplo, produzem grandes quantidades de casca que podem conter mais de 70% em peso de umidade, areia e outros materiais não combustíveis. Como resultado, as caldeiras que utilizam casca em fábricas de celulose podem emitir uma quantidade considerável de partículas para a atmosfera. Por outro lado, algumas atividades, tais como fabricação de móveis, geram um resíduo de madeira limpo, seco (2 a 20 por cento em peso de umidade), que produz níveis de emissões de partículas relativamente baixos, se devidamente queimado.

As emissões de  $\text{NO}_x$  provenientes da queima de casca de madeira molhada são tipicamente inferiores (cerca de metade) em comparação com as emissões de  $\text{NO}_x$  provenientes de madeira seca.

Atualmente, os quatro dispositivos de controle mais comuns utilizados para reduzir as emissões de MP do uso de derivados de madeira são: coletores mecânicos, lavadores de gases, precipitadores eletrostáticos (ESPs) e filtros de tecido.

O uso de coletores mecânicos (multiclone) fornece controle de partículas para muitas caldeiras a lenha. Frequentemente, são utilizados dois multiclones em série, permitindo que o primeiro coletor remova a maior parte do pó e o segundo remova as partículas menores. A eficiência desse arranjo varia de 25 a 65%, considerada baixa para as atuais necessidades de controle.

Os coletores úmidos podem ser utilizados, porém devem estar associados a coletores mecânicos. Precipitadores Eletrostáticos (ESPs) são empregados quando são requeridas eficiências de controle de particulado acima de 90%. Quando utilizados à jusante de coletores mecânicos que removem partículas de maior tamanho, a eficiência de coleta de MP pode chegar a 99%.

Eficiências de coleta de partículas são tipicamente maiores do que 90% em filtros de tecido, porém a desvantagem dos filtros de tecido é o perigo de incêndio decorrente das faíscas e cinzas volantes. Medidas podem ser tomadas para reduzir esse risco, incluindo a instalação, à montante, de um coletor mecânico para remover grandes partículas de combustão das cinzas volantes (“faíscas”).

#### 4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

A primeira medida a ser considerada para fontes de combustão é garantir o excesso de ar requerido, sem infiltrações de ar falso e sem fugas para o exterior, visando a queima completa do combustível. Portanto, controles e manutenções periódicas dos queimadores e exaustores de ar de combustão devem ser realizados e registrados as alterações efetuadas. Além disso, recomendam-se medições periódicas dos gases de combustão ( $\text{O}_2$  e CO) por medidores automáticos, contínuos ou não, em função do porte da caldeira, conforme o item 6 deste documento.

Normalmente, fontes bem operadas, possuem o  $\text{O}_2$  nas faixas citadas abaixo, porém, estas faixas não são obrigatórias, devendo ser utilizadas apenas como referência:

- óleo combustível – 3 a 7%  $\text{O}_2$
- gás natural – 2 a 5%  $\text{O}_2$
- GLP – 2 a 5%  $\text{O}_2$
- bagaço de cana – 6 a 12 %  $\text{O}_2$
- derivados de Madeira – 6 a 13%  $\text{O}_2$

Independentemente do tipo de combustível, todas as fontes de combustão obrigatoriamente deverão atender aos seguintes pontos:

- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte emissora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- controlar o excesso de ar buscando uma boa queima;

- controlar e registrar o consumo de combustível de forma individualizada para cada fonte.

Em plantas onde são utilizados como combustíveis biomassa de cana-de-açúcar ou derivados de madeira, normalmente o armazenamento desses ocorre em pilhas a céu aberto, gerando emissões fugitivas.

Técnicas de controle para as fontes de poeiras fugitivas geralmente envolvem a umidificação, estabilização física ou a redução da velocidade do vento de superfície com quebra-ventos ou enclausuramento da fonte.

Constitui MTPD:

- o armazenamento e manuseio em área protegida da ação de ventos.;
- a transferência por meio de correias transportadoras enclausuradas e providas de sistemas de exaustão e retenção de material particulado (por exemplo, ciclones) nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior;
- o armazenamento de materiais finos em silos fechados, com sistemas de retenção de partículas (por exemplo, filtros de mangas) ou sacos selados.

Na Tabela 01, a seguir, constam técnicas ou equipamentos de controle considerados como MTPD para fontes de combustão, por tipo de combustível e por tipo de poluente.

Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE, se necessário. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO. A descrição sucinta de cada uma das tecnologias de controle citadas na Tabela 01 encontra-se no Anexo I deste guia.

**Tabela 01 – Melhor Tecnologia Prática Disponível por tipo de combustível e poluente**

Técnica ou ECP	Gás Natural	GLP	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Biomassa	
					Cana-de-Açúcar	Derivados de Madeira
Lavador de gases	*	*	MP, SO <sub>x</sub>	MP, SO <sub>x</sub>	MP	MP
Lavador de gases tipo venturi	*	*	MP, SO <sub>x</sub>	MP, SO <sub>x</sub>	MP	MP
Precipitadores eletrostáticos	*	*	*	MP	MP	MP
Filtro de tecido	*	*	MP	MP	MP	MP
Queimador lowNO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	*	*
Recirculação dos gases	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
Redução Catalítica Seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
Redução Não Catalítica Seletiva (SNCR)	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>

(\*) não se aplica

## **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste guia será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

As fontes de combustão estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, e aos padrões de emissão estabelecidos nas Resoluções CONAMA 382/07 e 436/11.

A Resolução CONAMA 436/11, conhecida como “resolução para fontes existentes”, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anterior a 02 de janeiro de 2007. A Resolução CONAMA 382/07, conhecida como “resolução para fontes novas”, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação posteriormente a 02 de janeiro de 2007.

Até a presente data não há limite de emissão estipulado em legislação nacional para o uso de GLP, óleo diesel e combustíveis alternativos em fontes fixas, devendo ser aplicado nesses casos a avaliação das alternativas de melhor tecnologia prática disponível para utilização.

Verifica-se que, para COVs, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

Cabe ressaltar que os valores colocados na Tabela 02 e na Tabela 03, algumas vezes podem ser considerados altos em função da localização da fonte, devendo neste caso ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes possuem, em suas licenças, limites de emissão menores do que os valores estabelecidos no CONAMA, sendo aplicáveis sempre o mais restritos, conforme estabelecido artigo 6º da Resolução CONAMA 436/11.

**Tabela 02 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007**

FONTE		Resolução CONAMA Nº 382/07		
		MP	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
ÓLEO COMBUSTÍVEL (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 3%O <sub>2</sub> )	MW < 10	300	1.600	2.700
	10 ≤ MW ≤ 70	250	1.000	2.700
	MW > 70	100	1.000	1.800
GÁS NATURAL (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 3%O <sub>2</sub> )	MW < 70	-	320	-
	MW ≥ 70	-	200	-
BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR (bagaço e/ou palha) (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 8%O <sub>2</sub> )	MW < 10	280	-	-
	10 ≤ MW ≤ 75	230	350	-
	MW > 75	200	350	-
DERIVADOS DE MADEIRA * (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 8%O <sub>2</sub> )	MW < 10	730**	NA	-
	10 ≤ MW ≤ 30	520**	650	-
	30 < MW ≤ 70	260**	650	-
	> 70MW	130	650	-

(\*) ver definição no item 3.5.2 deste guia

(\*\*) no licenciamento deverão ser estabelecidos, caso a caso, limites de emissão mais restritivos do que os contidos na tabela, após consulta às áreas de apoio.

**Tabela 03 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas antes de 02 de janeiro de 2007**

Fonte		Resolução CONAMA Nº 436/11		
		MP	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
ÓLEO COMBUSTÍVEL (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 3%O <sub>2</sub> )	MW < 10	300	1.600	2.700
	10 ≤ MW ≤ 70	250	1.000	2.700
	MW > 70	100	1.000	1.800
GÁS NATURAL (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 3%O <sub>2</sub> )	10 ≤ MW ≤ 70	-	400	-
	MW > 70	-	320	-
BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR (bagaço e/ou palha) (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 8%O <sub>2</sub> )	MW < 50	520**	-	-
	50 ≤ MW ≤ 100	450**	350	-
	MW > 100	390**	350	-
DERIVADOS DE MADEIRA * (mg/Nm <sup>3</sup> , base seca a 8%O <sub>2</sub> )	MW < 10	730**	NA	-
	10 ≤ MW ≤ 50	520**	650	-
	> 50MW	300**	650	-

(\*) ver definição no item 3.5.2 deste guia

(\*\*) no licenciamento deverão ser estabelecidos, caso a caso, limites de emissão mais restritivos do que os contidos na tabela, após consulta às áreas de apoio.

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima a seguir sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na tabela a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

**Tabela 04 - Frequência e tipo de monitoramento dos gases de combustão aplicável às fontes listadas no PREFE/2014.**

Fonte		Poluente	Monitoramento Descontínuo (Amostragem em chaminé)	Monitoramento Contínuo	
				Monitor Contínuo (CEMS)	Modelo Preditivo (PEMS) **
Fonte de combustão a gás natural ou GLP	< 05 MW *	-	NA	NA	NA
	05 ≤ MW ≤ 30	NO <sub>x</sub>	LOR	NA	NA
	>30 MW	NO <sub>x</sub> e HCT	Bienal	Aplicável	Aplicável
Fontes de óleo combustível	< 05 MW *	MP e NO <sub>x</sub>	NA	NA	NA
	05 ≤ MW < 30	MP e NO <sub>x</sub>	Bienal	NA	NA
	MW >30	MP	Bienal	NA	NA
		SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	NA
Fontes de biomassa derivada de madeira	< 05 MW *	MP	NA	NA	NA
	05 ≤ MW < 10	MP	LOR	NA	NA
	10 ≤ MW ≤ 70	MP	Bienal	NA	NA
		NO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	NA
	MW >70	MP	Anual	NA	NA
		NO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	NA
Fontes de biomassa cana-de-açúcar	< 10 MW *	MP	NA	NA	NA
	10 ≤ MW ≤ 70	MP	Bienal	NA	NA
		NO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	NA
	MW >70	MP	Anual	NA	NA
		NO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	NA

(NA) não se aplica

(LOR) Renovação da Licença de Operação

(\*) as emissões deverão ser estimadas de acordo com a orientação constante do Anexo II deste Guia

(\*\*) PEMS (PREDICTIVE EMISSION MONITORING SYSTEMS) sistema para prever uma concentração de emissões ou taxa de emissão através de modelo de emissão, algoritmo, ou equação que usa dados do processo para gerar uma saída que é proporcional à concentração de emissões ou taxa de emissão. O sistema inclui gravador de dados e sistema de avaliação do sensor.

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES PARA A  
ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Finalidade</b>
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases liberados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração
Lavador de gases tipo venturi	MP e SO <sub>x</sub>	O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes Um lavador venturi consiste em três seções: uma seção convergente, uma seção de garganta, e uma seção divergente. O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta (em conformidade com a equação de Bernoulli). A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da seção convergente. O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. A remoção de partículas e de gás ocorrem na seção da garganta onde o fluxo do gás se mistura com a névoa da solução. A corrente de entrada em seguida, sai através da seção divergente, onde é forçado a abrandar.



**ANEXO II  
CÁLCULO DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE FONTES DE COMBUSTÃO**

Na ausência de dados de amostragem, as emissões podem ser estimadas por meio do emprego dos fatores de emissão.

No que refere aos fatores de emissão, sugerimos que sejam utilizados os da Agência Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, constantes na publicação “Compilation of Air Pollutants Emission Factors - AP 42”, disponível em [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html).

Para o cálculo das emissões potenciais provenientes de queima de combustível em caldeiras, o empreendedor poderá utilizar os fatores de emissão descritos na Tabela 01, a seguir, observando que os dados estimados com base na mesma não consideram a existência de ECPs, devendo, portanto, ser considerada a eficiência esperada desse equipamento de controle para a declaração da emissão.

**Tabela 01 - Fatores de Emissão por Tipo de Combustível**

<b>Tipo de Combustível</b>	<b>FONTE</b>	<b>Unidade do consumo de combustível</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>MP</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>HC</b>
Óleo Combustível Tipo A	Caldeira > 50 t/h de vapor	m <sup>3</sup>	8,0 kg/m <sup>3</sup>	1,45 kg/m <sup>3</sup>	19,19 kg/m <sup>3</sup>	0,13 kg/m <sup>3</sup>
		t	7,84 kg/t	1,46 kg/t	18,18 kg/t	0,127 kg/t
	Caldeira < 50 t/h de vapor	m <sup>3</sup>	6,60 kg/m <sup>3</sup>	1,45 kg/m <sup>3</sup>	19,19 kg/m <sup>3</sup>	0,15 kg/m <sup>3</sup>
		t	6,47 kg/t	1,46 kg/t	18,18 kg/t	0,147 kg/t
Óleo Combustível Tipo B	Caldeira < 50 t/h de vapor	m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>	0,84 kg/m <sup>3</sup>	18,19 kg/m <sup>3</sup>	0,03 kg/m <sup>3</sup>
		t	2,45 kg/t	0,857 kg/t	18,56 kg/t	0,031 kg/t
Óleo Diesel	Caldeira < 50 t/h de vapor	m <sup>3</sup>	2,4 kg/m <sup>3</sup>	0,24 kg/m <sup>3</sup>	17,19 kg/m <sup>3</sup>	0,03 kg/m <sup>3</sup>
		t	2,82 kg/t	0,282 kg/t	20,22 kg/t	0,035 kg/t
Biomassa de cana	Caldeira de qualquer porte	t	0,6 kg/t	7,80 kg/t	-	-
Lenha	Caldeira de qualquer porte	t	0,75 kg/t	4,40 kg/t	0,037 kg/t	0,11 kg/t
		m <sup>3</sup>	0,428 kg/m <sup>3</sup>	2,51 kg/m <sup>3</sup>	0,021 kg/m <sup>3</sup>	0,063 kg/m <sup>3</sup>
Cavaco	Caldeira de qualquer porte	t	0,75 kg/t	23,50 kg/t	0,037 kg/t	0,11 kg/t
		m <sup>3</sup>	0,428 kg/m <sup>3</sup>	13,40 kg/m <sup>3</sup>	0,021 kg/m <sup>3</sup>	0,063 kg/m <sup>3</sup>
Lenha e Cavaco	Caldeira de qualquer porte	t	0,75 kg/t	3,60 kg/t	0,037 kg/t	0,11 kg/t
		m <sup>3</sup>	0,428 kg/m <sup>3</sup>	2,05 kg/m <sup>3</sup>	0,021 kg/m <sup>3</sup>	0,063 kg/m <sup>3</sup>
Gás Natural	Caldeira > 50 t/h de vapor	m <sup>3</sup>	8800 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	48,0kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	9,60 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	28,0 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
		m <sup>3</sup>	2240 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	219,00 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	9,60 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	92,0 kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
GLP	Caldeira de qualquer porte	m <sup>3</sup>	2,50 kg/m <sup>3</sup>	0,07 kg/m <sup>3</sup>	0,0125 kg/m <sup>3</sup>	0,06 kg/m <sup>3</sup>

Para a elaboração da “Tabela- Fatores de Emissão por Tipo de Combustível” foram feitas as seguintes considerações:

- teor de enxofre no óleo combustível tipo A e tipo B igual a 1%;
- teor de nitrogênio no óleo combustível tipo A e tipo B igual a 1%;
- SO<sub>x</sub>, equivale a somatória de SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>, expresso como SO<sub>2</sub>;
- teor de umidade do bagaço de cana igual a 50%;

- densidade do óleo combustível tipo A de 1,02 kg/L;
- densidade do óleo combustível tipo B de 0,98 kg/L;
- densidade do óleo diesel de 0,85 kg/L;
- densidade da lenha ou cavaco de 0,57 t/m<sup>3</sup>;

Exemplo de uso da Tabela:

- consumo de 100.000 m<sup>3</sup>/ano de óleo combustível tipo A em caldeira com capacidade nominal superior a 50 t/h de vapor. Emissões estimadas:

$$\text{NO}_x = 100.000 \text{ m}^3/\text{ano} \times 8 \text{ kg/m}^3 = 800.000 \text{ kg/ano} = 800 \text{ t/ano}$$

$$\text{MP} = 100.000 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1,45 \text{ kg/m}^3 = 145.000 \text{ kg/ano} = 145 \text{ t/ano}$$

$$\text{SO}_x = 100.000 \text{ m}^3/\text{ano} \times 19,19 \text{ kg/m}^3 = 1.919.000 \text{ kg/ano} = 1.919 \text{ t/ano}$$

$$\text{HC} = 100.000 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,13 \text{ kg/m}^3 = 130.000 \text{ kg/ano} = 130 \text{ t/ano}$$

- Consumo de 100.000 t/ano de óleo combustível tipo A em caldeira com capacidade nominal superior a 50 t/h de vapor, com lavador de gases como ECP com eficiência de 90% de redução para MP e SO<sub>x</sub>. Emissões estimadas:

$$\text{NO}_x = 100.000 \text{ t/ano} \times 7,84 \text{ kg/t} = 784.000 \text{ kg/ano} = 784 \text{ t/ano}$$

$$\text{MP} = 100.000 \text{ t/ano} \times 1,46 \text{ kg/t} = 146.000 \text{ kg/ano} = 146 \text{ t/ano}; \text{ com eficiência esperada de 90\% pelo ECP} = 14,6 \text{ t/ano como emissão a ser declarada}$$

$$\text{SO}_x = 100.000 \text{ t/ano} \times 18,18 \text{ kg/t} = 1.818.000 \text{ kg/ano} = 1,818 \text{ t/ano}; \text{ com eficiência esperada de 90\% pelo ECP} = 181,8 \text{ t/ano como emissão a ser declarada}$$

$$\text{HC} = 100.000 \text{ t/ano} \times 0,127 \text{ kg/t} = 127.000 \text{ kg/ano} = 127 \text{ t/ano}$$

# CAPÍTULO 3

## FERTILIZANTES

### 3

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange as seguintes instalações:

- produção de fertilizantes fosfatados (superfosfato simples e triplo, MAP, DAP, etc.)
- produção de fertilizantes nitrogenados
- misturadoras de fertilizantes
- ácido nítrico,
- amônia,
- ácido sulfúrico e
- ácido fosfórico

O presente guia não abrange os equipamentos listados abaixo e que utilizem combustíveis convencionais (gás natural, GLP, óleo diesel, óleo combustível ou biomassa). Para estes equipamentos deverão ser utilizadas as orientações da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão:

- caldeiras;
- aquecedores de fluído térmico;
- secadores sem contato direto da chama com o produto, e
- fornos sem contato direto da chama com o produto.

## 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, para atendimento ao limite de emissão estabelecido para prevenir ou, se não for praticável a prevenção, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE) e da Agência Ambiental Americana (EPA).

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminé) e demais fontes dentro da indústria de fertilizantes.

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética) e que utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes. Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por unidade produtiva, contemplando os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), amônia ( $NH_3$ ) e fluoreto total (F<sup>-</sup>).

## 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

A indústria de fertilizantes fornece produtos com nutrientes importantes para as plantas, em especial, nitrogênio, fósforo e potássio na forma que estas possam absorver. O nitrogênio é expresso como elemento (N), mas o fósforo e o potássio podem ser expressos como óxido ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) ou como elemento (P, K). O enxofre também é fornecido em grandes quantidades, em parte através dos sulfatos presentes em produtos como os superfosfatos e o sulfato de amônio.

### 3.1 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

Fertilizante fosfatado é o produto resultante do tratamento químico do concentrado fosfático, que apresenta parte do  $P_2O_5$  solúvel disponível para as plantas e que pode ter ainda outros constituintes nutrientes ou micronutrientes agregados, além de estar com a forma e tamanho adequado a sua utilização na agricultura.

Incluem-se, dentre eles: MAP ou fosfato monoamônico; DAP ou fosfato diamônico; TSP ou superfosfato triplo; SSP ou superfosfato simples; fosfato parcialmente acidulado e termofosfato.

O superfosfato simples é obtido na reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico. Na sua produção, a rocha moída é enviada à balança dosadora, posteriormente encaminhada ao misturador, onde é adicionado o ácido sulfúrico diluído (65 a 75%), dando início à reação.

Essa mistura, em forma de polpa, flui continuamente para uma correia de reação, onde ocorre uma reação exotérmica, liberando gases e material particulado. Como resultado dessa reação, a polpa se transforma em um produto sólido de elevada porosidade e baixo peso específico. No final do percurso da correia de reação a camada de superfosfato formada é quebrada por um desintegrador. O produto final é levado ao armazém de cura, onde a reação se complementar.

O superfostato triplo é preparado de maneira similar ao superfostato simples. A rocha fosfática ao invés de ser misturada com o ácido sulfúrico é misturada com ácido fosfórico a 50%.

Após o período de cura existem três alternativas para a comercialização deste produto: vendido a granel, ser ensacado, ser granulado na própria indústria como mistura fertilizantes granulados ou somente granulados.

Na produção de granulados, o superfostato simples e/ou triplo é enviado ao granulador rotativo, onde recebe adição de vapor d'água. Após a granulação, o material é enviado a um secador rotativo, onde é secado por um fluxo de gases quente.

Do secador, o material seco vai para o resfriador passando, em seguida, por peneiras vibratórias onde os finos retornam para o processo através de recírculos, os grossos passam pela moagem e retornam à peneira formando assim um circuito fechado entre a peneira e o moinho. O material dentro das especificações será armazenado para expedição.

Na produção de fertilizantes complexos (NPK), os superfostatos simples e/ou triplos recebem adição de outros nutrientes nitrogenados (amônia, sulfato de amônio e ureia), cloreto de potássio e também ácido fosfórico e ou sulfúrico para fixação do nitrogênio.

Tanto o superfostato simples, como o superfostato triplo, podem ser tratados com a amônia ( $NH_3$ ) para a obtenção dos fosfatos de amônia, sendo os dois tipos principais o DAP e o MAP:

- **DAP** - diamônio fosfato - possui 16% de N, 46% de  $P_2O_5$  solúvel em CNA+água, 38% de  $P_2O_5$  solúvel em água. É muito utilizado nas indústrias de fertilizantes para a formulação de misturas NPK, prontas para aplicação direta no solo.
- **MAP** - monoamônio fosfato - possui 11% de N, 52% de  $P_2O_5$  solúvel em CNA+água, 44% de  $P_2O_5$  solúvel em água. Como o DAP, também é utilizado pelas indústrias de fertilizantes para a produção de misturas NPK. São fosfatos de alta concentração de fósforo, alta solubilidade em água, e baixo custo de produção.

Os fosfatos parcialmente acidulados são obtidos pelo tratamento da rocha fosfatada com menores quantidades de ácidos fosfórico ou sulfúrico. Para os termofosfatos a rocha fosfatada é submetida a um tratamento térmico e adição de compostos magnesianos e sílicos, apresentando características de corretivo de acidez. Nos fertilizantes líquidos utiliza-se o ácido fosfórico neutralizado com amônia, enquanto o potássio é adicionado em quantidades adequadas, conforme a formulação do fertilizante.

**Tabela 01 – Principais fontes de emissões de poluentes – Fertilizantes Fosfatados**

Fonte	Poluente				
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	HF
Armazenamento de matéria-prima e produto final	*				
Granuladores <sup>(1)</sup>	*			*	*
Secadores <sup>(2)</sup>	*	*	*		*
Resfriadores	*				*
Cura	*				*
Transferências	*				
Classificação	*				

(1) As emissões de  $NH_3$  dos granuladores são referentes a plantas de produção de MAP e DAP

(2) As emissões de  $SO_x$  e  $NO_x$  provenientes do secadores está atrelada ao tipo de combustível utilizado nestes equipamentos

### 3.2 FERTILIZANTES NITROGENADOS

Os fertilizantes nitrogenados são compostos químicos que possuem em sua composição o elemento nitrogênio em um formato assimilável pelas plantas, sendo que 97% dos fertilizantes nitrogenados são derivados de amônia.

Reagindo a amônia com dióxido de carbono, o qual é suprido pela própria unidade de amônia de onde é extraído como subproduto, produzimos a ureia. A reação exotérmica entre amônia e ácido sulfúrico gera o sulfato de amônio. A reação exotérmica entre a amônia e o ácido nítrico gera o nitrato de amônio.

Os fertilizantes tipo NPK podem conter:

- nitrogênio, expresso como % de N, em ureia, amônia e/ou formas de nitrato;
- fósforo, normalmente expressa como % de  $P_2O_5$ , em formas solúveis em água e/ou ácidos neutro e/ou minerais amoníaco;
- potássio, geralmente expresso como % de  $K_2O$ , em formas solúveis em água;
- nutrientes secundários, tal como cálcio (CaO), magnésio (MgO), de sódio ( $Na_2O$ ) e/ou de enxofre ( $SO_3$ );
- micronutrientes (zinco, cobre, boro, etc.), e
- outros elementos.

**Tabela 02 – Principais fontes de emissões de poluentes – Fertilizantes Nitrogenados**

Fonte	Poluente				
	MP	SOx	NOx	NH <sub>3</sub>	HF
Evaporação	X			X	
Granulação	X			X	
Perolação	X			X	
Secadores	X				
Resfriadores	X				
Classificação	X				
Transferências	X				

### 3.3 MISTURADORAS DE FERTILIZANTES

As unidades denominadas como misturadora produzem uma série de formulações de fertilizantes e de adubo para aplicação na agricultura, onde fertilizantes fosfatados ou nitrogenados são misturados com micronutrientes, através de misturas físicas, moagem, acerto de granulometria e ensacamento. O produto final ensacado possui granulometria de acordo com as matérias-primas componentes e o uso eficaz para cada tipo de cultura.

Os processos de produção e as matérias-primas utilizadas podem fornecer nutrientes secundários como cálcio, magnésio, sódio e enxofre. Os micronutrientes (boro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco) podem ser incorporados nos fertilizantes ou ser fornecidos sob a forma de especialidades.

**Tabela 03 – Principais fontes de emissões de poluentes – Mistura de Fertilizantes**

Fonte	Poluente				
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	HF
Misturadores	X				
Peneiramento	X				
Moinhos	X				
Transferência	x				
Enscadeira	X				

### 3.4 PRODUÇÃO DE ÁCIDO NÍTRICO

O ácido nítrico é produzido a partir de amônia oxidada com ar sobre telas catalíticas de platina gerando monóxido de nitrogênio (NO), que oxidado com ar vai à dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o qual é absorvido sob pressão em água formando ácido nítrico.

O método de produção de ácido nítrico diluído contempla as seguintes etapas: oxidação, resfriamento, condensação, absorção e branqueamento. Ácido nítrico diluído pode ter concentrações que variam de 30 a 68 por cento de ácido nítrico.

Ácido Nítrico concentrado pode ser produzido a partir de um processo combinado de desidratação/destilação, e posterior condensação para produzir um ácido nítrico de alta concentração a partir de um ácido nítrico diluído. Ácido nítrico de alta concentração geralmente contém mais de 98% de ácido nítrico.

As emissões provenientes da fabricação de ácido nítrico consistem principalmente de NO e NO<sub>2</sub> (que representam emissões visíveis), os quais combinados são designados como NO<sub>x</sub> e, também podendo ter traços de Amônia. Em geral, a quantidade de emissões de NO<sub>x</sub> é diretamente relacionada com a torre de absorção e as duas técnicas mais comuns utilizadas para controlar as emissões de gases da torre de absorção são a otimização da própria absorção e a redução catalítica.

**Tabela 04 – Principal fonte de emissão de poluentes – Ácido Nítrico**

Fonte	Poluente				
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	HF
Torre de Absorção de HNO <sub>3</sub>			x		

### 3.5 PRODUÇÃO DE ÁCIDO SÚLFÚRICO

O ácido sulfúrico é produzido a partir de enxofre, oxigênio e água via processo de contato. Na primeira etapa, o enxofre é queimado ao ar, produzindo dióxido de enxofre.

O dióxido de enxofre, por sua vez, é oxidado a trióxido de enxofre com o uso de oxigênio e na presença de um catalisador de pentóxido de vanádio. Finalmente, o trióxido de enxofre é lavado com água ou uma solução de ácido sulfúrico, com a formação de uma solução de ácido sulfúrico 98-99%:

A dissolução direta de SO<sub>3</sub> em água é impraticável por causa da natureza altamente exotérmica da reação. Forma-se uma névoa ao invés de um líquido. Alternativamente, o SO<sub>3</sub> é absorvido em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para formar oleum (H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), que é então diluído, com a formação de ácido sulfúrico. O oleum reage com água para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.

**Tabela 05 – Principal fonte de emissão de poluentes – Ácido Sulfúrico**

Fonte	Poluente		
	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Torre de absorção de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	*	*	*

### 3.6 PRODUÇÃO DE ÁCIDO FOSFÓRICO

O ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) é produzido por dois processos: úmido ou térmico, sendo que o processo úmido é utilizado na produção de fertilizantes.

Em uma instalação de processo por via úmida, o ácido fosfórico é produzido por reação de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) com a rocha fosfática.

As rotas mais comuns de processo para produção de ácido fosfórico por via úmida são:

- Rota DH (Dihidrato);
- Rota HDH (Hemidrato-Dihidrato).

O processo por via úmida, na rota DH (dihidrato) produz um ácido com concentração de 25 a 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na etapa de reação, podendo o ácido ser concentrado desde 42 a 54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O processo por via úmida, na rota HDH (hemidrato-dihidrato) tem como principais diferenças ao processo DH por produzir um ácido com concentração de 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na etapa de reação, assim como ter duas etapas de produção de gesso:

- Num primeiro estágio há a geração de gesso hemidrato (meia molécula de água);
- Num segundo estágio o gesso é re-hidratado com água e ácido sulfúrico para formar gesso di-hidratado (sulfato de cálcio com duas moléculas de água).

A escolha da rota de processo depende principalmente das características físico-químicas da rocha fosfática.

**Tabela 06 – Principais fontes de emissões de poluentes – Ácido Fosfórico**

Fonte	Poluente				
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	Fluoretos Totais
Reação de formação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	X				X
Filtragem e Concentração	X				X

### 3.7 PRODUÇÃO DE AMÔNIA

A produção de amônia a partir do processo clássico de reforma constitui-se das seguintes etapas:

- O gás de refinaria hidrogenado ou gás natural, previamente dessulfurizado, reage com vapor d'água em um pré-reformador, e em seguida no reformador primário e secundário, em presença de catalisador de Níquel, para reforma a vapor do gás para a produção de hidrogênio.



- O Óxido de Carbono gerado no gás de reforma é convertido em mais hidrogênio pela reação de Shift em duas etapas (conversão de CO a alta e baixa temperatura). Em seguida é purificado com a remoção do Dióxido de Carbono por meio de uma lavagem do gás por uma solução aquosa de Carbonato de Potássio. Em seguida tem-se a metanação (eliminação dos óxidos de carbono residuais).
- O gás de síntese então com o hidrogênio e o nitrogênio na proporção molar 3/1 é comprimido e alimentado à seção de síntese de Amônia sob pressão e temperatura, que consiste num sistema de reatores com remoção intermediária de calor.
- O vapor d'água superaquecido, recuperado da unidade, é utilizado para acionamento das turbinas de todos os compressores centrífugos da planta, ar para reforma, gás de síntese e Amônia para refrigeração.
- A Amônia formada pode ser utilizada internamente em outros processos produtivos e comercializada.

### 3.8 PRODUÇÃO DE FOSFATO BICÁLCICO E MONOCÁLCICO

O Fosfato Bicálcico é obtido da reação entre ácido fosfórico e carbonato de cálcio. Existem dois processos de produção, originando o mesmo produto: circuito aberto e circuito fechado. Já o Fosfato Monocálcico (ou MCPD) é produzido apenas no circuito aberto, por meio da reação entre ácido fosfórico desfluorizado e rocha fosfática moída.

#### ***Circuito aberto:***

Carbonato de cálcio moído é enviado para uma balança dosadora e então para um reator tipo Kuhlmann, onde é adicionado ácido fosfórico diluído (44 a 46% em  $P_2O_5$ ). A mistura, em forma de polpa, segue então para a correia de reação, onde são removidos os gases e o calor gerados na reação, uma vez que a reação é exotérmica. Ao final desta correia há um desagregador que é responsável por quebrar a torta formada na correia reacional.

O material proveniente deste processo encontra-se em estado sólido com cerca de 22% de umidade livre, é enviado para os galpões de cura para a finalização da reação. Após o processo de cura, o material pode ser enviado para a unidade de secagem e moagem, ou para a unidade de granulação e secagem, dependendo da forma final que se deseje o produto: microgranulado ou pó.

No caso da produção de pó, o material curado é enviado para um secador rotativo, onde é seco por um fluxo de gases quentes, seguindo então para uma unidade de moagem, sendo então ensacado e armazenado para expedição.

Para o produto microgranulado, o material curado é enviado ao granulador, onde há adição de água e vapor d'água. Após a granulação segue para um secador rotativo, onde também é secado por fluxo de gases quentes. Do secador o material é enviado a peneiras vibratórias onde os finos retornam para o processo por meio das correntes de reciclo, os grossos passam pela moagem e posteriormente compõe a corrente de reciclo juntamente com os finos. O produto é então enviado para os galpões de armazenagem, podendo ser expedido a granel, ensacado ou em big bags.

Ainda no circuito aberto, pode ser feita a reação que gera fosfato monocálcico. Este produto é preparado de maneira similar ao Fosfato Bicálcico, porém ao invés de se usar carbonato

de cálcio na reação, utiliza-se rocha fosfática. Após curado, o monocálcico é dosado ao Fosfato Bicálcico na unidade de granulação e secagem, seguindo as etapas de produção de microgranulado.

### ***Circuito fechado:***

A maior diferença neste processo reside no fato que não há etapa de cura e isso se deve ao tipo de reator usado no processo. Carbonato de cálcio e ácido fosfórico diluído (40 a 42% em  $P_2O_5$ ) são dosados e enviados ao reator Spinden juntamente com a corrente de reciclo. Seguem então para um secador rotativo e o restante do processo é o mesmo que para o circuito aberto.

## **4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)**

Para melhorar o desempenho ambiental global das indústrias de fertilizantes, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo. Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos obrigatoriamente devem atender aos seguintes requisitos:

- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- deve haver medidor de consumo de combustível de forma individualizada para cada fonte de combustão;
- para as fontes de emissão mais relevantes deve ser implantado monitoramento contínuo dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera como pressão, temperatura e teor de oxigênio, CO e etc;

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritivos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014.

Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da Licença de Operação - LO.

Cabe ressaltar que fontes de combustão, como caldeiras, aquecedores de fluido térmico, secadores sem contato direto da chama com o produto, fornos sem contato direto da chama com o produto e geradores de energia elétrica, não fazem parte deste guia, devendo ser aplicada para estas fontes o Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão.

#### 4.1 MOAGEM DE ROCHA FOSFATADA E PREVENÇÃO DA DISPERSÃO DE POEIRAS DE ROCHA

Considera-se MTPD reduzir as emissões de poeiras na moagem da rocha, com a utilização de filtros de mangas ou cerâmicos, e alcançar níveis de emissão estipulados em licença.

Considera-se MTPD evitar a dispersão de poeiras de rocha fosfatada, utilizando correias transportadoras fechadas ou de arraste em caso de material pulverolento, recorrendo à armazenagem no interior e limpando/varrendo frequentemente as baias e o pavimento da unidade de moagem.

#### 4.2 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

Constitui MTPD para o armazenamento e atividades de transferência:

- o armazenamento e manuseio de matéria-prima sólida em áreas cobertas, portas dotadas com sistema de exaustão e com as laterais fechadas.
- a transferência de matéria-prima ou produto final por meio de correias transportadoras ou de arraste deverá ser fechada e provida de sistemas de exaustão e retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior
- os materiais finos gerados no manuseio deverão ser mantidos em silos fechados, com sistemas de retenção de partículas (por exemplo, filtros de mangas) ou sacos selados.

Considera-se MTPD para a produção de superfosfatos simples e triplos melhorar o desempenho ambiental da seção de acabamento por aplicação de uma ou uma combinação das seguintes técnicas:

- resfriamento do produto com permutadores de placas ou tambores rotativos;
- seleção de crivos e moinhos de tamanho adequado;
- utilização, para controle da reciclagem, de tremonhas ou moegas de espera para a granulação.

Considera-se MTPD reduzir as emissões de fluoretos através da utilização de lavadores (*scrubbers*) com líquidos de lavagem adequados.

Se, além da fabricação de superfosfatos simples ou triplos, se produzir igualmente rocha fosfatada (parcialmente) acidulada (RFPA), considera-se MTPD reduzir o volume de águas residuais, por reciclagem dos líquidos de lavagem (*scrubbing*).

Constitui MTPD para o Pátio de Cura que sejam mantidas as boas práticas como telhado fechado, laterais com cortina, de forma a manter as condições da instalação para não haver emissões fugitivas. Constatando emissões fugitivas, essas devem ser captadas e tratadas.

Considera-se MTPD para a produção de superfosfatos simples e triplos melhorar o desempenho ambiental da seção de Granulação por aplicação de uma ou uma combinação das seguintes técnicas:

- utilização de ciclones e/ou filtros de mangas;
- lavagem (*scrubbing*), por exemplo pelo processo combinado.

#### 4.3 PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

##### 4.3.1 Produção de adubos NPK

Considera-se MTPD da seção de acabamento:

- resfriamento do produto com permutadores de placas ou tambores rotativos,
- seleção de crivos e moinhos (por exemplo moinhos de rolos ou de correntes, de martelos ou de gaiolas) de tamanho adequado;
- utilização, para controle da reciclagem, de tremonhas ou moegas de espera para a granulação;

Considera-se MTPD minimizar as emissões de  $\text{NO}_x$  dos gases de exaustão provenientes da digestão da rocha fosfatada, através de:

- controle rigoroso da temperatura,
- uma relação rocha/ácido apropriada,
- a seleção da rocha fosfatada ou
- o controle de outros parâmetros de processo relevantes.

Considera-se MTPD o uso de lavadores de múltiplos estágios (scrubbing) para reduzir as emissões para a atmosfera proveniente da digestão da rocha fosfatada, da lavagem das areias e da filtração do nitrato de cálcio tetra-hidratado.

Considera-se MTPD reduzir as emissões para a atmosfera provenientes da neutralização, granulação, secagem, revestimento e resfriamento a aplicação das técnicas a seguir indicadas:

- separação de partículas, por exemplo por meio de ciclones e/ou filtros de mangas;
- lavagem (scrubbing), por exemplo pelo processo combinado.

Constitui MTPD para o armazenamento e atividades de transferência:

- o armazenamento e manuseio de matéria-prima sólida em áreas cobertas e com as laterais fechadas.
- a transferência de matéria-prima ou produto final por meio de correias transportadoras deverá ser enclausurada e provida de sistemas de exaustão e retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior
- os materiais finos gerados no manuseio deverão ser mantidos em silos fechados, com sistemas de retenção de partículas (por exemplo, filtros de mangas) ou sacos selados.

### 4.3.2 Produção de ureia e de ureia-nitrato de amônio (UNA)

Considera-se MTPD da seção de acabamento:

- resfriamento do produto com permutadores de placas,
- reencaminhamento dos finos de ureia para a solução de ureia concentrada,
- seleção de crivos e moinhos (por exemplo moinhos de rolos ou de correntes) de tamanho adequado,
- utilização, para controle da reciclagem, de tremonhas de espera para a granulação, ou medição e controle da distribuição granulométrica do produto.

Considera-se MTPD otimizar o consumo total de energia na produção de ureia por aplicação de uma ou uma combinação das seguintes técnicas:

- uso de *stripping*;
- aplicação de processos de *stripping* com reciclagem total;
- no caso das instalações com reciclagem total clássicas já existentes, mudança para a tecnologia de *stripping*, mas apenas se a capacidade da unidade de produção de ureia for significativamente aumentada;

- maior integração térmica das unidades que apliquem processos de *stripping*;
- aplicação da tecnologia de condensação e reação combinadas.

Considera-se MTPD a lavagem (*scrubbing*) de todos os gases de exaustão das seções úmidas, tendo em atenção o limite inferior de explosividade, e a reciclagem, para o processo, das soluções amoniacais resultantes.

Considera-se MTPD reduzir as emissões de partículas e amoníaco provenientes da pulverização *prilling* ou da granulação, utilizando:

- lavagem (*scrubbing*)
- otimização das condições de funcionamento das torres de pulverização *prilling*,
- reutilizar, na própria instalação, o líquido proveniente da lavagem (*scrubbing*).

#### 4.3.3 Produção de nitrato de amônio/nitrato de amônio com calcário (NA/NAC)

Considera-se MTPD otimizar a etapa de neutralização/evaporação por aplicação de uma combinação das seguintes técnicas:

- utilização do calor de reação para pré-aquecer o  $\text{HNO}_3$  e/ou vaporizar o  $\text{NH}_3$ ;
- condensação dos vapores da reação com controle do pH do vapor e/ou condensado para ajuste da razão ácido nítrico/ amônia na reação;
- neutralização a pressão elevada e “exportação” do vapor produzido;
- utilização do vapor produzido para evaporar a solução de nitrato de amônio;
- recuperação do calor residual para refrigerar a água de processo;
- utilização do vapor produzido no tratamento dos condensados do processo;
- instalação de demister ou eliminadores de gotas para purificação do vapor de reação;
- utilização do calor de reação para evaporar mais água.

As alternativas disponíveis para melhorar o desempenho ambiental da seção de acabamento são o resfriamento do produto com permutadores de placas ou resfriadores de leite fluidizado, a reciclagem do ar quente, a seleção de crivos de tamanho adequados para o processo de perolação e moinhos (por exemplo, moinhos de rolos ou de correntes) de tamanho adequado para processos de granulação, utilização para controle da reciclagem de peneiras, de tremonhas de espera para a granulação, ou a medição e controle da distribuição granulométrica do produto.

Considera-se MTPD reduzir as emissões de material particulado e amônia provenientes da perolação ou da granulação, utilizar uma ou mais das seguintes técnicas:

- lavagem (*scrubbing*),
- reciclagem do ar,
- otimização das condições de funcionamento das torres de perolação,
- reutilizar, na própria instalação, o líquido proveniente da lavagem (*scrubbing*), desde que devidamente licenciado.

Considera-se MTPD reduzir as emissões de poeiras provenientes da moagem da dolomita para níveis inferiores a  $10 \text{ mg/Nm}^3$ , nomeadamente através da utilização de filtros de mangas.

### 4.3.4 Produção de Amônia

Considera-se MTPD a aplicação dos:

- processos clássicos de reforma;
- processos com reforma primária reduzida e excesso de ar na reforma secundária;
- processos de reforma autotérmica com permuta de calor;
- oxidação parcial a partir de combustíveis pesados.

Para se alcançarem baixas emissões de NO<sub>x</sub>, devem ser aplicadas técnicas como:

- a redução catalítica seletiva (SCR) ou não seletiva (NSCR) no reformador primário (se a fornalha permitir obter as faixas de temperatura e tempo de retenção necessários),
- a utilização de queimadores com baixa emissão de NO<sub>x</sub>,
- a recuperação da amônia contida nas purgas e nos gases de escape (flash) ou,
- a dessulfuração a baixa temperatura, no caso da reforma autotérmica com permuta de calor,
- baixo teor de amônia no gás de purga injetado,
- injeção de vapor/inertes.

### 4.4 MISTURADORAS DE FERTILIZANTES

As misturadoras de fertilizantes devem evitar ou reduzir as emissões difusas de partículas provenientes do armazenamento, do manuseio e do transporte de materiais utilizando uma das técnicas a seguir indicadas ou várias em combinação:

- instalação de barreiras, em pilhas de armazenagem, para proteção contra o vento ou utilização de barreiras naturais como abrigo;
- controle do teor de umidade do material;
- atenção redobrada aos procedimentos para evitar o manuseio desnecessário dos materiais e descargas longas de materiais em locais desabrigados;
- confinamento adequado em transportadores e tremonhas, etc.;
- exaustão de poeiras e utilização de um sistema de despoeiramento com filtros de mangas para reduzir as fontes de emissão significativas de partículas;
- aplicação de silos de armazenamento com filtros para controlar material particulado;
- utilização de dispositivos totalmente fechados para retirar o material dos silos;
- armazenamento de sucata em áreas com barreira física para minimizar as ações do vento, com piso pavimentado, para reduzir o risco de contaminação do solo;
- havendo emissões fugitivas significativas, estas devem ser captadas e tratadas;
- minimização da interferência nas pilhas de materiais;
- restrição da altura e controle do formato das pilhas de materiais;
- aplicação de armazenamento com paredes de retenção para reduzir a superfície exposta;
- utilização de equipamentos fechados para trituração, moagem e acerto de granulometria, equipados com exaustão eficiente e filtros de mangas, filtros pontuais ou de cartucho para reduzir as emissões de poeiras;
- remoção das partículas nos pontos de transferência entre equipamentos transportadores.

Para a descarga de trens e caminhões, devido à formação de emissões de partículas, utilização de equipamento de descarga dedicado, com *design* essencialmente fechado.

Para os materiais muito finos que possam provocar uma liberação significativa de partículas, deverá:

- utilizar pontos de transferência, crivos vibratórios, trituradores, tremonhas e outros equipamentos idênticos, que possam ser totalmente fechados com exaustão para filtros de mangas;
- utilizar sistemas de limpeza central ou local por vácuo, em vez de lavagem para remover derrames.

#### 4.5 PRODUÇÃO DE ÁCIDO NÍTRICO

Considera-se MTPD:

- recuperar energia: expansão de gases quentes e/ou geração vapor;
- reduzir as emissões durante a partida e paradas programadas das instalações;
- redução catalítica não-seletiva (SNCR);
- reduzir as emissões de  $N_2O$ , por aplicação de uma combinação das seguintes técnicas:
  - otimização da filtração das matérias-primas;
  - otimização da mistura das matérias-primas;
  - otimização da distribuição do gás sobre o catalisador;
  - monitoramento do desempenho do catalisador e ajuste do tempo de vida do mesmo;
  - otimização da relação  $NH_3/ar$ ;
  - otimização da pressão e temperatura da etapa de oxidação;
  - decomposição do  $N_2O$  por extensão da câmara de reação, em novas unidades;
  - decomposição catalítica do  $N_2O$  na câmara de reação;
  - redução combinada da concentração de  $NO_x$  e de  $N_2O$  nos gases residuais.
- reduzir as emissões de  $NO_x$  por aplicação de (uma combinação de) uma das seguintes técnicas:
  - otimização da etapa de absorção;
  - redução combinada da concentração de  $NO_x$  e de  $N_2O$  nos gases residuais;
  - redução catalítica selectiva (SCR);
  - adição de  $H_2O_2$  na última etapa de absorção.

#### 4.6 PRODUÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO

Considera-se MTPD:

- utilizar a energia recuperável: água quente, eletricidade e/ou vapor de co-geração;
- a mudança de absorção simples para absorção dupla;
- processos por via úmida ou uma combinação de processos por via seca e por via úmida;
- o controle e substituição regulares do catalisador (em especial no leito catalítico 1);
- a substituição dos conversores de tijolo por conversores de aço inoxidável;
- uma melhor filtração do ar, por exemplo através de dois andares de filtração (queima de enxofre);
- a manutenção da eficiência dos trocadores de calor;
- a lavagem (*scrubbing*) dos gases residuais (desde que os subprodutos possam ser reciclados na própria instalação);
- monitoramento contínuo dos níveis de  $SO_2$ , necessária para determinar a taxa de conversão do  $SO_2$  e o nível de emissões de  $SO_2$ .

As alternativas disponíveis para se alcançarem baixos níveis de emissão de névoa de  $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$  são:

- a utilização de enxofre com baixo teor de impurezas (em caso de queima de enxofre),
- uma secagem adequada da alimentação gasosa e do ar de combustão (apenas no caso dos processos de contacto por via seca),
- a utilização de maiores superfícies de condensação (apenas no caso do processo catalítico por via úmida),
- uma distribuição e uma taxa de circulação do ácido adequadas,
- a aplicação de filtros de velas de alta eficiência após a absorção,
- o controle da concentração e da temperatura do ácido no absorvedor ou
- a aplicação de técnicas de recuperação/tratamento nos processos, como a precipitação eletrostática (ESP), a precipitação electrostática em fase úmida (WESP) ou a lavagem de gases (*wet scrubbing*).

### 4.7 PRODUÇÃO DE ÁCIDO FOSFÓRICO

Considera-se MTPD para as instalações que utilizem processo por via úmida obter rendimentos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  iguais ou superiores de 88,0 a 95 %, por aplicação de uma das seguintes técnicas ou uma combinação delas:

- processo do di-hidrato ou processo do di-hidrato melhorado;
- aumento do tempo de residência;
- processo de recristalização;
- repulping (re-hidratação e refiltração do gesso);
- utilização de dois andares de filtração;
- reciclagem da água proveniente dos montes de fosfogesso;
- seleção da rocha fosfatada;
- processo do di-hidrato ou processo hemi-hidrato/ di-hidrato, aumento do tempo de residência;
- processo de recristalização, reaproveitamento do fosforo não reagido e refiltração do gesso para a rota HDH;
- seleção da rocha fosfatada, quando possível;
- minimizar as emissões de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel, maximizando a eficiência de filtração e através de reuso de águas contendo  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- reciclagem da água das pilhas de fosfogesso de forma gradual para o processo e para o tratamento na estação de tratamento de efluentes industriais.

Considera-se MTPD para novas instalações obter rendimentos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  iguais ou superiores a 95 %, por exemplo, por aplicação de um processo de recristalização do hemi di hidrato com dois andares de filtração.

Considera-se MTPD para o processo por via úmida minimizar as emissões de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , por aplicação de técnicas como a utilização de separadores de arrasto (quando se utiliza resfriamento à vácuo flash e/ou evaporadores de vácuo) ou de bombas de anel líquido (com reciclagem do líquido do anel para o processo) ou a lavagem (*scrubbing*), com reciclagem do líquido resultante.

Considera-se MTPD reduzir as emissões de fluoretos através da utilização de lavadores (*scrubbers*) com líquidos de lavagem adequados e colunas com recheios ou venturis.

Considera-se MTPD para os processos por via úmida a comercialização do fosfogesso e do ácido



fluorossilícico produzidos ou, caso não exista mercado, deve ocorrer o controle do depósito em áreas definidas e licenciadas. A constituição de pilhas de fosfogesso exige medidas cautelares, bem como a reciclagem da água delas proveniente.

#### **4.8 PRODUÇÃO DE FOSFATO BICÁLCICO E MONOCÁLCICO**

##### **4.8.1 Moagem de Carbonato de Cálcio:**

Considera-se MTPD:

- reduzir as emissões de poeiras na moagem da carbonato de cálcio, com a utilização de filtros de mangas.
- as transferências de material seco, produto ou matéria-prima, devem ser feitas em correias transportadoras enclausuradas ou sistemas similares, evitando a dispersão de poeiras.
- realizar o armazenamento e manuseio de matéria-prima sólida em áreas cobertas, devidamente pavimentadas.

##### **4.8.2 Produção de Fosfato Bicálcico:**

- as transferências de material seco, produto ou matéria-prima, devem ser feitas em correias transportadoras enclausuradas ou sistemas similares, evitando a dispersão de poeiras;
- todas as correntes de reciclo nas unidades devem ser feitas em correias transportadoras enclausuradas ou sistemas similares, evitando a dispersão de particulados;
- o material particulado oriundo da reação e granulação deve ser tratado em lavadores de gases (scrubbers);
- as águas dos lavadores de gases devem ser recicladas e reaproveitadas no processo.
- reduzir as emissões de material particulado para a atmosfera, provenientes da etapa de secagem com a utilização de ciclones e/ou filtros de mangas;
- os sistemas de peneiramento devem ser enclausurados e possuírem filtros de mangas

## **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado pelo responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Cabe ressaltar que os valores colocados nas tabelas a seguir, algumas vezes podem ser considerados altos em função da localização da fonte, devendo, também, neste caso utilizar o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes podem possuir limites de emissão mais restritos do que os valores colocados na tabela a seguir, devendo neste caso, serem observados sempre os limites de emissão licenciados.

No que se refere às fontes das unidades de produção de amoníaco, ureia e ureia-nitrato de amônia não existe até o momento limites de emissão específicos para este tipo de atividade, devendo ser atendidas as exigências de atendimento ao critério de melhor tecnologia prática disponível e demais exigências contidas no licenciamento da fonte

**Tabelas 07 a 10 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007**

Unidades de Produção	Fontes de Emissão	Amônia <sup>(a)</sup>	Fluoretos Totais <sup>(a)</sup>	MP <sup>(a)</sup>
Misturadoras	Misturadoras, peneiramento, transferências	NA	NA	75
Beneficiamento de Concentrado Fosfático	Secagem	NA	NA	150
	Moagem	NA	NA	75
	Transferências	NA	NA	75
Fertilizantes Fosfatatos (exceto MAP e DAP)	Acidulação	NA	0,1 kg/t de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75
	Granulação (granuladores, secadores, resfriadores)			
	Classificação	NA	NA	75
	Transferência	NA	NA	75
Fertilizantes Fosfatados (MAP e DAP)	Neutralização	0,02 kg/t de produto	0,03 kg/t de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75
	Amoniação/ granulação			
	Secadores	NA		
	Resfriadores	NA		
	Classificação	NA	NA	
	Transferência	NA	NA	
Fertilizantes Nitrogenado	Evaporação	60	NA	75
	Granulação		NA	
	Perolação		NA	
	Secadores	NA	NA	
	Resfriadores	NA	NA	
	Classificação	NA	NA	
	Transferência	NA	NA	

(a) expresso em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca, a menos que seja explicitado de outra forma

NA – não aplicável

Produção	Fontes de Emissão	SO <sub>2</sub> <sup>(b)</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>(b)</sup>
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Torre de Absorção de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,0 kg/t de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 100%	0,15 kg/t de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 100%

(b) resultados expressos em base seca

Produção	Fontes de Emissão	Fluoretos Totais <sup>(b)</sup>	MP <sup>(b)</sup>
Ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Reação de formação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,04kg/t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75 mg/Nm <sup>3</sup>
	Filtragem e Concentração		

(b) resultados expressos em base seca

Produção	Fontes de Emissão	NO <sub>x</sub> <sup>(c)</sup>
Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Torre de absorção de HNO <sub>3</sub>	1,6 kg/t de HNO <sub>3</sub> a 100%

(c) resultados expressos como NO<sub>2</sub> em base seca

**Tabela 11 a 14 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas antes de 02 de janeiro de 2007**

Unidades de Produção	Fontes de Emissão	Amônia <sup>(a)</sup>	Fluoretos Totais <sup>(a)</sup>	MP <sup>(a)</sup>
Misturadoras	Misturadoras, peneiramento, transferências	NA	NA	75
Beneficiamento de Concentrado Fosfático	Secagem	NA	NA	150
	Moagem	NA	NA	75
	Transferências	NA	NA	75
Fertilizantes Fosfatatos (exceto MAP e DAP)**	Acidulação	NA	0,10 kg/t de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75
	Granulação (granuladores, secadores, resfriadores)			
	Classificação	NA	NA	75
	Transferência			
Fertilizantes Fosfatados (MAP e DAP)	Neutralização	0,02 kg/t de produto	0,03 kg/t de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75
	Amoniação/ granulação			
	Secadores	NA		
	Resfriadores	NA		
	Classificação	NA	NA	
	Transferência	NA	NA	
Fertilizantes Nitrogenado	Evaporação	60*	NA	75
	Granulação		NA	
	Perolação		NA	
	Secadores	NA	NA	
	Resfriadores	NA	NA	
	Classificação	NA	NA	
	Transferência	NA	NA	

(a) expresso em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca, a menos que seja explicitado de outra forma NA – não aplicável

(\*) não se aplica em unidades de ureia existentes com tecnologia de perolação

(\*\*) não se aplica em unidades de produção de termofosfato

Produção	Fontes de Emissão	SO <sub>2</sub> <sup>(b)</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>(b)</sup>
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) *	Torre de Absorção de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,0 kg/t de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 100%	0,15 kg/t de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 100%

(\*) não se aplicam às plantas de simples absorção convertidas para dupla absorção e plantas de ácido sulfúrico integradas a processos de ustulação de minério.

(b) resultados expressos em base seca

Produção	Fontes de Emissão	Fluoretos Totais <sup>(b) *</sup>	MP <sup>(b)</sup>
Ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Reação de formação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,04kg/t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> alimentado	75 mg/Nm <sup>3</sup>
	Filtragem e Concentração		

(b) resultados expressos em base seca (\*)válido a partir de 2016

Produção	Fontes de Emissão	NO <sub>x</sub> <sup>(c)</sup>
Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> ) *	Torre de absorção de HNO <sub>3</sub>	1,6 kg/t de HNO <sub>3</sub> a 100%

(c) resultados expressos como NO<sub>2</sub> em base seca

(\*) não se aplicam às plantas de baixa pressão ou baixa escala de produção menor que 120 t/dia

### 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima a seguir sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que previstas nas tabelas a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

**Tabelas 15 a 18 – Frequência do monitoramento por amostragem em chaminé**

Produção	Fontes de Emissão	Amônia	Fluoretos Totais	MP
Misturadoras	Misturadoras, peneiramento, transferências	NA	NA	bienal
Beneficiamento de Concentrado Fosfático	Secagem, moagem e transferência	NA	NA	bienal
Fertilizantes Fosfatatos (exceto MAP e DAP)**	Acidulação e Granulação (granuladores, secadores, resfriadores)	NA	anual	anual
	Classificação e Transferência	NA	NA	bienal
Fertilizantes Fosfatados (MAP e DAP)	Neutralização	anual	anual	anual
	Amoniação/ granulação			
	Secadores e Resfriadores	NA	NA	bienal
	Classificação e Transferência	NA	NA	bienal
Fertilizantes Nitrogenado	Evaporação, Granulação, Perolação, Secadores e Resfriadores	anual	NA	anual
	Classificação e Transferência	NA	NA	bienal

Unidades de Produção	Fontes de Emissão	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Torre de Absorção de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	anual	anual

No caso de ácido sulfúrico requer monitoramento contínuo dos níveis de SO<sub>2</sub>, necessária para determinar a taxa de conversão do SO<sub>2</sub> e o nível de emissões de SO<sub>2</sub>.

Unidades de Produção	Fontes de Emissão	Fluoretos Totais	MP
Ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Reação de formação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	anual	anual
	Filtragem e Concentração		

Unidades de Produção	Fontes de Emissão	NO <sub>x</sub>
Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Torre de absorção de HNO <sub>3</sub>	anual

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES  
PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Finalidade</b>
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases libertados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração
Precipitador Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições
Queimadores tipo LowNOX	NO <sub>x</sub>	A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de cabienal (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno. Queimadores tipo Ultra-LowNOx (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NOx para nitrogênio em um leito catalítico por meio de reação com amônia. Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NOx

Técnica ou ECP	Poluente	Finalidade
Redução seletiva não catalítica (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio por meio de uma reação com amônio, ureia, hidrogênio ou hidrocarbonetos a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050 °C (solução de ureia) ou 850 a 950° C (hidróxido de amônio), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação. A faixa de temperatura depende do reagente empregado, sendo que além da temperatura, o tempo de residência também é um parâmetro importante.
Separadores ciclônicos	MP	<p>As partículas são extraídas através de um processo de centrifugação dos gases. Este fenômeno ocorre com a indução de um escoamento rotativo no interior do ciclone. Isto ocorre devido à velocidade com a qual os gases entram tangencialmente na câmara do ciclone, de formato cônico. Sendo muito mais densas que os gases, as partículas tem maior tendência em permanecer na trajetória tangente ao escoamento rotativo e assim colidir com as paredes da câmara. Com as colisões, as partículas perdem velocidade e tendem a se desacoplar do escoamento caindo em direção ao fundo da câmara, de onde são extraídas.</p> <p>A eficiência de remoção de particulado é tão maior quanto maior for o diâmetro médio das partículas e maior for a densidade das mesmas. Partículas finas tendem a sofrer força de arrasto aerodinâmico grande, comparada às forças gravitacionais, permitindo que os gases continuem transportando-as. Em consequência destes limites físicos, os ciclones não permitem coletar partículas muito finas. Em sistemas de limpeza de gases, são sempre empregados em conjunto com precipitadores eletrostáticos ou filtros de mangas</p>

## ANEXO II DEFINIÇÕES PARA EFEITO DESTE GUIA

- **acidulação:** reação entre o concentrado fosfático e um ácido, usualmente sulfúrico ou fosfórico, que tem como objetivo solubilizar o fósforo contido no concentrado para torna-lo assimilável pelas plantas. O principal produto desta reação e o fosfato monocalcico:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ;
- **amoniação/granulação:** etapa do processo de produção dos fosfatos de amônio onde ocorre, simultaneamente, a introdução adicional de amônia e a granulação dos fosfatos de amônio, em tambor rotativo ou amoniador;
- **beneficiamento de concentrado fosfático:** conjunto de operações ou etapas do processo de produção, a partir do beneficiamento de rocha fosfatica e até a obtenção do concentrado fosfatico seco - transferencias, comunicações, classificações e secagem;
- **classificação:** operação destinada a separar fisicamente, por tamanhos, os granulados descarregados do resfriador;
- **concentração:** processo utilizado para aumentar o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  presente no ácido fosforico;
- **concentrado fosfático:** produto resultante do beneficiamento da rocha fosfática contendo, em relação a ela, um teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  mais elevado e menor teor de impurezas. E também denominado concentrado apatítico;
- **DAP:** fosfato diamonico ou diamônio fosfato -  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , fertilizante granulado, resultante da reação entre amônia anidra e ácido fosfórico;
- **fertilizante fosfatado:** produto resultante do tratamento quimico do concentrado fosfatico, que apresenta parte do  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluvel disponivel para as plantas e que pode ter ainda outros constituintes nutrientes ou micronutrientes agregados, alem de estar com a forma e tamanho adequado a sua utilização na agricultura. Incluem-se, dentre eles: MAP ou fosfato monoamônico; DAP ou fosfato diamônico; TSP ou superfosfato triplo; SSP ou superfosfato simples; superfosfato amoniado; fertilizante misto nitrogenado e fosfatado; fosfato parcialmente acidulado; trifosfatos; hexametáfosfato; fosfato de cálcio; superfosfatos concentrados; fosfatos triamônio; fosfato desfluorizado; fosfogesso e termofosfato;
- **fertilizante nitrogenado:** produto derivado da amônia, contendo o nitrogenio como principal nutriente para utilização na agricultura. Incluem-se, dentre os fertilizantes nitrogenados: nitrato de amônio; sulfato de amônio; ureia; cianeto de amônio; sulfonitrato de amônio; nitrato de sodio; dinitrato de amônio e nitrocalcio;
- **filtragem:** processo utilizado para separar o sulfato de calcio hidratado ou fosfogesso do ácido fosforico obtido por meio do processo via úmida;
- **granulação:** processo de aglomeração de particulas onde, mediante a ação de rolamento em tambores ou pratos rotativos, são produzidos fertilizantes em forma de



granulos que, em sequência, são submetidos a secagem, classificação e resfriamento;

- **granulador:** equipamento integrante do processo de granulação, constituído por tambor ou prato rotativo onde são produzidos fertilizantes granulados;
- **MAP:** fosfato monoamônico ou amônio fosfato -  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , fertilizante granulado, resultante da reação entre amônia anidra e ácido fosfórico;
- **misturador:** equipamento destinado a produção de fertilizantes mistos, onde ocorre a mistura física de fertilizantes ou de concentrados, dosados de acordo com formulação especificada, sem que haja reação química ou acréscimo no tamanho das partículas;
- **moagem do concentrado fosfático:** etapa do beneficiamento que consiste em reduzir a granulometria das partículas, com consequente aumento da área de contato, para favorecer as reações do concentrado fosfático com os ácidos;
- **neutralização:** etapa do processo de produção dos fosfatos de amônio, que consiste na reação de neutralização entre o ácido fosfórico e a amônia anidra, líquida ou gasosa, com a formação de uma lama de fosfatos de amônio;
- **peneiramento:** operação destinada a promover a segregação de impurezas, material grosseiro dos fertilizantes e concentrados que são alimentados no misturador;
- **perolação:** processo de formação de partículas sólidas, onde, mediante a ação de queda de gotículas em contra-corrente ao fluxo de ar, são produzidos fertilizantes em forma de perolas que, em sequência, são submetidos a resfriamento, secagem e classificação;
- **reação de formação do ácido fosfórico -  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :** reação de obtenção do ácido fosfórico via úmida, entre o concentrado fosfático e o ácido sulfúrico, em condições especiais de concentração e de temperatura, da qual resulta também a formação do sulfato de cálcio hidratado ou fosfogesso;
- **resfriador:** equipamento integrante do processo de granulação, destinado a promover o resfriamento dos granulados provenientes do secador;
- **rocha fosfática ou fosfatada:** aglomerado de minerais e outras substâncias, que contem um ou mais minerais de fósforo, passíveis de serem aproveitados, quer diretamente como material fertilizante, quer como insumo básico da indústria do fósforo e seus compostos;
- **secador:** equipamento integrante do processo de granulação destinado a remover a umidade contida nos granulados provenientes do granulador;
- **secagem do concentrado fosfático:** etapa do beneficiamento destinada a remoção da umidade contida no concentrado;
- **t de ácido a 100%:** a quantidade de ácido produzido, com base em uma concentração de 100% de ácido em termos de peso. O valor é obtido multiplicando-se a massa de solução (em toneladas) pelo teor de ácido e dividindo por 100;

- **t de  $P_2O_5$  alimentado:** quantidade de  $P_2O_5$ , em toneladas, alimentada em cada unidade de produção de fertilizantes. São fontes de  $P_2O_5$ : concentrado apatítico; MAP; Super Simples; TSP e Ácido Fosfórico;
- **torre de absorção da produção de ácido nítrico -  $HNO_3$ :** unidade da planta de fabricação do ácido nítrico onde, com resfriamento contínuo a água, ocorrem sucessivas oxidações e hidratações do óxido de nitrogênio (NO) que resultam na formação do ácido nítrico;
- **torre de absorção da produção de ácido sulfúrico -  $H_2SO_4$ :** equipamento da planta de fabricação do ácido sulfúrico, localizado anteriormente a chaminé, onde ocorre a absorção do  $SO_3$  (trióxido de enxofre) em ácido sulfúrico diluído;
- **torre de perolação:** equipamento integrante do processo de perolação, constituído de uma torre com chuveiros ou cestos, onde são produzidos fertilizantes perolados; e
- **transferência:** transporte de produto, insumo ou matéria-prima, por qualquer meio, em empreendimento industrial, incluindo carregamento, descarga, recebimento, transportes intermediários (incluindo por correia transportadora e transporte pneumático) e expedição.

## CAPÍTULO 4 PAPEL E CELULOSE

# 4

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange as seguintes instalações:

- produção de pasta química pelo processo Kraft;
- todas as caldeiras de recuperação e fornos de cal utilizadas em fábricas de pasta e de papel.

O presente guia não abrange as seguintes atividades e equipamentos:

- produção de pasta de papel a partir de matérias-primas fibrosas não lenhosas;
- motores de combustão interna estacionários;
- instalações de combustão para a produção de vapor e energia elétrica, exceto caldeiras de recuperação;
- secadores com queimadores internos para máquinas de produção e revestimento de papel.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular

técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE) e Agência Ambiental Americana (EPA).

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminé), as fontes evaporativas (tancagem, estações de tratamento de efluentes industriais, etc.) e demais fontes dentro do processo de papel e celulose.

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética) e que utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes.

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), enxofre reduzido total (ERT), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COVs que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potenciais ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana "California Air Resources Board" link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

### 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

A produção de papel e papelão pode ocorrer a partir da polpa de madeira (fibra celulósica virgem), da reconstituição da polpa de papel reciclado (aparas) ou uma combinação das duas, sendo identificados como unidade integrada, os empreendimentos que compreendem a fábrica de papel e de celulose.

Para transformar a madeira em polpa de celulose, matéria-prima do papel, é necessário separar a lignina, a celulose e a hemicelulose que constituem a madeira. Quase toda a polpa de celulose utilizada no Brasil é produzida a partir de madeira de eucalipto (fibra curta).

Este documento irá focar os critérios de MTPD para o processo de produção de celulose pelo Processo Kraft, em função deste ser o utilizado pelas empresas que fazem parte do PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014. Nesse processo, a madeira é processada, em digestores, com hidróxido de sódio e hidrossulfeto de sódio (licor branco), a alta temperatura e pressão, para dissolver a lignina, e assim, liberar a celulose para ser utilizada como polpa de papel.

Da reação do licor branco com a lignina forma-se o licor negro também conhecido como lixívia, que contém compostos de enxofre reduzido total (ERT). O odor característico da fábrica de Kraft é causado pela emissão de compostos de enxofre reduzido total, dentre os quais os mais comuns são sulfeto de hidrogênio e metil-mercaptana.

O licor negro gerado na digestão possui alto poder calorífico o que torna viável sua utilização como insumo energético; ademais, o processo também permite a recuperação de boa parte das substâncias químicas de digestão. Este licor é concentrado por evaporação (serie de evaporadores aquecidos a vapor) e usado como combustível para a produção de vapor a alta pressão pelas caldeiras de recuperação.

O material inorgânico do fundo da caldeira de recuperação, composto basicamente por carbonato e sulfeto de sódio, são coletados e dissolvidos com licor branco fraco ou água quente, que formam o licor verde.

Após filtração ou decantação para remoção de cinzas e impurezas, é adicionado óxido de cálcio (CaO) ao licor verde, que reage com o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , e forma novamente hidróxido de sódio (NaOH), recompondo o licor branco forte, acrescido de uma lama calcária (carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ ), que é precipitada na reação. Esta é separada e enviada para um Forno de Cal, onde ocorre a calcinação da lama, recuperando o CaO para reutilização no processo e liberando  $\text{CO}_2$ .

No forno de cal ocorre uma reação semelhante com sulfeto de sódio residual na lama de cal, que pode também ser uma fonte potencial de odor. Os digestores, os evaporadores e equipamentos de processo apresentam emissões de gases residuais não condensáveis, compostos basicamente de compostos de enxofre reduzido (ETR), e quantidades menores de sulfeto de hidrogênio, passíveis de geração de odor.

As principais fontes de poluição do ar, por poluente, existentes em processos de produção de papel e celulose, encontram-se na Tabela 01, a seguir. Cabe ressaltar que fontes de combustão, como fornos, caldeiras, aquecedores de fluido térmico, secadores sem contato direto da chama com o produto e geradores de energia elétrica, não fazem parte deste guia, mas, sim, do Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão.

**Tabela 01 – Principais fontes de emissões de poluentes**

Fonte	Poluente				
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	ERT	COV
Caldeira de Recuperação	*	*	*	*	
Forno de Cal	*	*	*	*	
Tanque de Dissolução	*			*	
Estações de Tratamento de Águas Residuárias					*

Para aplicação deste guia, devem ser consideradas as seguintes definições:

- caldeira de recuperação: caldeira aquatubular que utiliza como combustível principal o licor preto concentrado ou outro licor químico consumido na polpação da madeira;
- forno de cal: equipamento usado para produzir cal (CaO) pela calcinação da lama de cal ou outra forma de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ );

- licor branco fraco: solução resultante da lavagem da lama de cal com água ou condensado;
- licor preto fraco, licor negro fraco ou lixivia: denominação geral do licor de saída do digestor, contendo substâncias orgânicas combustíveis da madeira e outras substâncias inorgânicas reativas que são agregadas no digestor;
- licor verde: solução resultante da dissolução do fundido da caldeira de recuperação com o licor branco fraco;
- tanque de dissolução de fundido: tanque na qual o material de fundo da fornalha da caldeira de recuperação e dissolvido em licor branco fraco para formar licor verde.

#### 4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de produção de papel e celulose, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos obrigatoriamente devem atender aos seguintes requisitos:

- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- deve haver medidor de consumo de combustível de forma individualizada para cada fonte de combustão, e
- nas principais fontes de emissão deve ser implantado monitoramento contínuo dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões atmosféricas como pressão, temperatura e teor de oxigênio, CO, etc.

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Cabe ressaltar que os gases não condensáveis (GNC), concentrados e diluídos, gerados nas unidades produtivas do processo de fabricação devem ser coletados e encaminhados ao forno de cal, caldeira de recuperação ou outro sistema de tratamento conforme estabelecido em resoluções CONAMA.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014. Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com

a renovação da LO.

#### 4.1 CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO

Para reduzir as emissões de  $\text{SO}_2$  e ERT de uma caldeira de recuperação, constitui MTPD utilizar uma ou a combinação das técnicas que se seguem.

- aumento do teor de sólidos secos da lixívia e
- lavagem dos gases.

As emissões de  $\text{NO}_x$  de uma caldeira de recuperação dependem dos teores de sólidos secos (TSS) e de nitrogênio presente na lixívia, bem como da quantidade e da combinação de gases não condensáveis (GNC) e outros gases queimados contendo nitrogênio (por exemplo, gases de exaustão do tanque de dissolução, metanol separado dos condensados, etc). Quanto mais elevados forem o TSS e o teor de nitrogênio da lixívia e a quantidade de GNC e de outros gases queimados que contenham nitrogênio, mais altas serão as emissões.

O aumento do teor de sólidos secos (TSS) da lixívia negra resulta numa redução das emissões de  $\text{SO}_2$  e num aumento das emissões de  $\text{NO}_x$ . Por esse motivo, uma caldeira de recuperação com baixos níveis de emissões de  $\text{SO}_2$  pode ter altos índices de emissões de  $\text{NO}_x$ , e vice-versa.

Para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  de uma caldeira de recuperação, constitui MTPD utilizar um sistema otimizado de combustão que inclua todas as características a seguir indicadas:

- otimização da mistura combustível-ar;
- sistemas de alimentação de ar distribuído, por exemplo, por meio da utilização de registros e diferentes pontos de entrada de ar.

Essa técnica é aplicável a caldeiras de recuperação novas e nas remodelações significativas de caldeiras de recuperação existentes, uma vez que podem exigir alterações consideráveis dos sistemas de alimentação de ar e das fornalhas.

Para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  de uma caldeira de recuperação existente, ou nova, constitui MTPD utilizar um sistema otimizado de combustão. Além disso, duas tecnologias de pós-combustão que podem ser aplicadas às caldeiras de recuperação para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  são: redução não-catalítica seletiva (SNCR) e redução catalítica seletiva (SCR). Ao contrário das outras tecnologias de redução de  $\text{NO}_x$ , estas últimas permitem um ajuste da quantidade de  $\text{NO}_x$  a ser abatido dentro dos limites máximos de cada opção adotada (SNCR/ SCR).

Para reduzir as emissões de MP de uma caldeira de recuperação, constitui MTPD a utilização de precipitadores eletrostáticos ou uma combinação destes com lavadores de gases.

#### 4.2 FORNO DE CAL

Para reduzir as emissões de MP dos fornos de cal, constitui MTPD a utilização de precipitadores eletrostáticos ou uma combinação destes com lavadores de gases.

Para reduzir as emissões de  $\text{SO}_2$  de um forno de cal, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas, ou uma combinação das mesmas:

- uso de combustível com baixo teor de enxofre;
- envio limitado de gases não condensáveis para o forno de cal;
- controle do teor de  $\text{Na}_2\text{S}$  nas lamas de cal de alimentação e
- lavagem alcalina dos gases.

Para reduzir as emissões de ERT dos fornos de cal, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a

seguir indicadas, ou uma combinação das mesmas.

- controle do excesso de oxigênio;
- controle do teor de  $\text{Na}_2\text{S}$  das lamas de cal de alimentação;
- combinação de um precipitador eletrostático e de um lavador de gases com meio alcalino.

Para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  dos fornos de cal, constitui MTPD utilizar uma combinação das técnicas que se seguem.

- otimização da mistura combustível-ar;
- utilização de queimadores com baixo nível de  $\text{NO}_x$ ;
- uso de combustível com baixo teor de N;
- utilização da Tecnologia SNCR (Redução Seletiva Não Catalítica) que permite a redução de  $\text{NO}_x$  para nitrogênio, por meio de um reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.

### 4.3 REDUÇÃO DAS EMISSÕES PROVENIENTES DA DESTRUIÇÃO TÉRMICA DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS EM QUEIMADORES ESPECÍFICOS

Para reduzir as emissões de  $\text{SO}_2$  da destruição térmica de gases não condensáveis em pós-queimadores específicos, constitui MTPD utilizar combustíveis de baixo teor de enxofre, boas condições de queima, além de um lavador de gases com meio alcalino. Para reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$ , constitui MTPD a realização de incineração por fases.

### 4.4 EMISSÕES ODORÍFICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Os pontos possíveis de gerar odor são:

- presença do condensado de licor não tratado proveniente das unidades de recuperação;
- tratamento de condensado e sistema de controle de derrame de licores de processo.

Para evitar ou reduzir a emissão de odores provenientes do sistema de tratamento de águas residuárias constitui MTPD utilizar uma combinação das técnicas que se seguem:

- dimensionamento dos processos e dos reservatórios de água de modo a evitar tempos de retenção prolongados, zonas mortas ou zonas de mistura insuficiente nas redes de água e unidades conexas, para impedir a formação de depósitos não controlados e a decomposição de matéria orgânica e biológica;
- operação adequada de estação de tratamento de efluente (ETE), observando parâmetros de projeto, os aspectos operacionais/manutenção e plano de monitoramento relacionados;
- utilizar biocidas, dispersantes ou agentes oxidantes (por exemplo, desinfecção catalítica com peróxido de hidrogênio) para o controle dos odores e da decomposição biológica;
- instalar processos de tratamento internos para reduzir a concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, os possíveis odores na rede de água branca;



- instalar sistemas de efluentes fechados com respiradouros controláveis. Em certos casos, utilizar produtos químicos para reduzir a formação de sulfeto de hidrogênio e promover a sua oxidação nos sistemas de efluentes;
- garantir uma homogeneização suficiente nos tanques de equalização;
- garantir o funcionamento adequado do sistema de coleta de lodo do clarificador secundário e do sistema de bombeamento da recirculação de lamas;
- limitar o tempo de retenção dos lodos nos tanques de armazenagem, mediante o envio contínuo dos mesmos para as unidades de desidratação;
- evitar a armazenagem das águas residuárias nos sistemas de contenção durante mais tempo do que necessário;
- manter as lagoas de emergência vazias;
- se forem utilizados secadores de lodos, tratar os gases de exaustão da secagem térmica dos lodos por lavagem e/ou biofiltração;
- não encaminhar para a torre de resfriamento as águas residuárias com teores de compostos reduzidos de enxofre (ERT) que possam causar incômodo à vizinhança.

## **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso. A adoção da tecnologia preconizada neste artigo será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

As fontes de combustão estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, e aos padrões de emissão estabelecidos nas Resoluções CONAMA 382/07 e 436/11.

A Resolução CONAMA 436/11, conhecida como “resolução para fontes existentes”, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anterior a 02 de janeiro de 2007. A Resolução CONAMA 382/07, conhecida como “resolução para fontes novas”, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação posteriormente a 02 de janeiro de 2007. Verifica-se que, para COVs, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

Cabe ressaltar que os valores colocados na Tabela 02 e na Tabela 03, a seguir, algumas vezes podem ser considerados altos em função da localização da fonte, devendo neste caso ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes possuem, em suas licenças, limites de emissão menores do que os valores estabelecidos no CONAMA, sendo aplicáveis sempre o mais restritos, conforme estabelecido artigo 6º da Resolução CONAMA 436/11.

**Tabela 02 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007**

Fontes	Res. 382 <sup>(1)</sup>			
	MP	ERT <sup>(2)</sup>	SOx <sup>(2)</sup>	NOx <sup>(3)</sup>
Caldeira de recuperação	100	15	100	470
Tanques de Dissolução <sup>(4)</sup>	0,1	0,008	NA	NA
Forno de Cal	100	30	NA	470

(1) valores expressos em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca a 8% de O<sub>2</sub>, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque de dissolução

(2) expresso como SO<sub>2</sub>

(3) expresso como NO<sub>2</sub>

(4) expresso como kg/tSS (tonelada de sólidos secos)

NA – não aplicável

**Tabela 03 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas antes de 02 de janeiro de 2007**

Fontes	Res. 436 <sup>(1)</sup>			
	MP	ERT <sup>(2)</sup>	SOx <sup>(2)</sup>	NOx <sup>(3)</sup>
Caldeira de recuperação (com capacidade nominal ≤ 2.000 tSS/dia)	240	15	100	470
Caldeira de recuperação (com capacidade nominal > 2.000 tSS/dia)	150	15	100	470
Tanques de Dissolução <sup>(4)</sup>	0,5	0,08	NA	NA
Forno de Cal	180	30	NA	470

(1) valores expressos em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca a 8% de O<sub>2</sub>, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque de dissolução

(2) expresso como SO<sub>2</sub>

(3) expresso como NO<sub>2</sub>

(4) expresso como kg/tSS (tonelada de sólidos secos)

NA – não aplicável

Consta da Resolução CONAMA 382 e da Resolução CONAMA 436 que os gases não condensáveis-GNC, concentrados e diluídos, gerados nas unidades produtivas do processo de fabricação deverão ser coletados e encaminhados ao forno de cal, caldeira de recuperação ou outro sistema de tratamento específico com limite de emissão estabelecido pelo órgão ambiental licenciador.

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PME, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no N<sup>o</sup> 010/2010/P, de 12 de janeiro de

2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46. Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na Tabela 04, a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos.

Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

**Tabela 04 – Frequência e tipo de monitoramento**

Fonte	Poluente	Amostragem em chaminé	Monitor Contínuo
Caldeira de Recuperação	MP	Anual	-
	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável
Forno de Cal	MP	Anual	-
	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável
Tanque de Dissolução	MP	Anual	-
	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA A PREVENÇÃO E CONTROLE DAS  
EMISSÕES PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Descrição Sucinta</b>
Combustíveis com baixo teor de Nitrogênio	NO <sub>x</sub>	A utilização de combustíveis com baixo teor de nitrogênio reduz as emissões de NO <sub>x</sub> provenientes da oxidação de nitrogênio contido no combustível, durante a combustão. A combustão de gases não condensáveis (GNC) ou de combustíveis à base de biomassa aumenta as emissões de NO <sub>x</sub> em relação ao combustível líquido e ao gás natural, dado que os GNC e os combustíveis derivados de madeira contêm mais nitrogênio que o combustível líquido e o gás natural. Devido às mais elevadas temperaturas de combustão, a queima de gás produz níveis de NO <sub>x</sub> mais elevados do que a queima de combustível líquido
Combustível com baixo teor de enxofre	SO <sub>x</sub> e ERT	A utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, da ordem de 0,02--0,05 %, em massa (por exemplo, biomassa florestal, casca, combustíveis líquidos de baixo teor de enxofre, gás) reduz as emissões de SO <sub>2</sub> produzidas durante a combustão pela oxidação do enxofre contido no combustível
Controle do teor de Na <sub>2</sub> S da lama de cal	SO <sub>x</sub> e ERT	A lavagem e a filtração eficientes das lamas de cal baixam a concentração de Na <sub>2</sub> S, reduzindo assim a formação de sulfeto de hidrogênio no forno, durante o processo de calcinação
Destruição térmica de gases não condensáveis (GNC)	SO <sub>x</sub> e ERT	Os gases GNC fortes recolhidos podem ser destruídos por queima numa caldeira de recuperação, em queimadores de ERT específicos ou nos fornos de cal. Os GNC podem ser queimados na caldeira de recuperação, nos fornos de cal, em caldeiras auxiliares ou em um queimador específico.
Incineração por fase	NO <sub>x</sub>	A incineração faseada baseia-se na utilização de duas zonas de combustão. A primeira zona de combustão funciona com condições subestequiométricas, para converter os compostos de amônia em nitrogênio elementar a altas temperaturas. Na segunda zona, uma alimentação de ar adicional permite completar a combustão a uma temperatura inferior. Após a incineração em duas fases, os gases de combustão seguem para uma segunda câmara, com o objetivo de recuperar o calor, produzindo vapor para o processo.

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Redução Catalítica Seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NO <sub>x</sub> para nitrogênio em um leito catalítico por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300 °C e 450 °C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO <sub>x</sub> .
Redução Catalítica Não Seletiva (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio, por meio de um reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050 °C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.
Lavagem alcalina de gases	MP, SO <sub>x</sub> e ERT	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases estão saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuárias e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração.
Precipitador Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições
Redução de razão ar/combustível	NO <sub>x</sub>	A técnica baseia-se principalmente nas seguintes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>• controle cuidadoso do ar utilizado na combustão (evitando o excesso de oxigênio);</li> <li>• minimização das entradas de ar para a fornalha;</li> <li>• alteração do desenho da câmara de combustão da fornalha.</li> </ul>



## CAPÍTULO 5

# INDÚSTRIA QUÍMICA E PETROQUÍMICA

# 5

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange as seguintes instalações:

- produção de Polímeros;
- produção de Especialidades Químicas Inorgânicas;
- fabricação de Produtos de Química Orgânica Fina, e
- petroquímica

O presente guia não abrange os equipamentos listados abaixo, para os quais deverão ser utilizadas as orientações do Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão:

- caldeiras;
- aquecedores de fluido térmico;
- secadores sem contato direto da chama com o produto, e
- fornos sem contato direto da chama com o produto.

## 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE), Agência Ambiental Americana (EPA) e Banco Mundial (World Bank/Environment Department).

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana "California Air Resources Board" link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

## 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

### 3.1 PRODUÇÃO DE POLÍMEROS

As empresas de polímeros produzem uma vasta gama de produtos essenciais, que variam desde produtos de base (commodities) até material de elevado valor agregado, tanto por processos contínuos como descontínuos. São vendidos a empresas de transformação, servindo a uma vasta gama de produtos.

A produção de polímeros inclui poliolefinas, poliestireno, policloreto de vinila, poliésteres insaturados, borrachas de estireno-butadieno polimerizadas em emulsão, borrachas à base de butadieno polimerizadas em solução, poliamidas, fibras de politereftalato de etileno e fibras de viscase.

A química da produção de polímeros consiste em três tipos de reações básicas: polimerização, policondensação e poliadição, sendo que o número de operações/processos envolvidos é relativamente reduzido. Estas incluem:

- a preparação,
- a reação propriamente dita, e
- a separação dos produtos.

Em muitos casos, também ocorrem a refrigeração, aquecimento, aplicação de vácuo ou de pressão.



As principais emissões atmosféricas do setor dos polímeros consistem nas emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs), bem como, em alguns casos, quantidades relativamente elevadas de solventes usados e de resíduos não recicláveis, além do consumo energético. Em face da diversidade do setor e da vasta gama de polímeros produzidos, este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões desse setor, focando nas emissões de MP, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM).

### 3.2 PRODUÇÃO DE ESPECIALIDADES QUÍMICAS INORGÂNICAS

Embora os processos de produção de especialidades químicas inorgânicas sejam extremamente diversos e, por vezes, muito complexos, são, em geral, constituídos por uma combinação de atividades (ou fases de processo) e equipamentos simples. Essas atividades incluem:

- dissolução das matérias primas,
- mistura,
- reação (nomeadamente de síntese) ou um processo de calcinação,
- lavagem,
- secagem,
- moagem/trituração (por via húmida ou seca),
- crivagem,
- condensação,
- destilação,
- evaporação,
- filtração,
- hidrólise,
- extração,
- compactação,
- granulação, e
- briquetagem.

As atividades, listadas acima, podem agrupar-se em cinco fases genéricas que constituem:

- abastecimento de matérias primas,
- manipulação e preparação;
- reação/síntese/calcinação;
- separação e purificação dos produtos;
- armazenagem e manipulação dos produtos.

Os principais problemas ambientais do setor, no que se refere às emissões atmosféricas, compreendem as emissões de partículas para a atmosfera, principalmente poeiras e metais pesados.

As famílias de especialidades químicas inorgânicas contempladas no presente documento são os pigmentos inorgânicos, silicones, negro de fumo, sílica e soda cáustica, em função da lista de empresas que fazem parte do PREFE.

#### 3.2.1 Pigmentos

Esta guia refere-se a pigmentos inorgânicos produzidos na indústria por processos químicos. Embora tenham sido desenvolvidos muitos processos para a produção de uma vasta gama de

pigmentos inorgânicos, esta pode resumir-se a duas etapas principais:

- síntese dos pigmentos, e
- processamento.

A síntese dos pigmentos é efetuada por um processo de precipitação em meio úmido ou um processo de calcinação a seco, cada um dos quais possui um impacto ambiental diferente. O processo em meio úmido necessita de uma quantidade elevada de água e produz um elevado volume de efluentes líquidos, enquanto que a calcinação a seco necessita de menos água, mas de mais energia e produz um maior volume de emissões gasosas.

O processamento dos pigmentos inclui operações de lavagem, secagem, calcinação, mistura/moagem, filtração/crivação e secagem. O processamento dos pigmentos produz emissões para a atmosfera e o meio aquoso. É especialmente preocupante a emissão para a atmosfera de partículas que contêm metais pesados.

### 3.2.2 Silicones

Os silicones constituem uma variedade especial de polímeros. Diferem dos restantes dos polímeros pelo fato da sua estrutura não conter carbono, consistindo numa cadeia em que alternam átomos de silício e de oxigênio.

Existem no mercado milhares de produtos à base de silicone com uma grande variedade de produtos. Os silicones são aplicados em isoladores elétricos, lubrificantes, elastômeros, revestimentos, aditivos de vernizes, tintas e produtos cosméticos.

Este guia abrange os produtos mais importantes, nomeadamente o polidimetilsiloxano (PDMS). A produção de PDMS inclui as seguintes fases: síntese de cloreto de metila, moagem do silício elementar, síntese direta (síntese de Müller-Rochow), destilação e hidrólise/condensação. As principais matérias primas são silício elementar, HCl e metanol, sendo que as principais emissões atmosféricas são material particulado, cloretos e  $\text{NO}_x$ .

### 3.2.3 Negro de Fumo

O Negro de Fumo é constituído por carbono elementar, obtido por meio de combustão controlada de óleos aromáticos, em fornos especiais, sob altas temperaturas.

As matérias primas preferíveis para a produção industrial de negro de fumo são misturas de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos. Por permitirem maiores rendimentos, os hidrocarbonetos aromáticos são mais utilizados do que os hidrocarbonetos alifáticos.

O teor de enxofre da matéria-prima utilizada na produção de negro de fumo é um parâmetro fundamental para a avaliação do impacto ambiental das instalações de negro de fumo.

O processo mais importante na atualidade é o da produção em fornalha, pelo qual se obtém mais de 95 % da produção mundial de negro de fumo. Nesse tipo de processo, as partículas de Negro de Fumo são formadas no fluxo de alta velocidade da fornalha, por camadas sobrepostas de Carbono, que colidindo entre si formam os agregados ou estruturas.

A combinação do tamanho da partícula e do formato do agregado ou estrutura dessas partículas, conferem ao Negro de Fumo as características peculiares de cada tipo.

Cerca de 65 % do consumo mundial de negro de fumo destina-se à produção de pneus e produtos relacionados a indústria automobilística. Cerca de 30 % destina-se a outros produtos de borracha, sendo o restante utilizado em plásticos, tintas de impressão, tintas, papel e outras aplicações.

As emissões esperadas em um processo de produção de negro de fumo são monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), enxofre reduzido total (ERT), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), compostos orgânicos voláteis (COV), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) e metais pesados. Na Tabela 01, a seguir, constam de maneira resumida os pontos do processo de produção de negro de fumo com potencial de emissão para cada um dos poluentes citados.

**Tabela 01 – Pontos do processo de produção de negro de fumo e poluente possível de ser emitido.**

<b>Poluente</b>	<b>Origem</b>
CO e CO <sub>2</sub>	Produto de combustão incompleta no reator
	Produto de combustão incompleta nos secadores, caldeiras, flare, etc.
MP	Emissões fugitivas do armazenamento, transporte, expedição
	Vazamento do sistema de filtros após o reator
	Vazamento do sistema de filtros do despoeiramento
	Emissão de fontes de combustão como caldeira, flare, etc.
SO <sub>x</sub>	Oxidação no reator do enxofre presente na matéria-prima
	Oxidação do enxofre presente no tail-gas
ERT	Decomposição e oxidação parcial dos compostos de enxofre presentes na matéria-prima.
NO <sub>x</sub>	Oxidação no reator do nitrogênio presente na matéria-prima
	NO <sub>x</sub> térmico gerado no reator
	NO <sub>x</sub> presente no combustível utilizado nos secadores, caldeiras, flare, etc.
	NO <sub>x</sub> térmico gerado nos secadores, caldeiras, flare, etc.
	Oxidação pós-tratamento do negro de fumo com NO <sub>2</sub> ou HNO <sub>3</sub>
COV	Decomposição incompleta da matéria-prima no reator
PAH	Decomposição incompleta da matéria-prima
Metais pesados	Traços presentes como impureza na matéria-prima

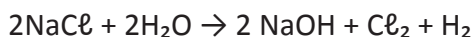
### **3.2.4 Sílica amorfa sintética**

A sílica amorfa sintética é produzida por via térmica (sílica pirogênica, obtida por hidrólise a alta temperatura de clorossilanos) ou úmida (sílica precipitada e sílica-gel, obtidas por precipitação com ácidos de uma solução de silicato de sódio) e é utilizada numa vasta gama de aplicações, como resinas sintéticas, plásticos, borrachas, produtos cosméticos, medicamentos e produtos nutricionais, agentes de enchimento e antiaglomerantes.

### 3.2.5 Produção de Soda Cáustica

O hidróxido de sódio (NaOH), também conhecido como soda cáustica, é um hidróxido cáustico usado na indústria, principalmente como base química, na fabricação de papel, tecidos, detergentes, alimentos e biodiesel. Apresenta ocasionalmente uso doméstico, para a desobstrução de encanamentos e sumidouros, pois dissolve gorduras.

É produzido nas indústrias cloro-álcali por meio da eletrólise aquosa do cloreto de sódio com eletrodos inertes ao mesmo tempo em que é produzido gás cloro no eletrodo positivo e gás hidrogênio no eletrodo negativo.



As principais emissões da produção de soda cáustica são material particulado proveniente do calcinador de minério, resfriador e secador, moagem, granulação e operação de transporte. Emissões de produtos de combustão como  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$  podem ocorrer nos processos de combustão, como fornos de calcinação e secadores.

Material particulado é emitido a partir da produção de soda cáustica, em quantidades limitadas, decorrentes das seguintes etapas:

- manuseio de matérias-primas minerais (coque, calcário)
- queima de calcário nos fornos, mas em quantidades limitadas, uma vez que todo o gás processado no forno, ou parcialmente, é usado na produção de bisoda cáustica
- manuseio do soda cáustica
- densificação de soda cáustica leve (hidratação e desidratação) para produzir soda cáustica densa
- manuseio dos produtos acabados

Em algumas plantas pode ser adicionado  $\text{H}_2\text{S}$  como inibidor de corrosão e este pode ser emitido a atmosfera pelas torres de lavagem.

### 3.3 FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE QUÍMICA ORGÂNICA FINA

Os fabricantes de produtos de química orgânica fina produzem um leque variado de substâncias químicas, normalmente de grande valor agregado, incluindo, por exemplo: produtos fitofarmacêuticos e biocidas, produtos farmacêuticos (obtidos por processos químicos e biológicos), intermediários orgânicos, especialidades tensoativas/surfactantes, aromatizantes, fragrâncias, feromonas, plastificantes, vitaminas, branqueadores ópticos e produtos retardadores de chama em pequenas quantidades, sobretudo por processos descontínuos (“batch”), em instalações não dedicadas (“multipurpose plants”).

O processo produtivo é extremamente diversificado. Contudo, o número de operações/processos utilizados é relativamente reduzido, incluindo, nomeadamente:

- carga e descarga de reagentes e solventes,
- inertizações,
- reações químicas,
- cristalizações,
- separações de fases,

- filtrações,
- destilações e
- lavagem de produtos.

Em muitos casos, também, é necessário refrigeração, aquecimento, a aplicação de vácuo ou de pressão.

As emissões atmosféricas mais significativas nesse setor são as emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs), devido a quantidades relativamente elevadas de solventes usados e uma grande percentagem de resíduos não recicláveis.

### 3.3.1 Formaldeído

O formaldeído tem vasta aplicação na fabricação de vários produtos (por exemplo, resinas, tintas), quer como polímeros a 100% de formaldeído quer como produto de reação em conjunto com outros produtos químicos.

O formaldeído é produzido a partir de metanol, quer por oxidação catalítica em condições de deficiência de ar (“processo de prata”) quer em condições de excesso de ar (“processo de óxido”). Tanto para o processo de prata como para o processo de óxido, o gás de exaustão da coluna de absorção de formaldeído constitui a única corrente contínua de gás residual. Os principais poluentes são formaldeído, metanol, CO e éter dimetílico. Podem ocorrer outras emissões a partir do armazenamento e de vazamento.

## 3.4 PETROQUÍMICA

Petroquímica pode ser descrita, em termos muito simplistas, como uma transformação de produtos de refinaria em vários compostos químicos de base, por meio de uma combinação complexa de operações físicas e químicas, usualmente em fábricas de funcionamento ininterrupto.

Os produtos petroquímicos são habitualmente utilizados em grandes quantidades como matérias-primas na síntese de produtos químicos de alto valor agregado (por exemplo, solventes, plásticos, fármacos). Apesar de os processos de produção de petroquímicos serem extremamente diversificados e complexos, são tipicamente constituídos por uma combinação de atividades e equipamento simples que se baseiam em princípios científicos e de engenharia semelhantes. Na sua maior parte, os processos petroquímicos podem ser descritos em termos de cinco etapas:

- fornecimento/preparação das matérias-primas,
- síntese,
- separação/refino do produto,
- manuseio/armazenamento do produto, e
- redução de emissões.

Os processos petroquímicos localizam-se usualmente em instalações de produção de grandes dimensões e altamente integradas, o que confere vantagens do ponto de vista da flexibilidade do processo, otimização energética, reutilização de produtos secundários e economias de escala.

Os níveis de consumo e emissão são extremamente específicos de cada processo, sendo difíceis de definir e quantificar na ausência de um estudo detalhado.

As características e composição precisas das emissões dependem de vários fatores, tais como: idade da fábrica; composição da matéria-prima; gama de produto; natureza dos intermediários; utilização de materiais auxiliares; condições de processo; grau de prevenção de emissões no próprio processo; técnica de tratamento a jusante e cenário de operações (ou seja, rotineiras, não rotineiras, de emergência).

Os principais poluentes do ar provenientes dos processos petroquímicos são os Compostos Orgânicos Voláteis (COV), mas as emissões de gases de combustão, gases ácidos e partículas podem ser também significativas. Os COV são tipicamente provenientes da ventilação do processo, do armazenamento/transferência de líquidos e gases, de fontes com vazamentos e de ventilação intermitente. A eficiência e custo da prevenção e controle de COV dependerão da espécie de COV, da sua concentração, vazão, origem e as metas estabelecidas no PREFE.

Os COV de exaustão do processo, sempre que possíveis, serem reutilizados no processo, mas tal utilização depende de vários fatores, tais como composição dos COV, quaisquer restrições à sua reutilização e valor dos COV. Em termos gerais, a condensação, absorção e adsorção permitem a captura e recuperação de COV, enquanto as técnicas de oxidação implicam destruição dos COV.

### 3.4.1 Olefinas

As olefinas leves abrangem o maior grupo de compostos químicos de base dentro do setor petroquímico e são utilizadas para uma grande variedade de derivados.

A via de cracking a vapor é responsável por mais de 98% da produção de etileno e 75% da produção de propileno. A alimentação apropriada para a produção de olefinas vai desde gases leves, por exemplo, etano e GLP a produtos líquidos de refinaria (nafta, gasóleo). As alimentações mais pesadas dão geralmente origem a maior proporção de subprodutos (propileno, butadieno, benzeno) e requerem fábricas maiores e mais complexas.

O processo de cracking a vapor é um processo fortemente endotérmico (15 a 50 GJ/t de etileno), e as reações de cracking ocorrem em fornos de pirólise a temperaturas superiores a 800°C. Ao contrário, a recuperação e purificação subsequente dos produtos olefínicos envolvem separação criogênica a temperaturas inferiores a 150°C e pressões de 35 bar.

Os fornos de pirólise queimam gases com baixo teor de enxofre (contendo muitas vezes hidrogênio), pelo que as emissões de combustão ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ ) são responsáveis pela maior parte das emissões de ar do processo. As emissões de dióxido de enxofre e de partículas decorrem da utilização, como combustível, de produtos de menor valor provenientes de cracking (por exemplo, em caldeiras auxiliares ou outros aquecedores de processo) e da combustão de coque depositado nas serpentinas do forno. As emissões de COV podem ser provenientes de processos de combustão, perdas por fugas e perdas locais em ventiladores para a atmosfera.

### 3.4.2 Aromáticos

O termo “aromáticos” abrange benzeno, tolueno, misturas de xilenos, ortoxileno, paraxileno, metaxileno (habitualmente designados por BTX). O benzeno é utilizado na produção de estireno, cumeno e ciclohexano. A maior parte do tolueno é utilizada na produção de benzeno, fenol e diisocianato de tolueno.

O paraxileno é transformado em tereftalato de polietileno (PET), enquanto as misturas de xilenos são utilizadas predominantemente como solventes e o ortoxileno na produção de anidrido ftálico.

Os aromáticos BTX são produzidos a partir de três alimentações principais: produtos de reformação de refinaria, gasolina de pirólise de cracking a vapor e benzol proveniente do processamento de alcatrão de hulha. A alimentação é uma mistura de aromáticos que têm de ser separados e purificados para o mercado de produtos químicos.

No entanto, a produção de aromáticos a partir de alimentação de petroquímicos utiliza alguns ou a totalidade de uma série de processos unitários intimamente relacionados e integrados, que permitem:

- a separação dos produtos aromáticos dos não aromáticos e a separação dos produtos puros, utilizando sofisticados processos de separação físicos (por exemplo, destilação azeotrópica, destilação extrativa, extração líquido-líquido, cristalização por congelamento, adsorção, complexação com  $\text{BF}_3/\text{HF}$ ). Os métodos mais frequentemente utilizados são extração por solventes, seguida de destilação.
- conversão química a produtos de maior valor utilizando técnicas, tais como:
  - tolueno a benzeno por hidrodealkilação (THD ou HDA);
  - tolueno a benzeno e xileno por dismutação de tolueno (TDP);
  - xileno e/ou m-xileno a p-xileno por isomerização

As unidades de produção de aromáticos podem estar localizadas quer em refinarias quer em complexos petroquímicos. As emissões provenientes de fábricas de aromáticos são majoritariamente devidas à utilização de consumíveis (por exemplo, calor, energia, vapor, água de resfriamento) necessários aos processos de separação. Os projetos de processo não incluem, normalmente, exaustão para a atmosfera, pelo que as baixas emissões do processo principal são devidas à eliminação de impurezas, correntes residuais inerentes produzidas durante o processamento e emissões provenientes do equipamento.

### 3.4.3 Óxido de Etileno/ Etilenoglicol

O óxido de etileno (OE) é um intermediário químico fundamental na fabricação de vários produtos importantes. A principal utilização é na produção de etilenoglicóis (EG), mas também na produção de etoxilatos, éteres glicólicos e etanolaminas.

O óxido de etileno é produzido a partir de etileno e oxigênio (ou ar) numa reação em fase gasosa sobre um catalisador de prata. O catalisador não é selectivo a 100 %, pelo que parte da alimentação de etileno é convertida a  $\text{CO}_2$  e água. O calor de reação liberado nos reatores de OE é recuperado na produção de vapor, que é utilizado para fins de aquecimento na fábrica.

No processo com oxigênio, parte do gás de reciclagem proveniente do absorvente de OE

é passado através de uma coluna na qual o dióxido de carbono é removido por absorção. Os etilenoglicóis são produzidos por reação de OE com água a uma temperatura elevada (tipicamente 150-250°C). O principal produto é o monoetilenoglicol (MEG), mas o dietilenoglicol (DEG) e o trietilenoglicol (TEG) são produtos secundários valiosos. O MEG é utilizado sobretudo na produção de fibras de poliéster e de tereftalato de polietileno (PET).

As principais correntes de efluentes do processo de OE/EG são:

- a exaustão de CO<sub>2</sub> permite a purga do CO<sub>2</sub> (e vestígios de etileno e metano) formado no reator de OE. Este é recuperado para venda ou oxidado térmica ou cataliticamente.
- a exaustão de inertes permite a purga dos inertes presentes na alimentação de etileno e de oxigênio. Os gases de exaustão contêm principalmente hidrocarbonetos, pelo que são, tipicamente, utilizados como gás de combustão.

### 3.4.4 Acrilonitrila

O acrilonitrila é um monômero intermediário utilizado mundialmente em várias aplicações. A maior parte da acrilonitrila é utilizada na produção de fibra acrílica, sendo o setor acrilonitrilo-butadieno-estireno o segundo utilizador mais importante.

O processo BP/SOHIO é responsável por 95% da capacidade mundial de produção de acrilonitrila. O processo consiste numa amoxidação exotérmica do propileno, numa fase de vapor, utilizando excesso de amoníaco, na presença de um catalisador de leito fluidizado por ar.

O consumo de matérias-primas e energia pelo processo de acrilonitrila é influenciado por fatores, tais como escolha do catalisador, taxa de produção e configuração do sistema de recuperação da fábrica. As principais matérias-primas são propileno e amoníaco, mas o catalisador de compensação constitui também um consumível significativo.

Os efluentes gasosos da reação contêm produtos não condensáveis (por exemplo, nitrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, propileno, propano), bem como água vaporizada e vestígios de contaminantes orgânicos. No tratamento desta corrente pode ser utilizada oxidação térmica ou catalítica.

### 3.4.5 Dicloreto de Etileno (DCE) e Monômero de Cloreto de Vinila (MCV)

O DCE (1,2-dicloroetileno) é utilizado principalmente na produção de MCV (monômero de cloreto de vinila), sendo este, por sua vez, utilizado quase exclusivamente na fabricação de PVC (policloreto de vinila). O processo DCE/MCV é muitas vezes integrado nos locais de produção de cloro devido às questões relacionadas com o transporte de cloro e pelo fato de a cadeia DCE/MCV/PVC ser a principal consumidora de cloro.

No processo baseado em etileno, o DCE é sintetizado pela cloração do etileno (por cloração direta a temperatura elevada ou baixa) ou por cloração do etileno com HCl e oxigênio (oxicloração). O produto DCE em bruto é lavado, seco e purificado, com encaminhamento dos gases de exaustão para oxidação catalítica ou térmica. O DCE puro e seco é sujeito a cracking térmico em fornos de cracking, para a produção de MCV e HCl, sendo o MCV purificado por destilação (remoção de HCl e de DCE não convertido).



A unidade de MCV é denominada “unidade com balanços equilibrados” quando todo o HCl produzido no cracking de DCE é reutilizado na seção de oxicloração e não há exportação ou importação de DCE ou HCl. As unidades com balanços equilibrados atingem um elevado nível de utilização dos produtos secundários por utilização tanto da cloração direta como da oxicloração na produção de DCE. Existem oportunidades de recuperação de energia e reutilização devido à combinação de reações fortemente exotérmicas (cloração direta e oxicloração) com utilizadores de energia (cracking de DCE e separação de DCE e MCV). As principais matérias-primas são etileno, cloro, oxigênio (ar) e, conforme a configuração do processo, energia.

#### **4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)**

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de indústrias químicas e petroquímicas, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

O lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos.

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014. Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais necessárias para atendimento da meta de cada empreendimento elencado no PREFE.

##### **4.1 ARMAZENAMENTO, MANUSEIO E TRANSPORTE DE MATÉRIA-PRIMA E PRODUTOS**

As indústrias químicas e petroquímicas, de forma geral, devem evitar ou reduzir as emissões difusas de partículas e evaporativas de COVs provenientes do armazenamento, do manuseio e do transporte de materiais utilizando uma das técnicas a seguir indicadas ou várias em combinação.

Considera-se MTPD para material particulado:

- utilização de armazenamento dentro de edifícios ou silos, em vez de armazenamento ao ar livre, sendo que, quando a quantidade não o permitir, o armazenamento deverá ser em áreas cobertas e com as laterais fechadas para proteção contra o vento, com sistema de exaustão e controle das emissões;
- a transferência por meio de correias transportadoras deverá ser fechada e provida de sistemas de exaustão e retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior;

- os materiais finos deverão ser mantidos em silos fechados, com sistemas de retenção de partículas (por exemplo, filtros de mangas) ou sacos selados;
- rigorosos padrões de manutenção dos equipamentos;
- exaustão de poeiras e utilização de um sistema de despoeiramento com filtros de mangas, para reduzir as fontes de emissão significativas de partículas;
- aplicação de veículos de limpeza com baixas emissões para proceder à limpeza de rotina dos acessos pavimentados, preferencialmente, a utilização de equipamento móvel e estacionário de limpeza a vácuo;
- utilização de dispositivos totalmente fechados para retirar o material dos silos;
- para a descarga de trens e caminhões, devido à formação de emissões de partículas, utilização de equipamento de descarga dedicado, com design essencialmente fechado.

Se as matérias-primas e o combustível forem fornecidos por mar, algumas técnicas incluem:

- utilização de navios autodescarregadores ou outros sistemas de descarga contínua fechada. Caso contrário, a poeira gerada pelos sistemas de descarga com garras deve ser minimizada por meio de um conjunto de medidas, nomeadamente garantindo o teor de umidade adequado do material entregue, minimizando a altura de queda de material e utilizando pulverização de água e sistemas de atomização de água à saída da tremonha de descarga de material.

A fim de reduzir as emissões para a atmosfera de COV, provenientes da armazenagem de produtos orgânicos voláteis e de hidrocarbonetos líquidos voláteis, constitui MTPD:

- tanques de teto flutuante munidos de selagem de alta eficiência;
- tanques com teto fixo com selo flutuante;
- tanques com teto fixo ligado a sistemas de recuperação de vapores.

Para inspeções internas, os reservatórios deverão ser esvaziados, limpos e desgaseificados. Constitui MTPD a utilização de um sistema de drenagem fechada ou selada e a remoção do material coletado com o uso de sistema a vácuo.

Para o controle e minimização das emissões fugitivas, constitui MTPD:

- os separadores água-óleo (SAO) e os tanques de recebimentos de águas oleosas da estação de tratamento de despejo industrial (ETDI) deverão ser fechados, se aplicável com sistema de exaustão, e com controle de emissões de COVs.
- operar e manter o sistema de tratamento de efluentes líquidos e tanques de águas pluviais contaminadas de forma a não gerar odor, devendo ser implantado programas de controle e manutenção periódicos dos tanques e lagoas.

#### 4.2 SISTEMA DE TOCHA (FLARE)

As indústrias químicas e petroquímicas, de forma geral, devem evitar as emissões para a atmosfera provenientes da queima em flare. Constitui MTPD utilizar essa técnica apenas por motivos de segurança ou em condições operacionais que não sejam de rotina (por exemplo,

partida e parada).

Para que o flare seja considerado como MTPD, em situações de emergência, deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- realizar uma avaliação da capacidade instalada do flare, incluindo um balanço de massa, visando avaliar se esta é compatível com a capacidade produtiva da planta, devendo ser prevista a adequação dos mesmos.
- implantar uma gestão do flare, incluindo medidas organizacionais e de controle para reduzir os eventos de queima ;
- implantar sistema de monitoramento de vazão e concentração dos gases, temperatura e tempo de operação do flare;
- utilizar dispositivos com concepção adequada de queima, considerando a localização, a altura, a pressão, a utilização de vapor, ar ou gás auxiliar, o tipo de flare, etc.; tendo por objetivo proporcionar um funcionamento confiável e sem fumo e garantir a combustão eficiente dos gases em excesso provenientes de operações não rotineiras

### 4.3 PRODUÇÃO DE POLÍMEROS

As técnicas a considerar como melhor tecnologia prática disponível (MTPD) serão agrupadas em uma seção genérica e em seções específicas de determinados polímeros.

São MTPD genéricas:

- reduzir as emissões fugitivas, recorrendo ao projeto/ design avançado dos equipamentos, incluindo:
  - utilização de válvulas de controle , com selos duplos ou outros equipamentos com idêntica eficiência. As válvulas de controle são especialmente recomendadas em processos que envolvam substâncias altamente tóxicas
  - bombas magnéticas ou herméticas, ou bombas com selos duplos e barreira líquida
  - compressores magnéticos ou herméticos, ou compressores com selos duplos e barreira líquida
  - agitadores magnéticos ou herméticos, ou agitadores com selos duplos e barreira líquida
  - minimização do número de flanges (conectores)
  - juntas eficazes
  - sistemas de amostragem fechados
  - drenagem dos efluentes contaminados em sistemas fechados
  - recolha das correntes de purga/escape (vents)

- reduzir as emissões de poeiras/partículas por meio de uma combinação das seguintes técnicas:
  - transporte em fase densa, mais eficiente na prevenção das emissões de poeiras/partículas que o transporte em fase diluída;
  - redução das velocidades nos sistemas de transporte em fase diluída para valores tão baixos quanto possível;
  - redução da formação de poeiras/partículas nas linhas de transporte mediante o tratamento das superfícies e o alinhamento adequado das tubagens;
  - utilização de ciclones e/ou filtros nos sistemas de exaustão de ar das unidades de despoeiramento. A utilização de sistemas de filtros de mangas é mais eficaz, especialmente para poeiras/partículas de dimensões reduzidas;
  - utilização de dispositivos de lavagem de gases por via úmida (wet scrubbers).
- minimizar as paradas e partidas da fábrica, de forma a evitar picos de emissões e reduzir os consumos globais (por exemplo, de energia e de monómeros por tonelada de produto);
- salvaguardar o conteúdo dos reatores em caso de paradas de emergência (por exemplo mediante o recurso a sistemas de confinamento);
- reciclar os materiais
- utilizar os materiais como combustível, desde que devidamente licenciado;
- tratar as correntes de purga (vents) de silos e dos reatores por recurso a uma ou mais das seguintes técnicas:
  - reciclagem;
  - oxidação térmica;
  - oxidação catalítica;
  - adsorção;
  - queima em flare (apenas para situações emergenciais).
- usar dispositivos de queima em flare para o tratamento das emissões descontínuas do sistema associado ao reator. A queima em flare das emissões descontínuas dos reatores só é MTPD se essas emissões não puderem ser recicladas no processo ou utilizadas como combustível e desde que atendam aos critérios do item 4.2 deste guia;
- utilizar, sempre que possível, a eletricidade e o vapor provenientes de instalações de co geração;
- recuperar o calor de reação por meio da geração de vapor de baixa pressão, em processos ou instalações que possam utilizá-lo internamente ou “exportá-lo”.

#### **4.3.1 Produção de Polietileno (PE)**

São MTPD para a produção de polietileno (PE):

- recuperar os monômeros a partir dos compressores alternativos, nos processos de produção de LDPE (polietileno de baixa densidade), com a finalidade de:
  - reciclá-los por reintrodução novamente no processo e/ou
  - enviá-los para um dispositivo de oxidação térmica.
- recolher os gases de exaustão das extrusoras. Na produção de LDPE, os gases de exaustão da seção de extrusão (vedação posterior da extrusora) são ricos em COV. A exaustão das emissões da seção de extrusão permite reduzir a emissão de monômeros;
- reduzir as emissões das seções de acabamento e de armazenagem, por tratamento das correntes de purga/exaustão;
- operar os reatores com a maior concentração possível de polímero. O aumento da concentração do polímero no reator permite otimizar a eficiência energética global do processo de produção;
- utilizar sistemas de refrigeração em circuito fechado.

#### **4.3.2 Produção de LDPE (polietileno de baixa densidade)**

São consideradas como MTPD:

- operação do reservatório separador de baixa pressão (LPS) à pressão mínima e/ou seleção do solvente;
- extrusão por desvolatilização;
- tratamento da corrente de purga/exaustão proveniente dos silos.

#### **4.3.3 Processos de Suspensão**

São consideradas como MTPD:

- aplicação de sistemas de purga com nitrogênio em circuito fechado;
- otimização do processo de stripping;
- reciclagem dos monômeros a partir do processo de stripping;
- condensação do solvente;
- seleção do solvente.

#### **4.3.4 Processos em Fase Gasosa**

São consideradas como MTPD:

- aplicação de sistemas de purga com nitrogênio em circuito fechado e
- seleção do solvente e do co-monômero.

#### **4.3.5 Processos de Produção de LLDPE (polietileno linear de baixa densidade) em solução**

São consideradas como MTPD:

- condensação do solvente;
- seleção do solvente;
- extrusão por desvolatilização;
- tratamento da corrente de purga/exaustão proveniente dos silos.

#### **4.3.6 Produção de Poliestireno**

São consideradas como MTPD:

- reduzir e controlar as emissões da armazenagem, por uma ou mais das seguintes técnicas:
  - minimização da variação de nível
  - recurso a linhas de equilíbrio de gases
  - utilização de tanques com tetos de cobertura flutuante (apenas para tanques de grande dimensão)
  - instalação de condensadores
  - recuperação das correntes de purga (vents), para tratamento.
- recuperar todas as correntes de purga e os gases de exaustão dos reatores (vents);
- recolher e tratar os gases de exaustão provenientes da peletização. Em geral, os gases libertados na seção de peletização são tratados juntamente com as correntes de purga (vents) dos reatores e as restantes correntes de purga. Esse método só é aplicável aos processos de produção de GPPS (General purpose polystyrene - poliestireno para usos gerais) e HIPS (High impact polystyrene - poliestireno de elevado impacto );
- reduzir as emissões das etapas de preparação nos processos de produção de EPS por uma ou mais das seguintes técnicas (ou por técnicas equivalentes):
  - recurso a linhas de equilíbrio de vapor;
  - condensadores;
  - recuperação das correntes de purga (vents) para tratamento posterior.
- reduzir as emissões do sistema de dissolução nos processos de produção de HIPS por uma ou mais das seguintes técnicas:
  - ciclones para a separação do ar utilizado nos sistemas de transporte;
  - sistemas de bombeamento para concentrações elevadas;
  - sistemas de dissolução em contínuo;
  - linhas de equilíbrio de vapor;
  - recuperação das correntes de purga (vents) para tratamento posterior;
  - condensadores.

#### 4.3.7 Produção de Policloreto de Vinila – PVC

São consideradas como MTPD:

- utilizar instalações de armazenagem adequadas para o VCM (monômero de cloreto de vinila) usado como matéria-prima, concebidas e mantidas de forma a evitar emissões fugitivas, por uma ou mais das seguintes técnicas:
  - armazenar o VCM em tanques refrigerados, à pressão atmosférica;
  - armazenar o VCM em tanques pressurizados, à temperatura ambiente;
  - prevenir as emissões de VCM, equipando os tanques com condensadores de refluxo refrigerados;
  - prevenir as emissões de VCM, equipando os tanques com uma ligação ao sistema de recuperação de VCM ou a equipamentos adequados de tratamento das correntes de purga.
- prevenir as emissões associadas aos sistemas de ligação durante a descarga de VCM por:
  - recurso a linhas de equilíbrio de vapor;
  - exaustão e tratamento do VCM contido nos sistemas de ligação antes da respectiva desconexão.
- reduzir as emissões residuais de VCM provenientes dos reatores por meio de uma combinação adequada das seguintes técnicas:
  - redução da frequência de abertura dos reatores;
  - despressurização dos reatores com encaminhamento da purga para um sistema de recuperação de VCM;
  - drenagem do conteúdo líquido para recipientes fechados;
  - lavagem e limpeza dos reatores com água;
  - drenagem da água de lavagem/limpeza para o sistema de stripping;
  - injeção de vapor e/ou de um gás inerte no reator, com o objetivo de remover quantidades residuais de VCM, transferindo os gases para um sistema de recuperação de VCM.
- utilizar stripping para a suspensão ou o látex, de forma a obter um produto com baixo teor de VCM;
- prevenir as emissões de poeiras/partículas dos processos de secagem com ciclones para PVC em suspensão, filtros de mangas para PVC em micro suspensão e filtros de mangas múltiplas para PVC em emulsão;
- tratar as emissões de VCM do sistema de recuperação por recurso a uma ou mais das seguintes técnicas:
  - absorção
  - adsorção
  - oxidação catalítica
  - incineração

- prevenir e controlar as emissões fugitivas de VCM provenientes das juntas e vedações dos equipamentos
- prevenir as emissões acidentais de VCM com origem nos reatores de polimerização, por recurso a uma ou mais das seguintes técnicas:
  - instrumentação específica de controle para a alimentação dos reatores e as condições operacionais;
  - recurso a sistemas de inibição química para parar a reação;
  - capacidade de refrigeração de emergência para os reatores;
  - sistemas de geração de eletricidade de emergência para as operações de agitação (apenas no caso da utilização de catalisadores insolúveis em água);
  - possibilidade de purga controlada do sistema de recuperação de VCM, em caso de emergência.

### 4.3.8 Produção de Poliésteres Insaturados

São consideradas como MTPD:

- tratar os efluentes gasosos por uma ou mais das seguintes técnicas:
  - tratamento térmico
  - uso de carvão ativado
  - lavadores de gases (scrubbers) com uso de solventes adequados
  - caixas de sublimação.
- encaminhar para tratamento de efluentes industriais as águas residuais provenientes, majoritariamente, da reação.

### 4.3.9 Produção de ESBR (borrachas de estireno-butadieno polimerizadas em emulsão)

São consideradas como MTPD:

- projetar e manter os tanques de armazenagem da instalação, de forma a evitar vazamento; além disso, recorrer a uma ou mais das seguintes técnicas de armazenagem:
  - minimização da variação de nível (apenas para instalações integradas);
  - utilização de linhas de equilíbrio de gases (apenas para tanques situados na proximidade);
  - utilização de tetos com cobertura flutuante (apenas para tanques de grande dimensão);
  - recurso a condensadores para as correntes de purga (vents);
  - stripping do estireno realizado de forma eficiente;
  - recuperação das correntes de purga (vents) para tratamento no exterior (geralmente incineração).
- controlar e minimizar as emissões difusas (fugitivas) por meio das seguintes técnicas ou de técnicas equivalentes:
  - monitoramento das flanges, bombas, empanques, etc;
  - manutenção preventiva;
  - amostragem em circuito fechado;
  - remodelação/melhoramento das instalações: empanques mecânicos em série,



válvulas à prova de fugas, utilização de juntas mais eficientes.

- recolher as correntes de purga (vents) dos equipamentos, para tratamento (geralmente por incineração).

#### **4.3.10 Produção de borrachas à base de butadieno polimerizadas em solução**

São consideradas como MTPD:

- remover os solventes presentes no produto por recurso a uma ou a ambas das seguintes técnicas, ou uma técnica equivalente:
  - extrusão por desvolatilização
  - stripping com vapor.

#### **4.3.11 Produção de Poliamidas**

É considerada como MTPD o tratamento por via úmida (wet scrubbing) dos gases de exaustão dos processos de produção de poliamida.

#### **4.3.12 Produção de fibras de politereftalato de etileno – PET**

São consideradas como MTPD:

- efetuar o pré-tratamento das águas residuais, recorrendo a uma ou mais das seguintes técnicas:
  - stripping
  - reciclagem
  - técnicas equivalentes
- tratar as correntes de efluentes gasosos da produção de PET por oxidação catalítica ou por técnicas equivalentes.

#### **4.3.13 Produção de fibras de viscose**

São consideradas como MTPD:

- operar os dispositivos de fiação em espaços confinados;
- condensar os efluentes gasosos das zonas de fiação, com vista à recuperação de CS<sub>2</sub> e sua reutilização no processo;
- recuperar o CS<sub>2</sub> dos efluentes gasosos por adsorção em carvão ativado. Existem diversas tecnologias para a recuperação do CS<sub>2</sub> por adsorção, em função da concentração de H<sub>2</sub>S nos efluentes gasosos;
- aplicar processos de dessulfuração dos efluentes gasosos baseados na oxidação catalítica com produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;
- utilização de incineradores de leito fluidizado para a queima de resíduos não-perigosos e recuperação do calor para a produção de vapor ou energia.

### **4.4 PRODUÇÃO DE ESPECIALIDADES QUÍMICAS INORGÂNICAS**

As técnicas a considerar como melhor tecnologia prática disponível (MTPD) serão agrupadas em uma seção genérica e em seções específicas de determinadas setores da química inorgânica.

São MTPD genéricas:

- No Síntese/reação/calцинаção:
  - utilização de matérias primas de elevada pureza;
  - melhoramento da eficiência dos reatores;
  - melhoramento dos sistemas catalisadores.
  - adição sequencial das substâncias que participam na reação;
  - minimização das operações de limpeza por meio da otimização das sequências de adição de matérias primas.
- No manuseio e armazenagem dos produtos:
  - reduzir as emissões fugitivas, recorrendo ao projeto/design avançado dos equipamentos;
  - sistemas de amostragem fechados;
  - drenagem dos efluentes contaminados em sistemas fechados;
  - captação das correntes de purga/escape (vents).
  - reduzir as emissões de poeiras/partículas por meio de uma combinação das seguintes técnicas:
    - transporte em fase densa, mais eficiente na prevenção das emissões de poeiras/partículas que o transporte em fase diluída;
    - redução das velocidades nos sistemas de transporte em fase diluída para valores tão baixos quanto possível;
    - redução da formação de poeiras/partículas nas linhas de transporte mediante o tratamento das superfícies e o alinhamento adequado das tubagens;
    - utilização de ciclones e/ou filtros nos sistemas de exaustão de ar das unidades de despoeiramento. A utilização de sistemas de filtros de mangas é mais eficaz, especialmente para poeiras/partículas de dimensões reduzidas;

*Nota: a utilização de filtros de mangas nem sempre é possível, especialmente se for necessário eliminar outros poluentes além das poeiras ou quando os efluentes gasosos estejam úmidos. As partículas em suspensão recuperadas ou removidas são recicladas para reintegração no processo de produção, sempre que possível. O meio de lavagem (scrubbing) deve também ser reciclado sempre que possível.*

- utilização de dispositivos de lavagem de gases por via úmida (wet scrubbers).
- minimizar as paradas e partidas da fábrica, de forma a evitar picos de emissões e reduzir os consumos globais;
- salvaguardar o conteúdo dos reatores em caso de paradas de emergência;
- reciclar os materiais ou utilizá-los como combustível, desde que devidamente acordado e licenciado com a CETESB;
- tratar as correntes de purga (vents) de silos e dos reatores por recurso a uma ou mais das seguintes técnicas:
  - reciclagem;
  - oxidação térmica;
  - oxidação catalítica;
  - adsorção;
  - queima em flare (apenas para situações emergências).

#### 4.4.1 Pigmentos inorgânicos

Constitui MTPD:

- captar e controlar as poeiras nas áreas de trabalho;
- as poeiras removidas devem ser reutilizadas no processo de produção;
- efetuar uma manutenção regular das áreas de trabalho

*Nota: minimizar a emissão de poeiras totais das atividades efetuadas na instalação, de forma a alcançar níveis de emissão de 1–10 mg/Nm<sup>3</sup>, por recurso a dispositivos tais como filtros de mangas, lavadores (scrubbers) por via úmida e precipitadores eletrostáticos. O limite inferior pode ser alcançado por meio de uma combinação do recurso a filtros de mangas com outras técnicas de eliminação. A utilização de filtros de mangas nem sempre é possível, por exemplo, se for necessário eliminar outros poluentes ou se os efluentes gasosos se apresentarem úmidos.*

#### 4.4.2 Silicones

Constitui MTPD:

- minimizar as emissões difusas de poeiras provenientes da armazenagem e da manipulação do silício elementar;
- reduzir as emissões canalizadas de poeiras provenientes da moagem, armazenagem e manipulação do silício elementar e alcançar níveis de emissão de 5 a 20 mg/Nm<sup>3</sup>, nomeadamente por recurso a filtros de mangas, e reciclagem das poeiras capturadas por reintrodução no processo de produção.

#### 4.4.3 Negro de Fumo

Constitui MTPD:

- utilizar matérias primas com baixo teor de enxofre (entre 0,5 % e 1,5 %, em média anual);
- a transferência por meio de correias transportadoras deverá ser enclausurada e provida de sistemas de exaustão e retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior;
- confinamento adequado em transportadores e tremonhas, etc.;
- os materiais finos deverão ser mantidos em silos fechados, com sistemas de retenção de partículas (por exemplo, filtros de mangas) ou sacos selados;
- atenção redobrada aos procedimentos para evitar o manuseio desnecessário dos materiais e descargas longas de materiais em locais desabrigados;
- rigorosos padrões de manutenção dos equipamentos;
- exaustão de poeiras e utilização de um sistema de despoeiramento com filtros de mangas para reduzir as fontes de emissão significativas de partículas;
- aplicação de veículos de limpeza com baixas emissões para proceder à limpeza de rotina dos acessos pavimentados, preferencialmente, a utilização de equipamento móvel e estacionário de limpeza a vácuo;
- utilização de dispositivos totalmente fechados para retirar o material dos silos;
- remoção das partículas nos pontos de transferência entre equipamentos transportadores.

Para a descarga de trens e caminhões, devido à formação de emissões de partículas, utilização de equipamento de descarga dedicado, com design essencialmente fechado.

Considera-se como MTPD para NO<sub>x</sub>:

- operar com temperatura de combustão em todas as áreas de reação abaixo de 1300°C
- diminuir o tempo de residência nas zonas de alta temperatura
- operar com baixo excesso de ar
- utilizar combustível com baixo teor de nitrogênio
- utilizar queimadores tipo LowNo<sub>x</sub>
- reduzir o pré-aquecimento do ar
- instalar sistemas de controle como Redução Catalítica não Seletiva (SNCR) ou Redução Catalítica Seletiva (SCR).

Na indústria de negro de fumo, um dos poluentes mais significativos é material particulado, portanto, é imprescindível a remoção de particulado dos seguintes pontos:

- efluente gasoso do reator
- gás de purga dos secadores de produtos
- sistema de ventilação do transporte pneumático de negro de fumo
- abertura dos sistemas de coleta de poeira
- gases de combustão

Considera-se MTPD para MP:

- filtros de tecido
- precipitador eletrostático

#### 4.4.4 Produção de Soda Cáustica

Considera-se MTPD para MP:

- filtro de tecido
- lavadores de gases
- otimização do manuseio de matéria-prima e produtos:
- encapsulamento da estocagem
- a transferência por meio de correias transportadoras deverá ser enclausurada e provida de sistemas de exaustão e retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior
- equipar os vents com filtro de tecido
- seleção de calcário de qualidade apropriada

Para as emissões de MP, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> provenientes de produtos de combustão deverá ser consultado o Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão.

#### 4.5 FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE QUÍMICA ORGÂNICA FINA

Considera-se MTPD:

- a contenção e confinamento de fontes de emissões e o fechamento de quaisquer aberturas, de modo a minimizar emissões não controladas, para MPt;
- as etapas de secagem devem ser efetuadas utilizando circuitos fechados, incluindo condensadores para a recuperação de solventes;
- a recirculação de vapores de processo, nos casos em que as exigências de pureza o permitirem;
- tomada de medidas para garantia da estanqueidade do equipamento de processo, sobretudo vasos/recipientes/tanques;
- a aplicação de inertização de forma controlada e sem purga desnecessária;

- a minimização do volume de gás de exaustão nos processos de destilação, por otimização do tipo e configuração dos condensadores utilizados;
- a adição pelo fundo de líquidos em recipientes, salvo se a química da reação e/ou considerações de segurança o tornarem impraticável. Nesses casos, a adição do líquido pela parte superior do recipiente, com a conduta orientada para as paredes do mesmo, reduz os salpicos e, portanto, a carga orgânica no gás deslocado;
- se num recipiente forem simultaneamente adicionados sólidos e um líquido orgânico, é MTPD a utilização dos sólidos como cobertura, nos casos em que a diferença de densidades facilita a redução da carga orgânica no gás deslocado, salvo se a química da reação e/ou considerações de segurança o tornar impraticável;
- a minimização de picos de carga e de vazão e dos picos de concentração nas emissões associadas por meio, por exemplo, da otimização da matriz de produção e da aplicação de filtros de estabilização;
- a reutilização de solventes, tanto quanto o permitam as exigências de pureza;
- minimizar a temperatura de armazenamento;
- instrumentação e procedimentos de prevenção de sobreenchimento;
- recuperação do COV de escapes (por condensação, absorção ou adsorção) antes da reciclagem ou destruição por combustão numa unidade de recuperação de energia, incinerador ou flare;
- monitoramento contínuo do nível de líquido e de alterações no nível de líquido;
- carga pela base de modo a evitar respingos;
- dispositivos sensores nos braços de carga para detecção de movimentos indevidas;
- conexões de mangueiras autovedantes/engate de corte seco;
- tubulação de enchimento de tanque que se prolonguem a níveis inferiores à superfície do líquido;
- reciclar os materiais;
- utilizar os materiais como combustível, desde que devidamente licenciados.

#### 4.5.1 Formaldeído

Considera-se como MTPD:

- para os gases de exaustão do absorvente e para os sistemas de armazenamento e carga/descarga, é a recuperação (por exemplo, condensação, lavagem com água) e/ou tratamento numa unidade de incineração catalítica ou central de modo a atingir níveis de emissão de formaldeído  $< 5 \text{ mg/Nm}_3$  (média diária);
- para os efluentes gasosos do absorvente do processo de prata é a recuperação de energia num motor ou num oxidante térmico, de modo a atingir emissões de:
  - monóxido de carbono  $50 \text{ mg/Nm}_3$  como média diária (0,1 kg/t de formaldeído a 100 %);
  - óxidos de nitrogênio (como  $\text{NO}_2$ )  $150 \text{ mg/Nm}_3$  como média diária (0,3 kg/t de formaldeído a 100 %);
- para os efluentes gasosos da reação do processo de óxido é a oxidação catalítica, de modo a atingir emissões de: monóxido de carbono  $< 20 \text{ mg/Nm}_3$  como média diária (0,05 kg/t de formaldeído a 100 %) e óxidos de nitrogênio (como  $\text{NO}_2$ )  $< 10 \text{ mg/Nm}_3$  como média diária;
- para os tanques de armazenamento de metanol é a redução das correntes de

exaustão por meio de técnicas, tais como contra-exaustão durante a carga/descarga;

- para os gases de exaustão do armazenamento de metanol e formaldeído incluem:
  - oxidação térmica/catalítica;
  - adsorção em carvão ativado;
  - absorção em água;
  - reciclagem para o processo;
  - conexão à face de sucção do insuflador de ar de processo.

#### 4.6 PETROQUÍMICA

As técnicas a considerar como melhor tecnologia prática disponível (MTPD) serão agrupadas em uma seção genérica e em seções específicas de determinados grupos de produtos petroquímicos. Além dos pontos citados nos itens 4.1 e 4.2 deste guia, considera-se como MTPD genérica:

- minimizar a temperatura de armazenamento;
- instrumentação e procedimentos de prevenção de sobreenchimento;
- recuperação do COV de escapes (por condensação, absorção ou adsorção) antes da reciclagem ou destruição por combustão numa unidade de recuperação de energia, incinerador ou flare;
- monitoramento contínuo do nível de líquido e de alterações no nível de líquido;
- tubulação de enchimento de tanque que se prolongem a níveis inferiores à superfície do líquido;
- dispositivos sensores nos braços de carga para detecção de movimentos indevidas;
- conexões de mangueiras autovedantes/engate de corte seco.
- a contenção e confinamento de fontes de emissões e o fechamento de quaisquer aberturas, de modo a minimizar emissões não controladas;
- as etapas de secagem devem ser efetuadas utilizando circuitos fechados, incluindo condensadores para a recuperação de solventes;
- a recirculação de vapores de processo, nos casos em que as exigências de pureza o permitirem;
- tomada de medidas para garantia da estanqueidade do equipamento de processo, sobretudo vasos/recipientes/tanques;
- a aplicação de inertização instantânea, em vez de inertização em contínuo;
- a minimização do volume de gás de exaustão nos processos de destilação, por otimização do tipo e configuração dos condensadores utilizados;
- a adição pelo fundo de líquidos em recipientes, salvo se a química da reação e/ou considerações de segurança o tornarem impraticável. Nesses casos, a adição do líquido pela parte superior do recipiente, com a conduta orientada para as paredes do mesmo, reduz os salpicos e, portanto, a carga orgânica no gás deslocado;
- se num recipiente forem simultaneamente adicionados sólidos e um líquido orgânico, é MTPD a utilização dos sólidos como cobertura, nos casos em que a diferença de densidades facilita a redução da carga orgânica no gás deslocado, salvo se a química da reação e/ou considerações de segurança o tornar impraticável;
- a minimização de picos de carga e de vazão e dos picos de concentração nas emissões associadas por meio, por exemplo, da otimização da matriz de produção e da aplicação de filtros de estabilização;

- a reutilização de solventes, tanto quanto o permitam as exigências de pureza;
- reciclar os materiais;
- utilizar os materiais como combustível, desde que devidamente licenciados.

As emissões provenientes de combustão devem atender aos critérios de MTPD constantes do Guia para Fontes de Combustão.

#### 4.6.1 Olefinas

Constitui, de maneira geral, MTPD:

- a manutenção para garantir funcionamento adequado dos fornos de pirólise;
- os fornos devem possuir:
  - sistemas de controle avançados para uma eficiente combustão;
  - possuir queimadores tipo LowNO<sub>x</sub> ou Unidades Catalíticas Seletivas para controle de NO<sub>x</sub>
- remover periodicamente o coque acumulado nos fornos de cracking, utilizando uma mistura de ar/vapor;

#### 4.6.2 Aromáticos

Constitui MTPD uma seleção adequada ou combinação de, entre outras, as seguintes técnicas:

- otimizar a integração energética na fábrica de aromáticos e nas unidades circundantes;
- para fornos, instalar queimadores tipo LowNO<sub>x</sub> ou, no caso de fornos maiores, redução catalítica seletiva (SCR);
- encaminhar os gases de exaustão do processo e as descargas das válvulas de segurança para sistemas de recuperação de gás;
- utilizar sistemas de amostragem de circuito fechado, de modo a minimizar a exposição do operador e a minimizar as emissões durante as etapas de purga anteriores à amostragem;
- utilizar sistemas de aquecimento controlado para fechar a alimentação de calor e encerrar a fábrica de um modo rápido e seguro, de modo a minimizar a exaustão durante ocorrências anômalias graves na fábrica;
- utilizar sistemas de tubulação fechados para a drenagem e exaustão do equipamento que contém hidrocarbonetos antes da sua manutenção, em particular para conteúdos de benzeno >1 % p/p ou de aromáticos >25 % p/p;
- em sistemas nos quais as correntes de processo apresentam conteúdos de benzeno >1 % p/p ou de aromáticos totais >25 % p/p, utilizar bombas blindadas, vedantes simples com purga de gás, vedantes mecânicos duplos ou bombas magnéticas;
- utilizar compressores com vedantes mecânicos duplos, líquidos de vedação compatíveis com o processo, vedantes gasosos ou modelos sem vedante;
- os gases de exaustão da hidrogenação devem ser sujeitos a combustão num forno com capacidade de recuperação de calor;
- com vista à exaustão de gases provenientes de cargas e descargas de produtos aromáticos devem utilizar-se sistemas de exaustão fechados, de carga pela base, e os vapores libertados devem ser encaminhados para uma unidade de recuperação de vapor, queimador ou sistema de flare.

#### 4.6.3 Óxido de Etileno (OE)/ Etilenoglicol

As técnicas de prevenção da perda de OE por falha de integridade estanque, que provoca exposição ocupacional, são também MTPD pois proporcionam proteção ambiental.

A MTPD para exaustão de inertes é a sua transferência para um sistema de gás combustível com vista à recuperação de energia ou a combustão. Se a reação de OE for efetuada com ar em vez de oxigênio puro, a MTPD é a transferência do excesso de inertes para um segundo reator de oxidação, de modo a converter a maior parte do etileno residual em OE.

A MTPD para gases de exaustão contendo OE é:

- lavagem com água até  $<5 \text{ mg OE/Nm}_3$  (média horária) e libertação para a atmosfera, no caso de gases de exaustão de baixo teor em metano e etileno;
- lavagem com água e reciclagem para o processo (para correntes de exaustão com conteúdo considerável em metano e etileno);
- técnicas de minimização (por exemplo, equilíbrio de pressão e retorno de vapor no armazenamento/carga).

#### 4.6.4 Acrilonitrila

A MTPD para o gás de exaustão do absorvente consiste na redução do volume por meio do desenvolvimento de catalisadores mais eficientes e na otimização das condições de reação/funcionamento. Nesse caso, a MTPD é a destruição dos compostos orgânicos (até uma concentração de acrilonitrila  $< 0,5 \text{ mg/Nm}_3$  – média horária) numa instalação para oxidação térmica ou catalítica específica, incinerador ou caldeira, desde que devidamente aprovado pela CETESB. Em qualquer dos casos, a MTPD inclui recuperação de calor, normalmente com produção de vapor.

A MTPD para as várias correntes de exaustão consiste no tratamento no sistema de tratamento do gás de exaustão do absorvente ou no flare, desde que obedecidos os critérios do item 4.2 deste guia. As outras correntes de exaustão podem ser lavadas (até uma concentração de acrilonitrila  $< 5 \text{ mg/Nm}_3$  – média horária), de modo a permitir a reciclagem dos componentes recuperados.

#### 4.6.5 DCE/MCV

A MTPD para os principais gases de exaustão do processo é:

- recuperar etileno, DCE, MCV e outros compostos orgânicos clorados por reciclagem direta; resfriamento/condensação; absorção em solventes ou adsorção em sólidos;
- utilizar oxidação térmica ou catalítica, de modo a atingir concentrações de gases de exaustão de (médias diárias): DCE + MCV  $< 1 \text{ mg/Nm}_3$ , dioxina  $< 0,1 \text{ ng ETDFi/Nm}_3$ , HCl  $< 10 \text{ mg/Nm}_3$ ;
- recuperação de energia e de HCl da combustão dos compostos orgânicos clorados;
- utilização de monitoramento contínuo e em linha das emissões pela chaminé de  $\text{O}_2$  e de CO e amostragem periódica de  $\text{C}_2\text{H}_4$ , MCV, DCE,  $\text{Cl}_2$ , HCl e dioxinas.



A MTPD para gases de fugas consiste na utilização de técnicas que permitam alcançar emissões de hidrocarbonetos clorados voláteis < 5 kg/h, DCE na atmosfera de trabalho <2 ppm e MCV na atmosfera de trabalho <1 ppm.

## **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo, será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

As fontes de emissão provenientes de indústrias químicas e petroquímicas estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, devendo também ser observadas as exigências contidas no Decreto Estadual 59.113/13.

## **6. MONITORAMENTO**

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do

dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

Para a amostragem em chaminé é imprescindível que as emissões estejam captadas em sua totalidade e que as condições de fluxo, localização dos pontos de coleta e diâmetro interno da chaminé estejam de acordo com as normas CETESB para amostragem em chaminé (Normas L9.221, L9.222, L9.223 e L9.224).

ANEXO I  
 DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES  
 PARA A ATMOSFERA

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Absorção Via úmida	COV	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuárias e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração (por exemplo: cabine de pintura com cortina d'água)
Absorção Via seca	COV	Os compostos gasosos são absorvidos em um material poroso como cartuchos de papel
Adsorção com carvão ativado	COVs	Adsorção com carvão ativado é um método de filtragem que utiliza um leito de carvão ativado para remover os contaminantes e impurezas, utilizando adsorção química. O carvão ativado funciona por meio de um processo chamado de adsorção, em que as moléculas poluentes no líquido a ser tratado ficam na superfície dos poros do substrato de carbono.
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases libertados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração
Lavador de gases tipo venturi	MP e SO <sub>x</sub>	O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta (em conformidade com a equação de Bernoulli). A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da seção convergente. O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. A corrente de entrada, em seguida, sai através da seção divergente, onde é forçado a abrandar.
Precipitador Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Queimadores tipo LowNO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno. Queimadores tipo Ultra-LowNO <sub>x</sub> (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.
Recirculação de gases residuais	NO <sub>x</sub>	Uma parte do gás residual é recirculada para o processo, gerando uma redução do consumo de energia.
Recirculação dos gases de combustão	NO <sub>x</sub>	Reinjeção dos gases do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama.
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NO <sub>x</sub> para nitrogênio em um leito catalítico por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300°C e 450°C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO <sub>x</sub> .
Redução seletiva não catalítica (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio, por meio de um reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.
Separadores ciclônicos	MP	As partículas são extraídas por meio de um processo de centrifugação dos gases.. Isto ocorre devido à velocidade com a qual os gases entram tangencialmente na câmara do ciclone, de formato cônico. Sendo muito mais densas que os gases, as partículas tem maior tendência em permanecer na trajetória tangente ao escoamento rotativo e assim colidir com as paredes da câmara. Com as colisões, as partículas perdem velocidade e tendem a se desacoplar do escoamento caindo em direção ao fundo da câmara, de onde são extraídas. A eficiência de remoção de particulado é tão maior quanto maior for o diâmetro médio das partículas e maior for a densidade das mesmas.. Em conseqüência, os ciclones não permitem coletar partículas muito finas. Este sistema de limpeza de gases são sempre empregado em conjunto com precipitadores eletrostáticos ou filtros de mangas
Tratamento Catalítico	COVs	O tratamento catalítico é caracterizado pela destruição de COV sem a presença de chama, a temperaturas entre 200 e 500°C, com a presença de um catalizador.
Tratamento Térmico	COVs	No Tratamento térmico os componentes orgânicos e inorgânicos presentes no ar de exaustão são oxidados e/ou destruídos com a presença de chama, a uma temperatura superior a 700°C. Podem utilizar o poder calorífico do gás a ser tratado e/ou com o uso de combustível gasoso como GLP ou gás natural.

## CAPÍTULO 6

# REFINARIAS DE PETRÓLEO E CALCINAÇÃO DE COQUE

6

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

A indústria do petróleo está organizada em quatro grandes setores: exploração e produção de petróleo bruto e gás natural, transporte, refino e distribuição. Este guia aborda as melhores tecnologias práticas disponíveis apenas para as atividades de refino de petróleo e calcinação de coque de petróleo. Para as bases de armazenamento e distribuição de combustíveis são aplicáveis planos setoriais específicos.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

O guia engloba:

- fontes pontuais de emissão: são aquelas que possuem um dispositivo que direciona as emissões, como por exemplo, uma chaminé ou duto. Estas fontes podem ser fixas ou móveis;

- fontes evaporativas: são aquelas cujas emissões são oriundas da emanação de vapores voláteis. Exemplos típicos destas fontes são os tanques de armazenamento de produtos, o carregamento em caminhões ou trens, os separadores água-óleo e as estações de tratamento de efluentes em refinarias de petróleo, sendo estas duas últimas classificadas também como fontes abertas, e
- fontes fugitivas: são aquelas cujas emissões se caracterizam pela liberação difusa de poluentes para o ambiente, não passando por dispositivos projetados para direcionar seu fluxo como uma chaminé, tubo de escapamento ou outro dispositivo equivalente.

Utilizaram-se, como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE), Agência Ambiental Americana (EPA) e Banco Mundial (World Bank/Environment Department).

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que:

- utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes e
- diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética);

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana “California Air Resources Board” link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por unidade produtiva das refinarias existentes no Estado de São Paulo.

### 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

Dentro de uma refinaria de petróleo, o petróleo bruto é fracionado gerando gás liquefeito de petróleo, nafta, querosene para a aviação, óleo diesel, gasolina e óleo combustível, entre outros produtos utilizados como matéria-prima para a indústria petroquímica.

O petróleo bruto, também chamado de óleo cru, quando chega à refinaria passa por vários processos físico-químicos. O primeiro e mais importante desses processos é a destilação, onde o petróleo é aquecido a altas temperaturas separando os componentes principais. No entanto, o óleo combustível produzido a partir da destilação atmosférica ainda contém uma elevada proporção de destilado mais valioso, portanto, a maioria das refinarias processa novamente este fluxo usando a destilação a vácuo.

Os produtos mais pesados da destilação são encaminhados para as unidades de conversão, tais

como unidades de craqueamento catalítico de leito fluidizado e de coqueamento retardado, para converter componentes pesados em componentes mais leves e de maior valor agregado. Na sequência há vários tratamentos com o objetivo de estabilizar e melhorar os produtos petrolíferos, separando-os de produtos menos desejáveis e removendo elementos como enxofre e nitrogênio que são removidos por hidrodessulfurização, hidrotratamento e remoção de águas e gases ácidos.

As principais fontes de poluição do ar, por poluente, existentes em uma refinaria de petróleo e calcinação de coque verde são:

**Tabela 1 – Principais fontes de poluição do ar**

Fonte	Poluente			
	MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	COV*
Emissões fugitivas (bombas, flanges, válvulas, vents, separador água-óleo)				*
Flare	*	*	*	*
Fontes de Combustão (caldeiras, fornos e turbinas)	*	*	*	*
Unidade de Coque	*	*	*	*
Unidade de Craqueamento Catalítico Fluído (UFCC)	*	*	*	
Unidade de Recuperação de Enxofre (URE)		*		
Unidades de Armazenamento	*			*
Unidades de Tratamento de gases	*	*	*	*

(\*) expresso como HCT

#### **4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)**

As técnicas enumeradas e descritas como MTPD neste documento são referências para diagnóstico e caracterização do nível tecnológico e de controle das atuais fontes de emissão das refinarias no Estado de São Paulo.

Visando à melhoria contínua das instalações e processos de refinação de petróleo quanto ao desempenho ambiental, constitui-se uma boa prática a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

A seguir, serão enfocadas as MTPD por unidade e/ou atividade das refinarias de petróleo e calcinação de coque verde. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014.

Após o levantamento previsto no PREFE, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

##### **4.1 FONTES DE COMBUSTÃO**

Unidade que queima combustíveis de refinaria, isolados ou combinados com outros combustíveis, para produção de energia in loco, tais como caldeiras (exceto caldeira de CO), fornos e turbinas a gás.

Entende-se, para efeito deste guia, como combustível de refinaria o combustível sólido, líquido ou gasoso resultante da destilação e conversão do petróleo bruto. Por exemplo: gás de refinaria, gás de síntese, gás natural, e coque de petróleo.

Para evitar ou reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  para a atmosfera, proveniente de fornos e caldeiras, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas. A descrição resumida de cada uma destas técnicas encontram-se no Anexo I deste documento.

Constitui MTPD:

- utilização de gás em vez de combustíveis líquidos
- utilização de queimadores Low $\text{NO}_x$  ou Ultra Low $\text{NO}_x$
- redução catalítica seletiva (SCR)
- redução não-catalítica seletiva (SNCR)
- oxidação a baixa temperatura

Para evitar ou reduzir as emissões de MP para a atmosfera, proveniente de fornos e caldeiras, constitui MTPD utilizar gás em vez de combustíveis líquidos, otimizar a combustão e implantar equipamentos de controle.

Para evitar ou reduzir as emissões de  $\text{SO}_x$  para a atmosfera, proveniente de fornos e caldeiras, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas.

A descrição resumida de cada uma destas técnicas encontram-se no Anexo I deste documento.

Constitui MTPD:

- utilização de gás em vez de combustíveis com maior teor de enxofre
- utilização de gás de refinaria com baixa concentração residual de  $\text{H}_2\text{S}$
- implantação de equipamentos de controle de poluição do ar

Considera-se que esteja atendendo ao critério de MTPD, as turbinas a gás, com e sem caldeira de recuperação, cujas emissões respeitem os limites estabelecidos no licenciamento e nas resoluções CONAMA, valendo sempre o mais restritivo.

## 4.2 UNIDADE DE DESTILAÇÃO

Na Unidade de Destilação as fontes de emissão constituem-se em fornos, portanto, deverão ser atendidas as recomendações contidas no item 4.1 Fontes de Combustão deste documento

## 4.3 UNIDADES DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUÍDO

Unidade de craqueamento catalítico fluido (UFCC) é a unidade de processo de refino que, usando calor, pressão e catalisadores, convertem correntes de hidrocarbonetos maiores em hidrocarbonetos menores e mais leves. As emissões atmosféricas ocorrem nas caldeiras de monóxido de carbono ou recuperadoras dos gases dos regeneradores (URFCC).

Para evitar ou reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  para a atmosfera, proveniente de processos de craqueamento catalítico (regenerador), constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas. A descrição resumida de cada uma destas técnicas encontra-se no Anexo I deste capítulo.



Constitui MTPD:

- promotores da oxidação de CO com baixo teor de  $\text{NO}_x$
- redução seletiva catalítica (SCR)
- redução seletiva não catalítica (SNCR)
- oxidação a baixa temperatura

A fim de reduzir as emissões de MP para a atmosfera proveniente de processos de craqueamento catalítico (regenerador), constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas:

- utilização de um catalisador resistente ao atrito
- precipitadores eletrostáticos (ESP)
- separadores de ciclone multiestágio
- filtros de retorno de terceira fase

A refinaria deverá possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle.

Para evitar ou reduzir as emissões de  $\text{SO}_x$  para a atmosfera proveniente de processos de craqueamento catalítico (regenerador), constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas, mediante avaliação de eficácia, viabilidade técnica e econômica:

- utilização de aditivos redutores de  $\text{SO}_x$  no catalisador
- redução de enxofre na carga processada na unidade

#### 4.4 UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE

Unidade específica que utiliza geralmente o processo Claus para a remoção de enxofre de fluxos de gases ricos em sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) provenientes de unidades de tratamento com amina e sistemas de stripping de águas ácidas. A jusante encontra-se, em geral, uma unidade de tratamento do gás não convertido para remoção do  $\text{H}_2\text{S}$  remanescente (UTGR).

Constitui MTPD garantir uma eficiência de recuperação de enxofre e todos os outros sistemas de tratamento de efluentes gasosos estipulada no licenciamento e nas resoluções CONAMA, prevalecendo sempre a mais restritiva.

Nas refinarias onde é armazenado enxofre recuperado na forma sólida (pó) deverão ser atendidos os critérios de MTPD descritos no item 4.6.1 deste documento.

Obs: Não constitui MTPD incinerar diretamente os gases não tratados do stripping de águas ácidas ou enviar para a tocha (flare), exceção as situações de risco de incêndio ou explosão.

#### 4.5 CONVERTOR DE AMÔNIA

Convertor de amônia é um equipamento de combustão que trata a corrente de gás amoniacal oriunda da unidade de tratamento de águas ácidas, convertendo a amônia em nitrogênio. Por ser uma unidade cuja finalidade é a redução de emissões, o convertor de amônia se constitui MTPD, porém, deve atender aos limites de emissão fixados no licenciamento e aos padrões de emissão estipulados em legislação.

## **4.6 COQUE**

A fim de reduzir as emissões de MP para a atmosfera proveniente do processo de produção de coque, constitui MTPD a recolha e reciclagem sistemáticas dos finos de coque produzidos em todo o processo de coqueificação (perfuração, manuseamento, trituração, arrefecimento, etc.)

### **4.6.1 Armazenamento de Coque**

Constitui MTPD:

- o armazenamento e manuseio de coque de petróleo em áreas protegidas da ação de ventos, por meio de barreiras físicas instaladas no entorno da área de armazenamento;
- a transferência por meio de correias transportadoras deve ser coberta e provida de retenção de material particulado nos pontos de transferências ou outra tecnologia de eficiência igual ou superior.
- os materiais finos coletados nas piscinas de decantação ou nas áreas de limpeza de pátios e arruamentos internos deve ser disposto em área específica sob proteção de ventos, por meio de barreiras físicas.

### **4.6.2 Calcinação de Coque**

A fim de reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  para a atmosfera provenientes de processos de calcinação de coque verde, constitui MTPD utilizar a redução não-catalítica seletiva (SNCR). A aplicabilidade da técnica SNCR, em especial no que se refere ao tempo de residência e a gama de temperaturas, pode ser limitada devido à especificidade do processo de calcinação.

A fim de reduzir as emissões de  $\text{SO}_x$  para a atmosfera provenientes de processos de calcinação de coque verde, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas:

- depuração não-regenerativa
- depuração regenerativa

A fim de reduzir as emissões para a atmosfera de material particulado (MP) provenientes de processos de calcinação de coque verde, constitui MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas:

- precipitadores eletrostáticos (ESP)
- separadores de ciclone multiestágio

## **4.7 HIDROTRATAMENTO (HDT e HDS)**

O hidrotratamento, que se baseia em reações de hidrogenação, visa, sobretudo, produzir combustíveis com baixo teor de enxofre (por exemplo, gasolina com 50 ppm e óleo diesel com teor de enxofre da ordem de 10 ppm). São unidades de tratamento, fundamentais para as refinarias pois transformam os produtos gerados nas unidades de destilação e conversão em combustíveis com a especificação requerida. Reduz os teores de enxofre e nitrogênio dos produtos.

Na Unidade de Hidrotratamento as fontes de emissão constituem-se em fornos, portanto, deverão ser atendidas as recomendações contidas no item 4.1 Fontes de Combustão deste documento.

#### **4.8 SISTEMA DE TOCHA (FLARE)**

A fim de evitar as emissões para a atmosfera provenientes da queima em flare, constitui MTPD utilizar esta técnica apenas por motivos de segurança ou em condições operacionais que não sejam de rotina (por exemplo, partida e parada).

Para que o flare seja considerado como MTPD como equipamentos de emergência, deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- realizar uma avaliação da capacidade instalada do flare, incluindo um balanço de massa, visando avaliar se esta é compatível com a capacidade produtiva da refinaria, devendo ser prevista a adequação dos mesmos;
- implantar uma gestão da instalação, incluindo medidas organizacionais e de controle para reduzir os eventos de queima através do equilíbrio do sistema de gás de refinaria, etc.
- implantar sistema de monitoramento de vazão (na tocha ou nas unidades de processo), e tempo de operação do flare.
- instalar, operar e manter adequadamente válvulas de segurança de elevada integridade na refinaria;
- utilizar dispositivos com concepção adequada de queima, considerando a localização, a altura, a pressão, a utilização de vapor, ar ou gás auxiliar, o tipo de flare, etc. Tem por objetivo proporcionar um funcionamento confiável e sem fumo e garantir a combustão eficiente dos gases em excesso provenientes de operações não rotineiras.

#### **4.9 ARMAZENAMENTO**

A fim de reduzir as emissões de COV para a atmosfera, provenientes da armazenagem na refinaria de hidrocarbonetos líquidos voláteis (Petróleo cru e produtos leves na faixa de gasolina e nafta leve), constituem-se referências de MTPD mediante avaliação de eficácia, viabilidade técnica:

- tanques de teto flutuante munidos de selagem
- tanques com teto fixo com selo flutuante
- tanques com teto fixo ligado a sistemas de recuperação de vapores.

Para inspeções internas os reservatórios deverão ser esvaziados, limpos e desgaseificados

#### **4.10 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS**

Para o controle e minimização das emissões evaporativas da Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), constitui-se MTPD utilizar uma das técnicas a seguir indicadas ou uma combinação das mesmas:

- redução da emissão de COVs e emanção de odores de separadores água-óleo (SAO) e dos tanques de recebimentos de águas oleosas da estação de tratamento de despejo industrial (ETDI), preferencialmente através de cobertura com sistema de exaustão com controle da emissão de COVs;
- operar e manter o sistema de tratamento de efluentes líquidos e tanques de águas pluviais contaminadas de forma a não gerar odor, devendo ser implantado programas de controle e manutenção periódicos dos tanques e lagoas.

#### **4.11 EQUIPAMENTOS E COMPONENTES DE LINHAS DE PROCESSO**

Para a redução de emissões fugitivas de COVs em equipamentos e componentes de linhas de processo tais como válvulas, flanges, selos de bombas, entre outros, constituem-se como referências de MTPD, a implantação de um programa de controle de emissões fugitivas utilizando a metodologia LDAR (Leak Detection and Repair);

A técnica LDAR também pode ser combinada com uso de imagem ótica de infravermelho para detecção de vazamentos através da metodologia Smart LDAR.

#### **4.12 PROCESSOS DE ALQUILAÇÃO**

Alquilação é a transferência de um grupo alquila de uma molécula para outra. No contexto do refino de petróleo, alquilação refere-se a particular alquilação de isobutano com olefinas. É um aspecto principal do tratamento do petróleo para obtenção de moléculas maiores (mais complexas) específicas. Utilizada para a produção de gasolina de aviação

Para evitar emissões para a atmosfera de ácido fluorídrico (HF) proveniente de processos de alquilação, constitui MTPD utilizar um sistema de controle que reduza a emissão de fluoretos antes da queima.

### **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo, será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

As fontes de emissão instaladas em refinarias de petróleo estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão específicos estabelecidos no seu licenciamento, em função da sua localização, e aos seguintes padrões de emissão estabelecidos nas resoluções CONAMA 382/07 (para fontes cuja Licença de Instalação for solicitada após 02/07/2007) e 436/11 (para fontes cuja licença de instalação for solicitada antes de 02/07/2007.)

Verifica-se que, para COVs, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

Cabe ressaltar que os valores colocados nas tabelas 02 e 03, a seguir, algumas vezes podem ser considerados altos em função da localização da fonte, devendo, também, neste caso utilizar o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes podem possuir limites de emissão mais restritos, devendo neste caso, serem observados sempre os limites de emissão licenciados.

**Tabela 02 – Limites de emissão para fontes de combustão**

Fonte	Potência térmica nominal (MW)	Poluente	CONAMA 436 (Fontes com LI antes de 2007)		CONAMA 382 (Fontes com LI a partir de 2007)
			Limite de emissão (mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub> )	Prazo de atendimento	Limite de emissão (mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub> )
Fornos e caldeiras utilizando gás de refinaria	Menor que 10	MP	150	Imediato	150
	Entre 10 a 70		125	imediato	125
	Maior que 70		50	imediato	50
	Menor que 10	NO <sub>x</sub>	-	até 2018	320
	Entre 10 a 70		400	até 2018	320
	Maior que 70		320	até 2018	200
	Menor que 10	SO <sub>x</sub>	70	até 2021	70
	Entre 10 a 70		70	até 2021	70
Maior que 70	70		até 2021	70	

**Tabela 03 – Limites de emissão por unidade**

Fonte	Poluente	CONAMA 436 (Fontes com LI antes de 2007)		CONAMA 382 (Fontes com LI a partir de 2007)
		Limite de emissão	Prazo de atendimento	Limite de emissão
UFCC	MP	75 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 8% O <sub>2</sub> *	até 2021	75 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 8% O <sub>2</sub> *
	SO <sub>x</sub>	1200 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub>	imediato	1200 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub>
	NO <sub>x</sub>	600 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub>	2021	600 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 3% O <sub>2</sub>
URE **	SO <sub>x</sub>	94% de recuperação de enxofre – URE com 2 estágios	até 2021	>96% de recuperação de enxofre
		96% de recuperação de enxofre – URE com 3 estágios	até 2021	
Conversor de Amônia ***	NO <sub>x</sub>	720 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 1% O <sub>2</sub>	imediato	720 mg/Nm <sup>3</sup> em b.s. e 1% O <sub>2</sub>
		98% de eficiência de destruição de amônia	imediato	98% de eficiência de destruição de amônia

(\*) não sendo contabilizada a massa de sulfato

(\*\*) UREs com capacidade de produção menor que 15 t/dia que não estejam instaladas em refinarias, terão seus limites de emissão estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador.

(\*\*\*) o limite de emissão de SO<sub>x</sub> deve ser definido por cada órgão ambiental licenciador observando a quantidade de H<sub>2</sub>S presente na água ácida, sendo que as unidades de águas ácidas que contém duas torres de esgotamento devem ser projetadas de forma que pelo menos 90% do H<sub>2</sub>S que entra na unidade seja esgotado na primeira torre de esgotamento seja enviado para a URE. Para as unidades existentes, deverão ser adaptadas para enviar 90% da carga de entrada do H<sub>2</sub>S para URE até 2021.

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEAs, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na Tabela 04, a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de refino, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

Tabela 4 – Frequência e tipo de monitoramento

Fonte	Poluente	Amostragem em chaminé	Monitor Contínuo (CEMS)	Modelos Preditivos (PEMS)
UFCC	MP	Anual	Não aplicável	Não aplicável
	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não aplicável
	HCT	Anual	Aplicável	Não aplicável
Coque	MP	Anual	Não Aplicável	Não aplicável
	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não aplicável
	HCT	Anual	Aplicável	Não aplicável
Fontes de combustão ≥ 50 MW *	MP	Bienal	Não Aplicável	Não aplicável
	SO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	Aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Aplicável
	HCT	Anual	Aplicável	Aplicável
URE/UTGR	SO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não Aplicável
Conversor de Amônia	SO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável	Não Aplicável
	MP	Bienal	Não aplicável	Não aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável	Não Aplicável
	HCT	Anual	Aplicável	Não Aplicável

(\*) a amostragem em chaminé de fornos e caldeiras com capacidade menor do que 50 MW fica vinculada a exigência do licenciamento

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS PARA A PREVENÇÃO E CONTROLE  
DAS EMISSÕES PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Descrição Sucinta</b>
Depuração por via úmida	MP e SO <sub>x</sub>	No processo de depuração por via úmida, os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes da descarga dos gases libertados. Os depuradores se destinam, principalmente, à remoção de SO <sub>x</sub> , é necessária uma conceção adequada, para que as partículas sejam também removidas de forma eficaz. A eficiência indicativa característica de remoção de SO <sub>x</sub> situa-se na gama de 85 % a 98 %
Depuração regenerativa	SO <sub>x</sub>	Utilização de um reagente específico de absorção de SO <sub>x</sub> (por exemplo, solução absorvente), que permite, em geral, recuperar o enxofre como subproduto num ciclo de regeneração em que o reagente é reutilizado
Depuração não regenerativa	SO <sub>x</sub>	É utilizada uma solução à base de sódio ou magnésio como agente alcalino para a absorção de SO <sub>x</sub> , em geral na forma de sulfatos.
Lavadores centrífugos	MP	Os lavadores centrífugos (por exemplo, lavadores tipo Venturi) combinam o princípio do ciclone com o contato intensivo com correntes de água.
LDAR – Leak Detection and Repair	COV	O programa de detecção e reparação de emissões fugitivas, conhecido como LDAR (Leak Detection And Repair) consiste em ações estruturadas para reduzir as emissões fugitivas de COV de componentes de linhas de processo tais como, válvulas, bombas, flanges, juntas de vedação e outros por meio de medições e subsequente reparação ou substituição dos componentes que as produzem.
Imagem ótica de infravermelho	COV	A tecnologia de detecção de gases por imagem ótica consiste no uso de uma câmara que permite a visualização de COVs em função de sua propriedade de absorver luz na região infravermelho do espectro. A nuvem de gás aparece como uma nuvem escura no visor do equipamento. Esta técnica também é conhecida como Smart LDAR e pode ser utilizada de forma complementar ao LDAR convencional.



Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Otimização dos processos	NO <sub>x</sub>	Combinação de condições de operação ou práticas destinadas a reduzir a formação de NO <sub>x</sub> , como, por exemplo, redução do excesso de oxigênio nos gases de combustão no modo de combustão completa ou distribuição de ar da caldeira de CO no modo de combustão parcial, desde que a concepção da caldeira seja adequada
Precipitadores eletrostáticos (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos operam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Os precipitadores eletrostáticos podem operar numa vasta gama de condições A eficiência de redução das emissões pode depender do número de estágios, do tempo de residência (dimensões), das propriedades do catalisador e dos dispositivos de remoção de partículas a montante. Nas UFCC, são frequentemente utilizados precipitadores eletrostáticos de 3 e 4 estágios. Os precipitadores eletrostáticos podem ser utilizados a seco ou com injeção de amoníaco, para melhorar a recolha de partículas. No caso da calcinação do coque verde, a eficiência de captação dos precipitadores eletrostáticos pode ser reduzida devido à dificuldade de carregar eletricamente as partículas de coque
Promotores da oxidação de CO com baixo teor de NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Utilização de uma substância que promova apenas, seletivamente, a combustão de CO e impeça a oxidação do nitrogênio que contenha intermediários de NO <sub>x</sub> (por exemplo, promotores sem platina)
Recirculação dos gases de combustão	NO <sub>x</sub>	Reinjeção dos gases residuais do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama. Utilização de queimadores especiais que utilizam a recirculação interna dos gases de combustão para arrefecer a base das chamas e reduzir o teor de oxigênio na parte mais quente destas
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NO <sub>x</sub> para nitrogênio em um leito catalítico por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300°C e 450°C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO <sub>x</sub>

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Redução seletiva não catalítica (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio, por meio de uma reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.
Separadores de ciclone multiestágio	MP	Dispositivo ou sistema ciclônico de controle instalado a jusante de dois andares de ciclones. Geralmente conhecidos como ciclones de terceiro andar, a sua configuração comum é constituída por um recipiente que contém vários ciclones convencionais ou dispositivos baseados em tecnologias modernas de tubos giratórios. No caso de UFCC, o desempenho depende essencialmente da concentração de partículas e da distribuição das granulometrias dos finos de catalisador.
Utilização de aditivos redutores de SO <sub>x</sub> no catalisador	SO <sub>x</sub> da UFCC	Utilização de uma substância que transfere o enxofre associado ao coque, de volta, do regenerador para o reator.
Utilização de matérias-primas com baixo teor de enxofre	SO <sub>x</sub> da UFCC	A seleção favorece cargas com baixo teor de enxofre. O hidrotreatamento visa reduzir os teores de enxofre, nitrogênio e metais nas cargas. (por exemplo, através de uma seleção ou por hidrotreatamento da carga)
Utilização de queimadores tipo LowNO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	A tecnologia dos queimadores baseia-se nos princípios de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando, a combustão e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno. Queimadores tipo Ultra-LowNO <sub>x</sub> (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão. Os queimadores tipo seco com baixas emissões de NO <sub>x</sub> (Dry LowNO <sub>x</sub> – DLNB) são utilizados para turbinas a gás.
Utilização de um catalisador resistente ao atrito	MP da UFCC	Seleção de um catalisador com resistência à abrasão e à fragmentação, de modo a reduzir as emissões de partículas.

---

---

ANEXO II  
RELATÓRIO DO LDAR (LEAK DETECTION AND REPAIR)

O programa de detecção e reparação de emissões fugitivas, conhecido como LDAR (Leak Detection And Repair) consiste em ações estruturadas para reduzir as emissões fugitivas de COV de válvulas, bombas, flanges, juntas de vedação e outros por meio de medições e subsequente reparação ou substituição dos componentes que as produzem.

A refinaria deverá apresentar anualmente para a CETESB um relatório com os resultados do programa LDAR. Deverão constar no relatório, minimamente as seguintes informações:

- descrever a metodologia utilizada
- total de componentes medidos na refinaria
- quantidade e tipo de dispositivos incluídos no programa
- tipo de serviço na linha de processo: líquido leve, líquido pesado ou gás
- quantidade de dispositivos com concentração acima do limite de vazamento
- quantidade de dispositivos que foram reparados no período
- valor considerado como vazamento para efeito do programa
- limite mínimo de detecção do equipamento
- tempo máximo para reparo dos dispositivos e remediação dos pontos reparados
- fator de emissão adotado;
- horas de operação anuais;
- % de redução de emissões da refinaria, se aplicável e
- emissão total em t/ano;
- anexar catálogo do fabricante do equipamento utilizado nas medições;
- como referência para definição do tipo de serviço na linha de processo, deve ser adotado o documento EPA - 453/R/95-017) - Refinery Average Emission Factors, disponível em <http://www.epa.gov/ttnchie1/efdocs/equiplks.pdf>

-

## CAPÍTULO 7 SIDERURGIA E METALURGIA

# 7

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange as seguintes instalações:

- siderurgia integrada;
- siderurgia semi-integrada;
- laminação;
- trefilagem, e
- fundição de peças metálicas.

O presente guia não abrange os equipamentos listados abaixo e instalados em plantas cuja atividade principal é siderurgia ou metalurgia e que utilizem combustíveis convencionais (gás natural, GLP, óleo diesel, óleo combustível ou biomassa). Para estes equipamentos deverão ser utilizadas as orientações da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão:

- caldeiras;
- aquecedores de fluido térmico;
- secadores sem contato direto da chama com o produto, e
- fornos sem contato direto da chama com o produto.

## 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE) e da Agência Ambiental Americana (EPA).

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminé) e demais fontes dentro do processo de siderurgia e metalurgia. Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que:

- utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes
- diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética).

Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por unidade produtiva.

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana "California Air Resources Board" link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

## 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

Metalurgia é o conjunto de técnicas que permitem extrair e manipular metais e gerar ligas metálicas. É nessa atividade econômica que ocorre a conversão de minérios ferrosos e não-ferrosos em produtos metalúrgicos e produtos intermediários do processo.

A indústria siderúrgica é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e tratamento de aços, em forma de semi-acabados, laminados, relaminados, trefilados e tarugos (objetos sólidos utilizados como matéria-prima na laminação)

### 3.1 SIDERURGIA

A siderurgia é dividida em:

- usinas siderúrgicas integradas: usinas siderúrgicas que utilizam o processo de redução do minério de ferro, a partir de uma carga constituída por minério de ferro granulado e/ou de

aglomerados de finos de minério de ferro, em forma de sinter ou pelotas, e de um agente redutor (coque ou carvão vegetal) para a obtenção do ferro gusa líquido, que, juntamente com pequenas quantidades de sucata, é submetido ao processo de refino para a produção do aço em aciaria;

- usinas siderúrgicas semi-integradas: usinas siderúrgicas que, para obtenção do aço, a partir de uma carga constituída por sucata e/ou ferro esponja e/ou ferro gusa, utilizam, o processo de refino em fornos elétricos a arco.

### 3.1.1 Siderúrgia integrada

A produção de aço em uma usina siderúrgica integrada é realizada usando vários processos inter-relacionados. As principais operações são:

- produção de coque,
- produção de sinter,
- produção de ferro-gusa,
- produção de aço,
- preparação do produto semiacabado (refino),
- preparação do produto acabado (laminação)
- geração de calor e eletricidade, e
- movimentação e o transporte de matéria-prima, materiais intermediários e resíduos.

Na Tabela 01, a seguir, constam as principais fontes de poluição atmosféricas no processo de siderurgia integrada por tipo de poluente.

**Tabela 01 – Principais fontes de emissões de poluentes no processo de siderurgia integrada**

Unidade		Poluente			
		MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	COV
Coqueria	Sistema de Despoeiramento	*	-	-	-
	Fornos de coque	*	*	*	*
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	*	*	*	*
	Sistema Secundário de Despoeiramento	*	-	-	-
Alto-Forno	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	*	-	-	-
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	*	-	-	-
Aciaria	Sistema de Despoeiramento	*	-	-	-
	Forno	*	*	*	*
Laminação	Fornos de reaquecimento	*	*	*	*
Pelotização	Fornos de pelletização	*	*	*	*
Central termoelétrica	Caldeiras ou turbinas com queima de gases siderúrgicos	*	*	*	*
Armazenamento e transporte de matéria-prima, materiais intermediários e resíduos.		*	-	-	-

(\*) poluente a ser considerado

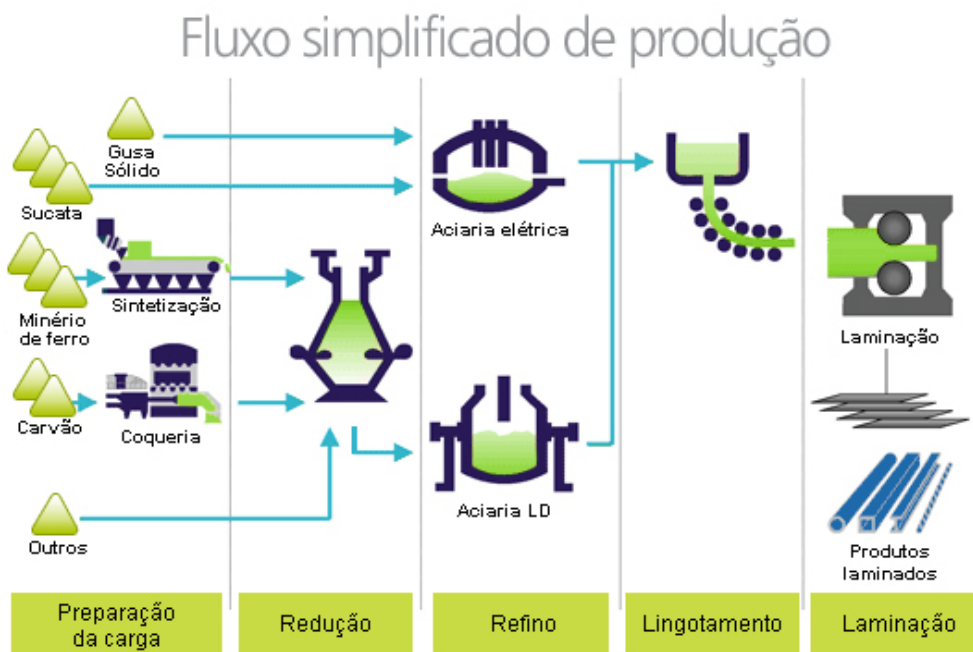
O processo de sinterização converte matérias-primas muito finas, incluindo minério de ferro, coque, calcário, carepa e escória de aciaria, em um produto aglomerado, conhecido como sinter, de tamanho adequado para ser carregado no alto-forno. As matérias-primas são, por vezes, misturadas com água, para proporcionar um sinter mais coeso, e, em seguida, são colocadas sobre uma grelha contínua chamada linha de sinterização.

Antes de serem levados ao alto-forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério é transformado em pelotas ou sinterizado e o carvão é destilado, para obtenção do coque tendo como subprodutos carboquímicos.

O ferro-gusa é produzido em altos-fornos pela redução de materiais contendo ferro, como o sinter, coque e cal, e em contato com um gás quente. O ar pré-aquecido a uma temperatura de 1300°C é soprado pela parte de baixo do alto-forno. O coque, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro, transformando-o em um metal líquido, o ferro-gusa. O gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono elevado.

No processo de redução, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro-gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário, sílica, etc. formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento.

Nas aciarias, os fornos, a oxigênio ou elétricos, são utilizados para transformar o gusa (líquido ou sólido), a sucata de ferro e aço em aço líquido. Nessa etapa, parte do carbono contido no gusa é removida juntamente com impurezas. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento, contínuo ou não, para produzir aço semiacabado ou laminado. O aço semiacabado, em lingotes e/ou placas, blocos ou tarugos, é processado por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química.



Fonte: Instituto Aço Brasil



### 3.1.2 – Siderúrgicas Semi-integradas

São instalações que operam somente as fases de aciaria e laminação. Essas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja e/ou sucata metálica, adquiridas de terceiros ou do próprio processo, e os transformam em aço.

Além disso, em função dos produtos que preponderam em suas linhas de produção, as usinas também podem ser assim classificadas:

- semiacabados (placas, blocos e tarugos)
- aços longos planos (barras, perfis, fio máquina, etc)
- aços especiais (barras, fio-máquina, arames e tubos sem costura)

Existem ainda unidades produtoras chamadas de não integradas, que operam apenas uma fase do processo como, por exemplo, laminação ou trefilamento.

Na Tabela 02, a seguir, constam as principais fontes de poluição atmosféricas no processo de siderurgia semi- integrada por tipo de poluente.

**Tabela 02 – Principais fontes de emissões de poluentes no processo de siderurgia semi-integrada**

Fonte		Poluente			
		MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	COV
Aciaria	Sistema de Despoeiramento	*	-	-	-
	Forno	*	*	*	*
	Fornos painelas	*	-	-	-
Laminação	Fornos de reaquecimento	*	*	*	*
Central termoelétrica	Caldeiras ou turbinas com queima de gases siderúrgicos	*	*	*	*
Armazenamento e transporte de matéria-prima, materiais intermediários e resíduos		*	-	-	-

## 3.2 LAMINAÇÃO

A atividade de conformação a quente e a frio, que é parte integrante do setor de processamento de metais ferrosos, compreende diferentes processos de produção, tais como a laminação a quente, a laminação a frio e a trefilagem do aço. É utilizada na fabricação de uma grande variedade de produtos semiacabados e de produtos acabados como chapas, tubos e fio.

### 3.2.1 Laminação a quente

Na laminação a quente, a dimensão, a forma e as propriedades metalúrgicas do aço são modificadas por compressão repetida do metal quente (a temperatura pode ir de 1050 a 1300°C) entre cilindros de laminação. O aço que entra no processo de laminação a quente varia em forma e perfil (lingotes vazados, brames, blumes, biletas, perfis estampados) em função do produto que se pretende fabricar. Os produtos obtidos por laminação a quente classificam-se normalmente em dois tipos básicos, em função da sua forma: produtos planos e produtos longos.

A laminação a quente compreende normalmente os seguintes passos de processamento:

- condicionamento do material que entra no processo (chanfragem, retificação);
- aquecimento à temperatura de laminação;
- remoção de calamina (minerais de zinco);
- desbaste, incluindo redução da largura (laminação até serem atingidas a dimensão e as propriedades definitivas), e
- acabamento (rebarbagem, corte longitudinal, corte).

As principais questões ambientais suscitadas pela laminação a quente são as emissões para a atmosfera, em especial de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ , as emissões fugitivas de material particulado provenientes do manuseio dos produtos, da laminação ou do tratamento mecânico de superfícies.

A legislação vigente, item 5 deste guia, estabelece limites de emissão de MP,  $\text{SO}_x$  e  $\text{NO}_x$  para essas fontes, quando utilizam gás de siderurgia como combustível.

### 3.2.2 Laminação a frio

Na laminação a frio, as propriedades dos produtos, como espessura e as características mecânicas e tecnológicas, são alteradas por compressão entre cilindros de laminação sem um aquecimento prévio do material que entra no processo. O material que entra no processo é obtido na forma de bobinas.

As fases de processamento e a sequência do processamento de laminação a frio dependem da qualidade do aço tratado. São utilizadas as seguintes fases de processamento para os aços de baixa liga e os aços ligados (aços-carbono): decapagem química; laminação para redução da espessura; recozimento ou tratamento térmico para regenerar a estrutura cristalina; laminação de encruamento superficial (passe de têmpera) ou laminação superficial a frio das bandas recozidas para lhes conferir as propriedades mecânicas, forma e rugosidade de superfície desejada, e acabamento final.

O processo utilizado para os aços de alta liga (aços inoxidáveis) compreende mais fases do que o processo para os aços-carbono. São as seguintes as principais fases: recozimento de bandas laminadas a quente e decapagem química; laminação a frio; recozimento final e decapagem química (ou recozimento brilhante); laminação superficial a frio e acabamento final.

Os produtos laminados a frio são constituídos principalmente por bandas e chapas finas (a espessura típica vai de 0,16 a 3 mm), possuindo um acabamento superficial de alta qualidade e propriedades metalúrgicas rigorosas com vistas à sua utilização em produtos sujeitos a elevadas especificações.

As principais emissões atmosféricas associadas à laminação a frio são as emissões de fumos provenientes dos sistemas de desengorduramento, emissões ácidas e de névoa de óleo para a atmosfera; poeiras provenientes, por exemplo, da remoção de calamina e do desenrolamento de bobinas;  $\text{NO}_x$  proveniente da decapagem com misturas de ácidos e gases de combustão resultantes do aquecimento dos fornos.

### 3.3 TREFILAGEM

A trefilagem é um processo pelo qual o fio-máquina/fio metálico é redimensionado ao ser

estirado através de aberturas cónicas, de menor secção transversal, chamadas de matrizes (fieiras). O material que entra no processo é geralmente constituído por fio-máquina com diâmetros que vão de 5,5 a 16 mm, obtido a partir da laminação a quente sob a forma de bobinas.

Uma instalação típica de trefilagem compreende as seguintes linhas de processamento:

- pré-tratamento do fio-máquina (remoção mecânica de calamina, decapagem química)
- trefilagem por via seca ou úmida (geralmente em várias passagens, utilizando fieiras com dimensões cada vez menores)
- tratamento térmico (recozimento contínuo/descontínuo, patentagem, têmpera em óleo)
- acabamento

Os principais aspectos ambientais associados à trefilagem são:

- emissões resultantes da decapagem;
- poeiras fugitivas (trefilagem por via seca);
- gases de combustão provenientes dos fornos, e
- emissões e resíduos contendo chumbo resultantes dos banhos de chumbo.

### 3.4 FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

As fundições fundem metais ferrosos e não-ferrosos, transformando-os, por alteração de forma, em produtos de forma definitiva ou quase definitiva, mediante o vazamento do metal ou liga em fusão numa cavidade de moldação, e sua posterior solidificação. Para a fundição de peças metálicas, normalmente é necessária a elaboração de ligas metálicas. Essas ligas são compostas por vários metais fundidos conjuntamente em pequenos fornos.

A indústria de fundição é diversificada e abrange uma vasta gama de instalações com as mais variadas dimensões; cada instalação utiliza uma combinação de tecnologias e de operações unitárias, adequadas às matérias-primas utilizadas, à dimensão das séries e aos tipos de produtos produzidos. Algumas das matérias-primas utilizadas pelas fundições de aço são de ferro e sucata de aço, retornos de fundição, aparas de metal, ligas, aditivos de carbono, fluxos (calcário, carbonato de sódio, fluorita, cálcio carboneto), areia, aditivos e aglutinantes.

O processo de fundição varia em função do tipo de metal, da dimensão das peças e do tipo de produto. De um modo geral, a principal divisão no setor baseia-se no tipo de metal (ferroso ou não-ferroso) e no tipo de moldagem utilizados.

Para cada uma dessas opções básicas de processo estão disponíveis várias técnicas, dependendo do tipo de forno, do sistema de moldagem e preparação de machos (areia verde ou diversos ligantes químicos), do sistema de vazamento e das técnicas de acabamento utilizados. Cada uma dessas técnicas apresenta especificidades, vantagens e desvantagens, nos planos técnicos, económico e ambiental.

Em processos de fundições de aço ou outro tipo de metal, as principais operações de processamento de uma fundição são a movimentação de matérias-primas, fusão do metal, produção de moldes, a fundição e o acabamento. As operações do processo de fusão do metal são:

- operações de movimentação de matérias-primas, que incluem o recebimento, descarga, armazenagem, transporte;
- preparação de sucata;
- o carregamento da fornalha, operação em que o metal, a sucata, ligas de carbono e outras matérias-primas são adicionados ao forno. O tipo de forno varia de acordo com o tipo de material processado, sendo comum, para metais ferrosos, o uso de fornos de indução, elétrico a arco ou rotativo e para metais não ferrosos, os fornos tipo indução, cuba, cadinho ou revérbero.
- fase de fusão, durante o qual o forno permanece fechado;
- backcharging, quando é adicionado mais metal e, possivelmente, ligas;
- refino simples (oxidante) ou duplo (oxidação e redução);
- vazamento do metal fundido no interior de um forno panela ou diretamente em moldes. O vazamento pode ser por gravidade, basculamento, a baixa pressão, a alta pressão, centrífugo ou contínuo;
- resfriamento e desmolde da peça, que pode ser manual ou automática;
- limpeza e acabamento do contorno da peça de fundição, podendo ser limadas, lixadas e/ou tratadas com granalha ou passar por um novo tratamento térmico.

Os moldes são formas utilizadas para moldar uma peça fundida e podem ser feitos de areia com ligantes orgânicos, moldado num núcleo e cozida em um forno, sendo que as areias usadas nas operações de fundição de desmoldagem são normalmente reutilizadas. Os chamados moldes definitivos podem ser de ligas metálicas, carbono, madeira ou plásticos.

As emissões para a atmosfera constituem a principal preocupação ambiental. O processo de fundição gera poeiras que contêm minerais e metais, originando também substâncias ácidas, produtos de combustão incompleta e compostos orgânicos voláteis. As emissões mais comuns nesse tipo de empreendimento são as emissões fugitivas, dado que são produzidas, em todas as fases do processo (fusão do metal, moldagem em areia, vazamento e acabamento).

A utilização de coque, óleo ou gás como combustível dos fornos pode originar a emissão de produtos de combustão, tais como  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$ . Além disso, a combinação do coque com as impurezas presentes na sucata (por exemplo, óleos, tintas e vernizes) pode originar produtos de combustão incompleta ou de recombinação, tais como dioxinas e furanos.

O processo de preparação dos moldes utiliza diversos aditivos para ligar a areia. As etapas de preparação de areia e de vazamento do metal geram produtos de reação e de decomposição, que incluem compostos inorgânicos e orgânicos (nomeadamente aminas e COV). A geração de odor pode ocorrer nesta fase devido à formação de produtos de decomposição (principalmente COV) e prossegue durante as operações de resfriamento e abate/desmoldação.

No processo de fundição, as emissões para a atmosfera não se limitam, em geral, a um (ou vários) ponto(s) fixo(s) de emissão. O processo apresenta várias fontes de emissão (e.g., a partir das peças quentes, da areia, do metal quente). Um aspecto essencial na redução das emissões consiste em proceder não apenas ao tratamento dos gases de exaustão, mas também à sua captação.

Na Tabela 03, a seguir, constam as principais fontes de poluição atmosféricas no processo de fundição por tipo de poluente.

**Tabela 03 – Principais fontes de emissões de poluentes no processo de Fundição**

Fonte		Poluente			
		MP	SOx	NOx	COV
Fusão	Sistema de Despoeiramento	x			
	Fornos	x	x	x	x
	Fornos panelas	x			x
Moldes	Preparação	x			
	Unidades de regeneração	x		x	x
	Moldagem das peças	x			x
Vazamento		x			x
Acabamento das peças		x			
Acabamento das peças com processo térmico		x	x	x	x
Armazenamento e transporte de matéria-prima, materiais intermediários e resíduos		x			

#### **4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)**

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de siderurgia e de metalurgia, sugere-se a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

As fontes fixas de emissão de poluentes atmosféricos obrigatoriamente devem atender aos seguintes requisitos:

- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos, e
- deve haver medidor de consumo de combustível de forma individualizada para cada fonte de combustão, com exceção das fontes que no total consomem menos do que 2% do consumo total de combustível para a unidade de processo. Devendo estes 2% ser calculado por meio de medição.

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014.

Após o levantamento previsto no PREFE, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

##### **4.1 ARMAZENAMENTO, MANUSEIO E TRANSPORTE DE MATÉRIA-PRIMA E PRODUTOS**

As siderúrgicas integradas, semi-integradas e demais instalações metalúrgicas devem evitar ou reduzir as emissões difusas de partículas provenientes do armazenamento, do manuseio e do transporte de materiais utilizando uma das técnicas a seguir indicadas ou várias em combinação:

- instalação de barreiras para proteção contra o vento ou utilização de barreiras naturais como abrigo;
- controle do teor de umidade do material;
- confinamento adequado em transportadores e tremonhas, etc.;
- utilização, quando apropriado, de pulverização de água, com aditivos, para evitar as poeiras;
- rigorosos padrões de manutenção dos equipamentos;
- exaustão de poeiras e utilização de um sistema de despoeiramento com filtros de mangas para reduzir as fontes de emissão significativa de partículas;
- aplicação de veículos de limpeza com baixas emissões para proceder à limpeza de rotina dos acessos pavimentados, preferencialmente, a utilização de equipamento móvel e estacionário de limpeza a vácuo;
- isolamento total das tremonhas de descarga num edifício equipado com exaustão de ar e filtração de partículas, ou aplicação de defletores e grelhas de descarga na tremonha, em conjunto com um sistema de exaustão e limpeza de partículas;
- limitação da altura de queda de materiais a um máximo de 0,5 m, se possível;
- aplicação de silos de armazenamento com filtros para controlar material particulado;
- utilização de dispositivos totalmente fechados para retirar o material dos silos;
- armazenamento de sucata em locais protegido das ações do vento, com proteção do solo, para reduzir o risco de contaminação;
- controle do formato e altura das pilhas de materiais;
- cobertura da superfície com encerados ou revestimento das pilhas de materiais (por exemplo, látex);
- aplicação de armazenamento com paredes de retenção para reduzir a superfície exposta;
- manter úmidas as pilhas de granulado de escórias para o manuseio e o processamento das escórias;
- utilização de equipamentos fechados para trituração de escórias secas, equipados com exaustão eficiente e filtros de mangas para reduzir as emissões de poeiras; e
- remoção das partículas nos pontos de transferência entre equipamentos transportadores.

Se as matérias-primas e o combustível forem fornecidos por mar e as emissões de partículas forem ser significativas, algumas técnicas incluem:

- utilização de navios autodescarregadores ou outros sistemas de descarga contínua fechada. Caso contrário, a poeira gerada pelos sistemas de descarga com garras deve ser minimizada por meio de um conjunto de medidas, garantindo o teor de umidade adequado do material entregue, minimizando a altura de queda de material e utilizando pulverização de água e sistemas de atomização de água na saída da tremonha de descarga de material;
- evitar a utilização de água salgada para a aspersão de minérios ou fundentes, pois essa medida resulta na deposição de cloreto de sódio nos precipitadores eletrostáticos da instalação de sinterização. O acréscimo de cloro nas matérias-primas pode também provocar o aumento das emissões (por exemplo, de dibenzodioxinas/dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF) e impedir a recirculação das partículas dos filtros;

- armazenar carvão, cal e carbonato de cálcio em pó em silos fechados e transportá-los através de sistemas pneumáticos ou armazená-los e transferi-los em sacos fechados.

Para a descarga de trens e caminhões, devido à formação de emissões de partículas, utilização de equipamento de descarga dedicado, com *design* essencialmente fechado.

Para os materiais muito finos que possam provocar uma emissão significativa de partículas, algumas técnicas incluem:

- utilização de pontos de transferência, peneiras vibratórias, trituradores, tremonhas e outros equipamentos totalmente fechados com exaustão para filtros de mangas;
- utilização de sistemas de limpeza central por aspiração, em vez de lavagem para remover derrames, uma vez que os efeitos se restringem a um meio e a reciclagem do material derramado é simplificada.

As técnicas a serem consideradas durante o transporte de materiais incluem:

- minimização dos pontos de acesso a partir de vias públicas;
- utilização de equipamento de limpeza das rodas para evitar a transferência de lamas e partículas para as vias públicas;
- aplicação de superfícies duras nas vias de acesso do transporte (concreto ou asfalto) para minimizar a geração de nuvens de poeira durante o transporte de materiais e a limpeza das vias;
- restrição dos veículos às rotas designadas;
- umedecimento de vias empoeiradas por meio de pulverização com água reciclada;
- garantia de que os veículos de transporte não se encontram sobrecarregados, para evitar derrames;
- garantia de que os veículos de transporte dispõem de cobertura para tapar o material transportado;
- minimização do número de transferências;
- utilização de transportadores fechados ou em recintos fechados;
- utilização de sistemas de transporte enclausurados, sempre que possível, para minimizar as perdas de material que normalmente ocorrem devido a mudanças de direção entre diferentes locais como a descarga de materiais de uma esteira para outra, e
- remoção das partículas nos pontos de transferência entre equipamentos transportadores.

#### 4.2 MTPD PARA INSTALAÇÕES DE SINTERIZAÇÃO

Constituí-se MTPD para as instalações de sinterização:

- reduzir as emissões difusas de partículas provenientes das atividades de dosagem/mistura, aglomerando os materiais finos mediante o ajuste do teor de umidade.
- para as emissões primárias provenientes de instalações de sinterização, reduzir as emissões de partículas provenientes dos gases residuais da linha de sinterização por meio de filtro de mangas ou um precipitador eletrostático avançado, sempre que os filtros de mangas não sejam aplicáveis.

Para as emissões primárias provenientes de linhas de sinterização consiste em MTPD para as emissões de óxido de enxofre ( $SO_x$ ) utilizar uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- diminuição da entrada de enxofre no processo utilizando pó de coque com baixo teor de enxofre;
- diminuição da entrada de enxofre no processo por meio da minimização do consumo de pó de coque;
- diminuição da entrada de enxofre no processo utilizando minério de ferro com baixo teor de enxofre;
- injeção de agentes de adsorção adequados nos gases residuais da linha de sinterização antes do despoeiramento por filtro de manga;
- processo de dessulfuração úmida ou de carvão ativado regenerado (CAR).

A MTPD para as emissões das linhas de sinterização consiste em reduzir as emissões totais de óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- recirculação de gases residuais;
- utilização de queimadores com baixas emissões de  $\text{NO}_x$  para ignição;
- processo de carvão ativado regenerado (CAR);
- redução catalítica seletiva (SCR).

A MTPD para as emissões secundárias provenientes da descarga da linha de sinterização, da trituração, do arrefecimento, da seleção e dos pontos de transferência de sinter consiste em evitar as emissões de partículas e/ou alcançar uma exaustão eficiente e, conseqüentemente, reduzir as emissões de partículas utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- cobertura e/ou isolamento
- precipitador eletrostático ou filtro de mangas.

Em relação às emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), que, para este guia, são expressos como Hidrocarbonetos Totais (HCT), a MTPD consiste em diminuir o teor de hidrocarbonetos na produção de sinter por meio de uma seleção apropriada e do pré-tratamento dos resíduos do processo reciclados.

A utilização de hidrocarbonetos pode ser minimizada, sobretudo pela redução da admissão de óleo. O óleo entra na produção de sinter principalmente por meio da adição de escamas de laminação. O teor de óleo das escamas de laminação pode variar significativamente, dependendo da origem do material utilizado.

### 4.3 MTPD PARA INSTALAÇÕES DE PELETIZAÇÃO

Consiste MTPD reduzir as emissões de material particulado (MP) nos gases residuais provenientes dos processos de pré-tratamento das matérias-primas, secagem, trituração, umedecimento, mistura e aglomeração, linha de endurecimento, manuseio e seleção dos peletes, utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- precipitador eletrostático;
- filtro de manga;
- lavador de gases.

Para as emissões de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) provenientes dos gases residuais da linha de



endurecimento consiste em MTPD utilizar uma das seguintes técnicas:

- lavador de gases;
- absorção semi-seca com subsequente sistema de despoejamento.

No que se refere as emissões de  $\text{NO}_x$  provenientes dos gases residuais da seção de secagem e trituração e da linha de endurecimento, considera-se MTPD aplicar técnicas integradas nos processos. A concepção da instalação deve ser otimizada de modo a obter baixas emissões de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) provenientes de todas as fontes de combustão. A redução da formação de  $\text{NO}_x$  térmico pode ser obtida baixando a temperatura (máxima) nos queimadores e reduzindo o oxigênio em excesso no ar de combustão. Adicionalmente, podem ser obtidas emissões mais baixas de  $\text{NO}_x$  combinando uma baixa utilização de energia e um baixo teor de nitrogênio no combustível (carvão e petróleo).

Para as emissões de  $\text{NO}_x$  provenientes dos gases residuais da seção de secagem e trituração e da linha de endurecimento, constituiu-se MTPD implantar Redução Catalítica Seletiva (SCR) como técnica de fim-de-linha ou qualquer outra técnica com eficácia de redução de  $\text{NO}_x$  com eficiência de pelo menos 80%.

Nas instalações com sistemas de grelha contínua ou com forno de grelha, é difícil obter as condições de operação necessárias adequadas a um reator de SCR, devido aos elevados custos. Essa técnica de fim-de-linha só deve ser considerada em circunstâncias em que os padrões de qualidade ambiental sejam difíceis de atingir recorrendo à aplicação de outras técnicas.

#### 4.4 MTPD PARA COQUERIA

Para as instalações de preparação do carvão, incluindo trituração, moagem, pulverização e seleção, consiste MTPD evitar ou reduzir as emissões de material particulado (MP) utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- edificação e/ou isolamento dos dispositivos (tritador, pulverizador, crivos);
- exaustão e utilização eficazes de sistemas subsequentes de despoejamento a seco.

A MTPD para o armazenamento e o manuseio de carvão pulverizado consiste em evitar ou reduzir as emissões difusas de MP utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- armazenamento dos materiais pulverizados em silos e armazéns;
- utilização de transportadores fechados ou de transportadores em recinto fechado;
- minimização da altura de queda dos materiais, dependendo das dimensões e da construção da instalação;
- redução das emissões provenientes do carregamento da torre de carvão e do vagão de carga.

Consiste MTPD carregar as câmaras do forno de coque com sistemas de carga de emissões reduzidas. O carregamento “sem fumo” ou o carregamento sequencial com colunas montantes duplas ou tubos bifurcados são os tipos preferíveis.

Os gases e partículas devem ser captados e tratados. O tratamento deve possuir uma exaustão eficaz das emissões e subsequente combustão dos gases, para destruição dos compostos

orgânicos antes de serem lançados a atmosfera, bem como a utilização de um filtro de mangas para reduzir as emissões de partículas.

Para as coqueiras, consiste MTPD reduzir as emissões mediante uma produção de coque contínua e sem perturbações, utilizando as seguintes técnicas:

- fazer uma manutenção extensiva das câmaras do forno, das portas do forno e das juntas da estrutura, das colunas montantes, dos orifícios de carregamento e de outros equipamentos (deve ser realizado um programa sistemático por pessoal treinado especialmente para proceder à detecção e à manutenção);
- evitar flutuações acentuadas da temperatura;
- observar e monitorizar cuidadosamente o forno de coque;
- limpar portas, juntas da estrutura, orifícios de carregamento, tampas e colunas montantes após o manuseio (aplicável em novas instalações e, em alguns casos, em instalações existentes);
- manter um fluxo livre dos gases nos fornos de coque;
- regular uma pressão adequada durante a coqueificação e aplicar portas munidas de juntas de vedação flexíveis, armadas com molas ou portas com cutelo de vedação (no caso dos fornos com  $\leq 5$  m de altura e em bom estado de funcionamento);
- utilizar colunas montantes estanques, seladas com água, a fim de reduzir as emissões visíveis provenientes do aparelho que faz a passagem da bateria de fornos de coque para o coletor, o tubo de subida e os tubos bifurcados estacionários;
- vedar os orifícios de carregamento com uma suspensão de argila (ou outro material de vedação apropriado), a fim de reduzir as emissões visíveis provenientes de todos os orifícios;
- garantir uma coqueificação completa (evitando o desenformamento de coque mal cozido), mediante a aplicação de técnicas adequadas;
- instalar câmaras de maiores dimensões nos fornos de coque (aplicável em novas instalações ou, em alguns casos de substituição integral da instalação, nas fundições antigas);
- utilizar a regulação variável da pressão nas câmaras do forno durante a coqueificação (a possibilidade de instalar esta técnica em instalações existentes deve ser examinada criteriosamente e está sujeita à situação individual de cada instalação).

A MTPD para a instalação de tratamento de gases consiste em minimizar a fuga de emissões gasosas utilizando as seguintes técnicas:

- minimizar o número de flanges;
- utilizar vedações apropriadas para as flanges e válvulas;
- utilizar bombas estanques (por exemplo, bombas magnéticas);
- evitar as emissões das válvulas de pressão nos tanques de armazenamento, das seguintes formas:
  - ligando a saída da válvula ao coletor de gás de coqueria ou
  - recolhendo e, subsequentemente, queimando os gases.

A MTPD consiste em reduzir o teor de enxofre do gás de coqueria utilizando uma das seguintes técnicas:

- dessulfuração por sistemas de absorção;
- dessulfuração oxidativa por via úmida.

A MTPD para o aquecimento do forno de coque consiste em reduzir as emissões utilizando as seguintes técnicas:

- prevenção de fugas entre a câmara do forno e a câmara de aquecimento por meio da operação regular do forno de coque;
- reparação das fugas entre a câmara do forno e a câmara de aquecimento;
- incorporação de técnicas com baixas emissões de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ );
- utilização de gases de processo dessulfurados do gás de coqueria.

Para o desenformamento de coque consiste MTPD reduzir as emissões de material particulado utilizando as seguintes técnicas:

- exaustão através de uma máquina de transferência de coque integrada equipada com uma cobertura;
- utilização de tratamento do gás captado, com um filtro de mangas ou outro sistema de redução;

A MTPD para a extinção do coque consiste em reduzir as emissões de material particulado utilizando as seguintes técnicas:

- utilização da extinção a seco do coque com recuperação do calor sensível e remoção das partículas provenientes das operações de carregamento, manuseio e seleção através de um filtro de mangas;
- utilização da técnica convencional de extinção úmida do coque com emissões reduzidas.

Para o manuseio do coque consiste MTPD evitar ou reduzir as emissões de partículas utilizando exaustão eficaz e subsequente despoeiramento a seco.

#### **4.5 MTPD PARA ALTO-FORNO**

Consiste em MTPD, no que se refere a material particulado, para o ar deslocado durante o carregamento da unidade de injeção de carvão a partir dos silos de armazenamento, capturar as emissões de partículas e realizar o despoeiramento a seco.

Para a preparação (mistura, dosagem) e transporte da carga consiste em MTPD minimizar as emissões de partículas e proceder à exaustão com subsequente despoeiramento por meio de um precipitador eletrostático ou filtro de mangas.

A MTPD para a nave de vazamento (furos de sangria, canais de vazamento, pontos de carregamento da panela torpedo, sifões) consiste em evitar ou reduzir as emissões difusas de MP utilizando as seguintes técnicas:

- cobertura dos canais de vazamento;
- otimização da eficácia de captura de emissões difusas de partículas e de fumos com a subsequente limpeza dos efluentes gasosos por meio de um precipitador eletrostático ou filtro de mangas.

A MTPD consiste em utilizar revestimentos isentos de alcatrão no canal de vazamento.

Consiste em MTPD minimizar a emissão de gases do alto-forno durante o carregamento

utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- bocal sem campânula com condicionamento primário e secundário;
- sistema de recuperação dos gases;
- utilização dos gases de exaustão do alto-forno para pressurizar os silos superiores.
- dispositivos de despoeiramento a seco, como: defletores, captadores de partículas, ciclones, precipitadores eletrostáticos;

### 4.6 ACIARIA

#### 4.6.1 MTPD para Produção e Vazamento de Aço em Conversor de Oxigênio

A MTPD para a recuperação dos gases do conversor de oxigênio consiste em extrair os gases do conversor, na medida do possível, e limpá-los utilizando as seguintes técnicas em combinação:

- pré-despoeiramento para eliminar as partículas de maiores dimensões por meio de técnicas de separação a seco (por exemplo, defletor, ciclone) ou de separadores úmidos;
- redução das partículas por meio de despoeiramento a seco (por exemplo, precipitador eletrostático) ou despoeiramento por via úmida (por exemplo, lavador)

A MTPD para a recuperação dos gases do conversor de oxigênio durante a sopragem de oxigênio, no caso de combustão completa, consiste em reduzir as emissões de material particulado utilizando uma das seguintes técnicas:

- despoeiramento a seco (por exemplo, precipitador eletrostático ou filtro de mangas);
- despoeiramento por via úmida (por exemplo, lavador ou precipitador eletrostático úmido).

Para minimizar as emissões de partículas provenientes do orifício da lança de oxigênio consiste MTPD utilizar uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- cobertura do orifício da lança durante a sopragem de oxigênio;
- injeção de gás inerte ou vapor no orifício da lança para dissipar a poeira;
- utilização de vedação, combinadas com dispositivos de limpeza da lança.

#### 4.6.2 Despoeiramento Secundário

A MTPD para o despoeiramento secundário inclui as emissões dos seguintes processos:

- transferência do metal quente proveniente da panela torpedo (ou do misturador de metal quente) para a panela de carregamento;
- pré-tratamento do metal quente (pré-aquecimento de recipientes, dessulfuração, desfosforação, remoção de escórias, processos de transferência de metal quente e pesagem);
- processos relacionados com o conversor de oxigênio, como pré-aquecimento de recipientes, entorna durante a sopragem de oxigênio (nomeadamente quando a escória espuma de tal modo que flui para fora do recipiente), carregamento de metal quente e sucata, vazamento de aço líquido e escórias do conversor de oxigênio, e
- metalurgia secundária e vazamento contínuo;

Consiste MTPD:

- minimizar as emissões de partículas por meio de técnicas integradas nos processos, tais como técnicas gerais para evitar ou controlar as emissões difusas ou fugas;

- utilização de isolamentos apropriados e coberturas com exaustão eficiente, com subsequente limpeza dos efluentes gasosos por meio de um filtro de mangas ou precipitador eletrostático.

A eficiência média de controle de material particulado associada à MTPD deve ser > 90 %.

As técnicas gerais para evitar as emissões fugitivas das fontes secundárias do conversor de oxigênio incluem:

- captura e utilização independente de dispositivos de despoeiramento para cada subprocesso na oficina do conversor de oxigênio;
- gestão correta da instalação de dessulfuração, para evitar as emissões para a atmosfera;
- isolamento total da instalação de dessulfuração;
- manter a tampa fechada sempre que a panela de vazamento não estiver a sendo utilizada, limpeza das painéis de metal quente e remoção regular de cascão ou, como alternativa, aplicação de um sistema de exaustão no teto;
- controle informatizado e otimização do processo de produção de aço, por exemplo, de modo a evitar ou reduzir a entorna (quando a escória espuma de tal modo que flui para fora do recipiente);
- fechamento das portas da divisão em torno do conversor durante a sopragem de oxigênio;
- observação contínua do telhado por meio de câmaras para detectar emissões visíveis.

A MTPD para o processamento de escórias no local consiste em reduzir as emissões de material particulado utilizando uma das seguintes técnicas ou várias em combinação:

- exaustão eficiente do triturador de escórias e dos dispositivos de seleção com subsequente limpeza dos efluentes gasosos;
- exaustão ou umedecimento dos pontos de transferência entre transportadores de material fragmentado;
- umectação das pilhas de armazenamento de escórias;
- utilização de atomização de água ao carregar escórias fragmentadas.

## 4.7 MTPD PARA ATIVIDADES DE LAMINAÇÃO

### 4.7.1 Laminação a quente

A seguir as principais MTPD para cada uma das fases do processo da laminação a quente.

#### Chanfragem mecânica

- espaços fechados para a chanfragem mecânica e redução de poeiras por filtração em filtros de tecido.
- precipitador electrostático nos casos em que os filtros de mangas de tecido não possam funcionar devido ao fato de os fumos serem muito úmidos.
- coleta separada de calamina/limalha de ferro provenientes das operações de chanfragem.

#### Retificação

- espaços fechados para a retificação mecânica e cabines dedicadas, equipadas com coberturas de captação para a retificação manual e redução de poeiras por filtração em filtros de tecido.

### Fornos de reaquecimento e tratamento térmico

- evitar excedentes de ar e perdas de calor durante o carregamento, por meio de medidas operacionais (abertura das portas o mínimo necessário para a operação de carregamento) ou de meios estruturais (instalação de portas multissegmentadas para se obter um fecho mais estanque).
- escolha cuidadosa do combustível e implementação de sistemas de automatização/ controle dos fornos para otimizar as condições de aquecimento para o gás natural e misturas gasosas
- recuperação de calor dos gases residuais, com temperatura acima de 350°C, por meio de pré-aquecimento do material de alimentação.
- recuperação do calor dos gases residuais, com temperatura acima de 350°C, por meio de sistemas de queimadores equipados com regeneradores ou recuperadores.
- recuperação do calor dos gases residuais, com temperatura acima de 350 °C, por meio de uma caldeira de recuperação ou de um sistema de arrefecimento
- queimadores do tipo LowNO<sub>x</sub>
- limitação da temperatura de pré-aquecimento do ar.

### 4.7.2 Laminação a frio

A seguir as principais MTPD para cada uma das fases do processo da laminação a frio.

#### Decapagem química

- reduzir o consumo de ácido e a produção de ácido residual,
- redução da carga na fase de decapagem, mediante remoção mecânica prévia da calamina numa unidade fechada, equipada com um sistema de exaustão e filtros de tecido.
- aplicação de uma pré-decapagem electrolítica.
- utilização de instalações otimizadas de decapagem química (decapagem por pulverização ou turbulência, em vez de decapagem por imersão).

#### Decapagem com HCl

- equipamento dentro de um espaço totalmente fechado ou equipamento munido de coberturas e sistema de depuração do ar extraído.

#### Decapagem com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- recuperação do ácido livre por cristalização; dispositivos de depuração do ar para a instalação de recuperação.
- equipamento dentro de um espaço totalmente fechado ou equipamento munido de coberturas e sistema de depuração do ar extraído.

#### Decapagem com misturas de ácidos

- equipamento em espaço fechado/coberturas e sistema de lavagem de gases ou utilização de decapagem isenta de ácido nítrico

#### Aquecimento dos ácidos

- não utilização de injeção direta de vapor.

#### Laminação e revenimento

- sistema de exaustão com tratamento do ar por dispositivos de eliminação

de névoa (separadores de gotas).

#### **Desengraxe**

- sistema de exaustão dos fumos do desengorduramento e sistema de lavagem de gases.

#### **Fornos de recozimento**

- queimadores Low NO<sub>x</sub> para os fornos de funcionamento contínuo.
- pré-aquecimento do ar de combustão por intermédio de queimadores equipados com regeneradores ou recuperadores ou
- pré-aquecimento do material por meio dos gases residuais.

### **4.8 TREFILAGEM**

A seguir um resumo das principais MTPD para cada fase do processo e às diferentes questões ambientais relacionadas com a trefilagem.

#### **Decapagem química descontínua**

- controle de temperatura e concentração do banho.
- nos banhos de decapagem com elevada emissão de vapores, como por exemplo, o banho de HCl aquecido ou concentrado: instalação de uma exaustão lateral e tratamento do ar extraído

#### **Decapagem**

- remoção de calamina sem utilização de ácido, por exemplo, por decapagem a jato abrasivo com granalha, com controle de material particulado.

#### **Trefilagem por via seca**

- encerramento da trefiladora num espaço fechado e sua ligação a um filtro ou dispositivo semelhante

#### **Fornos de recozimento descontínuo, fornos de recozimento em contínuo para aço inoxidável e fornos utilizados na têmpera em óleo e revenimento**

- queima das purgas de gás de proteção.

#### **Linhas de têmpera em óleo**

- exaustão da névoa de óleo resultante dos banhos de têmpera e remoção das névoas de óleo

### **4.9 FUNDIÇÃO DE METAIS**

Constitui-se MTPD para as operações de movimentação de matérias-primas, recebimento, descarga, armazenamento e transporte:

- emissões devem ser controladas encaminhando-as a filtro de tecido;
- armazenamento de sucata em locais protegidos das ações do vento, com proteção do solo, para reduzir o risco de contaminação;
- armazenamento separado das matérias-primas e dos resíduos;
- a utilização de contentores recicláveis;
- boas práticas associadas à transferência do metal em fusão e ao manuseio das painelas de fundição

Operações de preparação de sucata podem emitir hidrocarbonetos, se for utilizado solvente para desengraxe. Esses hidrocarbonetos devem ser coletados e tratados por pós-queimadores com eficiência superior a 95% ou outro equipamento com eficiência equivalente de remoção.

Emissões provenientes de fornos de fusão são material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COVs), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), e pequenas quantidades de cloretos e fluoretos.

As concentrações mais elevadas de emissões de fornos ocorrem quando as tampas do forno e as portas são abertas durante as operações de carregamento, backcharging e remoção de escória. Essas emissões devem ser captadas e tratadas por filtros de tecido, não podendo ter escape de emissões para dentro do prédio ou através de aberturas no telhado.

As MTPD para os fornos elétricos a arco incluem:

- a aplicação de medidas de controle de processo, com o objetivo de reduzir os tempos de fusão e de tratamento,
- à prática da escuma (escória espumosa) uma eficiente captação dos gases de combustão dos fornos, bem como o seu controle com filtro de mangas;

No que se refere à operação dos fornos de indução, são MTPD:

- fusão de sucata limpa, (quando a sucata não é limpa, são usados produtos para facilitar a limpeza do banho. Esses produtos podem causar aumento nas emissões de poluentes)
- a utilização de boas práticas de carregamento e operação,
- a utilização de corrente elétrica de frequência média
- recuperação do calor residual e, em determinadas condições específicas, a implementação de um sistema de reaproveitamento de calor
- captação e tratamento dos gases de exaustão dos fornos, com a utilização de uma coifa ou, para cada forno, extração à boca ou extração na cobertura, de forma a captar todos os gases de exaustão durante todo o ciclo de produção.

No que se refere à operação dos fornos rotativos, são MTPD:

- a implementação de uma combinação de medidas com vista à otimização do rendimento do forno
- a utilização de um queimador a oxigênio (*oxyburner*)
- a captação dos gases de combustão na saída do forno e tratamento por via seca (filtro de tecido) e a aplicação de pós-combustão no caso de emissão significativa de COV;
- resfriamento dos gases por recurso de troca de calor e o subsequente despoeiramento por via seca.

As fontes de combustão sem contato direto da chama com o produto ou matéria-prima devem atender aos critérios do Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível para Fontes de Combustão.

Ocorrem emissões de óxidos de fumos metálicos (na forma de óxidos) quando o material fundido é vazado do forno. No processo de colocação do material fundido no molde, além do óxido de fumos, podem ocorrer emissões de COVs e MP da areia, da mistura de areia com aglutinantes e aditivos. Constitui-se como MTPD para essa atividade:

- encapsulamento das linhas de vazamento e de resfriamento;
- instalação de sistemas de captação de gases para linhas de vazamento em série



- encapsulamento dos equipamentos de retirada das peças dos moldes
- tratamento dos gases de exaustão por filtros de tecido ou precipitador eletrostático.

Para as operações de acabamento constiu-se como MTPD, no que se refere ao corte por abrasão, à granalhagem e à rebarbagem, a captação e o tratamento dos gases de exaustão por via úmida ou seca (separadores ciclônicos).

No caso de acabamento por tratamentos térmicos, constitu-se como MTPD:

- utilização de combustíveis com baixo teor em enxofre,
- operação automática dos fornos
- controle dos sistemas de queima e aquecimento,
- captação e exaustão dos gases provenientes dos fornos de tratamento térmico.

As MTPD para a preparação de moldes com o uso de areias:

- encapsulamento da unidade de remoção de machos
- espoejamento dos gases de exaustão, por via úmida ou seca, como filtros de tecido
- pós-queimadores e incineradores catalíticos podem ser usados para controlar as emissões de CO e de COV
- minimização do consumo de ligantes e de resinas
- minimização das perdas de areia e das emissões fugitivas de COV, mediante a captura dos gases de exaustão associados à preparação e manuseamento de machos e a utilização de revestimentos de base aquosa
- utilização de revestimentos de base álcool, nos casos em que a utilização de revestimentos de base aquosa não se mostra viável. Neste caso, os gases de exaustão deverão ser capturados na linha de revestimento, sempre que possível.
- minimizar as emissões de aminas e otimizar a sua recuperação. Nesses sistemas, a utilização de solventes tanto aromáticos como não-aromáticos é MTPD.
- minimização da quantidade de areia enviada para eliminação, em especial por meio de regeneração e/ou reutilização da areia.

## **5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Algumas fontes em questão estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, e aos padrões de emissão estabelecidos nas Resoluções CONAMA 382/07 e 436/11.

Verifica-se que, para HCT, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

No que se refere às fontes de fundição de metais ferrosos e não ferrosos não existe até o momento limites de emissão específicos para esse tipo de atividade, devendo ser aplicado,

para os produtos de combustão incompleta provenientes dos fornos de fusão, os limites de emissão citados no Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão, desde que não haja contato direto da chama com o metal fundido. Para as demais fontes deverão ser atendidas as exigências de atendimento ao critério de melhor tecnologia prática disponível, em especial a captação eficiente das emissões e demais exigências contidas no licenciamento da fonte.

Cabe ressaltar que os valores colocados nas tabelas a seguir, podem em algumas situações serem considerados altos em função da localização da fonte. Nesses casos deverá ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. As fontes que possuam limites de emissão mais restritos do que os valores colocados nas tabelas 04 e 05, a seguir, devem observar sempre os limites de emissão licenciados. Para aplicação dos limites de emissão citados neste item deverão ser consideradas as definições constantes do Anexo II deste capítulo.

**Tabela 04 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007**

Unidade de Produção	Fontes de Emissão	MP <sup>(a)</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>(b)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>(c)</sup>	% O <sub>2</sub>
Coqueria	Sist. de despoeiramento do desenformamento	40	NA	NA	NA
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	50	800	700	7
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	70	600	700	NA
	Sistema Secundário de Despoeiramento	70	NA	NA	NA
Ato Forno a Coque	Sistema de despoeiramento da Casa de Estocagem	40	NA	NA	NA
	Sistema de despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	40	NA	NA	NA
Alto Forno a Carvão Vegetal	Sistema de despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	NA
	Sistema de despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	50	NA	NA	NA
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	80	NA	NA	NA
	Sistema Secundário de Despoeiramento	40	NA	NA	NA
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	40	NA	NA	NA
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento ≤ 50 t de aço/corrida	50	NA	NA	NA
	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento > 50 t de aço/corrida	40	NA	NA	NA
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com queima de gases siderúrgicos	50	800	700	7
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	70	700	700	NA
Central Termelétrica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	50	600	350	5

(a) expresso em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

(b) expresso como SO<sub>2</sub>, em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

(c) expresso como NO<sub>2</sub>, em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

**Tabela 05 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes**

**instaladas antes de 02 de janeiro de 2007**

<b>Unidade de Produção</b>	<b>Fontes de Emissão</b>	<b>MP<sup>(a)</sup></b>	<b>SO<sub>x</sub><sup>(b)</sup></b>	<b>NO<sub>x</sub><sup>(c)</sup></b>	<b>% O<sub>2</sub></b>	<b>Limite aplicável a partir de</b>
Coqueria	Sist. de despoeiramento do desenformamento	40	NA	NA	NA	2016
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	50	800	700	7	2014 para SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub> e 2018 para MP
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	70	600	700	NA	2014 para SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub> e 2018 para MP
	Sistema Secundário de Despoeiramento	70	NA	NA	NA	2018
Ato Forno a Coque	Sistema de despoeiramento da Casa de Estocagem	40	NA	NA	NA	2018
	Sistema de despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	40	NA	NA	NA	2016
Alto Forno a Carvão Vegetal	Sistema de despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	NA	2014
	Sistema de despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	50	NA	NA	NA	2014
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	80	NA	NA	NA	2014
	Sistema Secundário de Despoeiramento	40	NA	NA	NA	2016
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	40	NA	NA	NA	2016
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento ≤ 50 t de aço/corrida	50	NA	NA	NA	2014
	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento > 50 t de aço/corrida	40	NA	NA	NA	2014

Unidade de Produção	Fontes de Emissão	MP <sup>(a)</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>(b)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>(c)</sup>	% O <sub>2</sub>	Limite aplicável a partir de
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com queima de gases siderúrgicos	60	1000	700	7	2016 para MP, 2018 para SO <sub>x</sub> e 2014 para NO <sub>x</sub>
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	70	700	700	NA	2014
Central Termelétrica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	60	600	350	5	2016 para MP e 2014 para SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub>

(a) expresso em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

(b) expresso como SO<sub>2</sub>, em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

(c) expresso como NO<sub>2</sub>, em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca e no teor de oxigênio explicitado na tabela

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEIA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na tabela a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas

de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

No caso das fontes de fundição de metais ferrosos e não ferrosos é imprescindível que as emissões estejam captadas em sua totalidade e que as condições de fluxo, localização dos pontos de coleta e diâmetro interno da chaminé estejam de acordo com as normas CETESB para amostragem em chaminé (Normas L9.221, L9.222, L9.223 e L9224).

**Tabela 06 – Frequência de amostragem pelo método de amostragem em chaminé**

Fonte		Poluente			
		MP	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	HCTNM *
Coqueria	Sistema de Despoeiramento	anual	-	-	-
	Fornos de coque	anual	anual	anual	anual
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	anual	anual	anual	anual
	Sistema Secundário de Despoeiramento	anual	-	-	-
Alto Forno	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	anual	-	-	-
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	anual	-	-	-
Aciaria	Sistema de Despoeiramento	anual	-	-	-
	Forno	anual	anual	anual	anual
Laminação	Fornos de reaquecimento	bienal	bienal	bienal	bienal
Pelotização	Fornos de pelotização	anual	anual	anual	anual
Central termoeletrica	Caldeiras ou turbinas com queima de gases siderúrgicos	anual	anual	anual	anual
Fundição de metais ferrosos e não ferrosos	Sistema de Despoeiramento	LOR			
	Fornos	anual	anual	anual	anual
	Fornos panelas	anual			LOR
	Preparação dos moldes	LOR			
	Unidades de regeneração dos moldes	LOR		LOR	LOR
	Moldagem das peças	LOR			LOR
	Vazamento	anual			anual
	Acabamento das peças	LOR			
Acabamento das peças com processo térmico	anual	anual	anual	anual	

(\*) HCTNM – hidrocarbonetos totais não metanos medidos pelo método USEPA 25A

LOR – amostragem quando da renovação da Licença de Operação

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS  
EMISSÕES PARA A ATMOSFERA**

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Dessulfuração úmida ou de carvão ativado regenerado (CAR)	SO <sub>x</sub> e NO <sub>x</sub>	<p>As técnicas de dessulfuração por via seca baseiam-se numa adsorção de SO<sub>2</sub> por carvão ativado. Quando o carvão ativado saturado de SO<sub>2</sub> é regenerado, o processo designa-se carvão ativado regenerado (CAR). Nesse caso, pode ser utilizado um tipo de carbono ativado dispendioso e obtém-se ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como subproduto. O leito é regenerado com água ou termicamente. Em alguns casos, para «afinação» a jusante de uma unidade de dessulfuração existente, é utilizado carvão ativado à base de lenhite, e o carvão ativado saturado de SO<sub>2</sub> é então normalmente incinerado sob condições controladas.</p> <p>O sistema CAR pode ser desenvolvido como processo de uma ou duas fases.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No processo de uma fase, os gases residuais são conduzidos através de um leito de carvão ativado e as substâncias poluentes são adsorvidas pelo carvão ativado. Adicionalmente, a remoção de NO<sub>x</sub> ocorre sempre que é injetado amoníaco (NH<sub>3</sub>) no fluxo de gases a montante do leito catalisador.</li> <li>• No processo de duas fases, os gases residuais são conduzidos através de dois leitos de carvão ativado. Pode ser injetado amoníaco a montante do leito, para reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases emitidos são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de lançar os gases na atmosfera. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Lavador de gases tipo venturi	MP e SO <sub>x</sub>	<p>O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes. Um lavador venturi consiste em três seções: uma seção convergente, uma seção de garganta, e uma seção divergente.</p> <p>O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta (em conformidade com a equação de Bernoulli). A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da a seção convergente.</p> <p>O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. Partícula e remoção de gás ocorrem na seção da garganta onde o fluxo do gás de admissão se mistura com a névoa da solução o nevoeiro de gotículas de líquido minúsculos. A corrente de entrada em seguida, sai através da secção divergente, onde é forçado a abrandar.</p>
Precipitador Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições
Queimadores tipo LowNO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	<p>A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno.</p> <p>Queimadores tipo Ultra-LowNO<sub>x</sub> (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.</p>
Recirculação dos gases de combustão	NO <sub>x</sub>	Reinjeção dos gases do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama.

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Recirculação de gases residuais	NO <sub>x</sub>	<p>Uma parte do gás residual da sinterização é recirculada para o processo de sinterização. Adicionalmente, pode gerar uma redução do consumo de energia.</p> <p>A aplicação da recirculação requer cuidados especiais para garantir que a qualidade do sinter e a produtividade não sejam afetadas. É necessário prestar especial atenção ao monóxido de carbono (CO) nos gases residuais recirculados. Foram desenvolvidos vários processos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• reciclagem parcial dos gases residuais provenientes de toda a linha,</li> <li>• reciclagem dos gases residuais provenientes da linha de sinterização final em combinação com a permutação de calor:</li> <li>• reciclagem de gases residuais de parte da linha de sinterização final e utilização de gases residuais da refrigeração do sinter</li> <li>• reciclagem de parte dos gases residuais para outros locais da linha de sinterização</li> </ul>
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NO <sub>x</sub> para nitrogênio em um leito catalítico por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300°C e 450°C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO <sub>x</sub>
Redução seletiva não catalítica (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio, por meio de um reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.
Separadores ciclônicos	MP	As partículas são extraídas por meio de um processo de centrifugação dos gases. Esse fenômeno ocorre com a indução de um escoamento rotativo no interior do ciclone. Isto ocorre devido à velocidade com a qual os gases entram tangencialmente na câmara do ciclone, de formato cônico. Sendo muito mais densas que os gases, as partículas tem maior tendência em permanecer na trajetória tangente ao escoamento rotativo e assim colidir com as paredes da câmara. Com as colisões, as partículas perdem velocidade e tendem a se desacoplar do escoamento caindo em direção ao fundo da câmara, de onde são extraídas. A eficiência de remoção de particulado é tão maior quanto maior for o diâmetro médio das partículas e maior for a densidade das mesmas. Em consequência desses limites físicos, os ciclones não permitem coletar partículas muito finas. Em sistemas de limpeza de gases, são sempre empregados em conjunto com precipitadores eletrostáticos ou filtros de mangas



## ANEXO II DEFINIÇÕES PARA EFEITO DESTA GUIA

- **Aciaria elétrica:** unidade de fusão e refino com a utilização de forno elétrico onde o calor necessário a fusão da carga metálica (principalmente sucata de aço) é produzido pela ação de um arco elétrico formado entre eletrodos. Essa carga metálica, que, posteriormente, é refinada, por meio de reações entre suas impurezas e as adições - fundentes, desoxidantes e ferro-liga - empregadas na obtenção dos aços comuns e especiais;
- **Aciaria LD:** unidade de refino do ferro gusa com a utilização de um conversor, que recebe uma carga constituída por esse metal líquido e, pequenas quantidades de sucata, onde o oxigênio é soprado no banho metálico, com o objetivo de diminuir os teores de carbono e impurezas até valores especificados para os diferentes tipos de aço produzidos;
- **Alto-forno:** forno siderúrgico onde é produzido o ferro gusa, a partir da redução e fusão de uma carga constituída por minério de ferro, fundentes, combustível e redutor (coque ou carvão vegetal), obtendo-se, como subprodutos: escória, gases e material particulado;
- **Alto-forno a carvão vegetal:** alto-forno que utiliza o carvão vegetal como combustível e redutor no processo de produção do ferro gusa;
- **Alto-forno a coque:** alto-forno que utiliza o coque como combustível e redutor no processo de produção do ferro gusa;
- **Câmaras de combustão dos fornos de coque:** local onde se processa a queima de gases siderúrgicos, utilizada para aquecimento dos fornos da coqueria e para a destilação do carvão mineral empregado na produção de coque;
- **Central termelétrica siderúrgica:** instalação que produz energia elétrica a partir da queima de combustíveis gasosos gerados na própria siderúrgica;
- **Ciclo completo de produção do aço:** compreende todas as etapas de produção de aço na Aciaria LD ou elétrica, desde o carregamento das matérias-primas até o vazamento do aço;
- **Coqueria:** unidade produtiva onde ocorre a destilação do carvão mineral para a produção do coque metalúrgico - redutor e combustível necessário as operações do alto-forno;
- **Dessulfuração do gusa:** processo utilizado para remoção parcial do enxofre contido no ferro gusa por meio da adição de um agente dessulfurante (calcário, carbureto de cálcio e outros) ao metal líquido;
- **Exaustão das caldeiras das centrais termelétricas:** sistema de captação e direcionamento dos gases de combustão do processo de geração de energia;

- **Fornos de reaquecimento da laminação:** fornos destinados ao aquecimento dos produtos a serem laminados cujas demandas térmicas são supridas principalmente pela queima de gases siderúrgicos;
- **Gases siderúrgicos:** gases gerados nas unidades de coqueria (gás de coqueria), alto-forno (gás de alto-forno) e aciaria (gás de aciaria) utilizados como combustíveis;
- **Laminação:** processo de transformação mecânica, que consiste na passagem de um material metálico entre dois cilindros giratórios, com redução progressiva da espessura ou transformação do material no perfil desejado, por efeito do esforço de compressão exercido pelos cilindros;
- **Pelotização:** processo de aglomeração que consiste na utilização de finos de minério de ferro e um ligante para a formação de pelotas cruas, mediante a ação de rolamento em tambores, discos ou cones, seguida de secagem e queima em fornos para endurecimento das pelotas;
- **Sinterização:** processo de aglomeração a quente, que consiste na formação de um bloco poroso, denominado sinter, formado a partir da fusão incipiente de uma carga constituída por finos de minério de ferro juntamente com finos de coque ou carvão vegetal e fundentes;
- **Sistema de despoeiramento da casa de estocagem do alto-forno a coque:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nos processos de transferência, carregamento e descarregamento dos silos de matérias primas;
- **Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida dos altos-fornos a coque ou a carvão vegetal:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado durante o vazamento de gusa dos fornos e carregamento dos carros torpedos;
- **Sistema de despoeiramento da dessulfuração do gusa:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado no processo de dessulfuração do gusa;
- **Sistema de despoeiramento de estocagem do alto-forno a carvão vegetal:** processo de captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nas etapas de beneficiamento e alimentação, carregamento e descarregamento dos silos de matérias primas;
- **Sistema de despoeiramento do desenformamento da coqueria:** sistema destinado à captação e tratamento para a remoção do material particulado gerado no processo de desenformamento do coque;
- **Sistema de exaustão do forno de pelotização:** sistema primário e secundário de captação dos gases e partículas resultantes da queima de combustíveis utilizados para suprir as demandas térmicas do forno de pelotização e da queima e endurecimento das pelotas de minério de ferro;

- **Sistema primário de despoeiramento da aciaria elétrica:** sistema destinado à captação e tratamento para a remoção do material particulado gerado nos processos de fundição de sucata e refino do aço no forno elétrico de aciaria;
- **Sistema primário de despoeiramento da aciaria LD:** sistema destinado à exaustão e tratamento dos gases gerados durante o sopro no conversor LD;
- **Sistema primário de despoeiramento da sinterização:** sistema destinado à exaustão e captação de material particulado gerado na máquina de produção de sinter;
- **Sistema secundário de despoeiramento da aciaria elétrica:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado, gerado tanto na operação de carregamento de sucata, quanto o contido nas emissões fugitivas originadas nos processos de fundição da sucata, refino e vazamento do aço;
- **Sistema secundário de despoeiramento da aciaria LD:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nas operações de basculamento e pesagem do gusa, retirada de escória, carregamento de sucata e gusa no convertedor e vazamento do aço;
- **Sistema secundário de despoeiramento da sinterização:** sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nos processos de peneiramento, britagem e transferências do sinter e das matérias-primas do processo de sinterização;



## CAPÍTULO 8 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE



### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

O presente guia abrange as seguintes instalações:

- Tratamento de superfície metálica, e
- Tratamento de superfície plástica.

O presente guia não abrange os equipamentos listados abaixo e que utilizem combustíveis convencionais (gás natural, GLP, óleo diesel, óleo combustível ou biomassa). Para estes equipamentos deverão ser utilizadas as orientações da Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão (Capítulo 2):

- Caldeiras;
- Aquecedores de fluido térmico;
- Secadores sem contato direto da chama com o produto, e
- Fornos sem contato direto da chama com o produto.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a

sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia (CE) e da Agência Ambiental Americana (EPA).

O guia engloba as fontes pontuais de emissão de poluentes (chaminé) e demais fontes dentro do processo de tratamento de superfície metálica e superfície plástica.

Este guia considera como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também melhorias no processo produtivo que:

- utilizem técnicas de processo que produzam menos emissões atmosféricas de poluentes e
- diminuam o consumo de combustíveis (eficiência energética).

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $CH_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $SO_x$ ,  $NO_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $O_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana "California Air Resources Board" link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

### 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

Este guia versa sobre instalações de tratamento de superfície metálicas ou plásticas de matérias, objetos ou produtos que utilizem solventes orgânicos, nomeadamente para operações de preparação, impressão, revestimento, desengraxe, impermeabilização, colagem, pintura, limpeza ou impregnação.

Os metais e as matérias plásticas são tratados a fim de alterar as propriedades da sua superfície para fins de:

- decoração e refletividade,
- aumento de dureza e resistência ao desgaste,
- prevenção da corrosão, e
- formar uma base para melhorar a aderência de outros tratamentos, como a pintura ou revestimentos fotossensíveis para impressão.

As placas de circuitos impressos são um caso especial, no qual circuitos eletrônicos complexos são fabricados pela aplicação de metais na superfície de matérias plásticas. Este guia, em função da tipologia das empresas participantes do PREFE, não irá englobar esse tipo de tratamento.

O setor de tratamentos de superfície de metais propriamente dito não constitui um setor distinto, visto prestar serviços a uma vasta gama de outras indústrias, como automobilística, construção, embalagens para alimentos e bebidas, etc.

Com exceção de algumas atividades simples, todas as atividades exigem algum pré-tratamento (por exemplo, desengraxe), seguido, no mínimo, por uma operação principal (por exemplo, eletrodeposição, anodização ou tratamento químico) e finalmente secagem.

O presente documento discute:

- três processos de impressão que utilizam solventes em grande escala (impressão *offset* com secagem a quente, embalagens flexíveis e gravura utilizada em publicações)
- o revestimento e/ou pintura de bobinas de aço e de alumínio, embalagens metálicas, além de outras superfícies metálicas e plásticas;
- a aplicação de produtos adesivos no fabricação de abrasivos e de fitas adesivas;
- a impregnação de madeiras com produtos de proteção, e
- a limpeza e desengraxe associadas a essas atividades.

Há determinadas atividades que não estão contempladas no presente documento, como:

- processos de preparação, impermeabilização, colagem ou impregnação na área dos Têxteis e Curtumes
- a produção de laminados, aglomerados de madeira, etc.
- a fabricação de tintas, adesivos, etc.

Neste guia iremos tratar também dos critérios de melhor tecnologia de tratamentos de superfícies e peças metálicas por outros metais ou ligas metálicas, como revestimento contínuo por imersão a quente e galvanização.

No processo de revestimento por imersão a quente, a chapa fina ou o fio de aço passam continuamente através de metal fundido. Tem lugar uma reação entre os dois metais de modo a formar uma liga, a qual dá origem a uma boa aderência entre o revestimento e o substrato.

Os metais próprios para serem utilizados no revestimento por imersão a quente são aqueles que possuem um ponto de fusão suficientemente baixo para evitar alterações térmicas no produto de aço; por exemplo, o alumínio, o chumbo, o estanho e o zinco.

De um modo geral, as linhas de revestimento contínuo de chapas finas compreendem os seguintes passos:

- limpeza da superfície por meio de tratamento químico e/ou térmico;
- tratamento térmico;
- imersão num banho de metal fundido e
- tratamento de acabamento.

As instalações de galvanização contínua de fio incluem os seguintes passos:

- decapagem;
- tratamento com fundentes;
- galvanização e acabamento

As principais questões ambientais são as emissões ácidas para a atmosfera, resíduos e águas

residuais ácidas, emissões para a atmosfera e consumo de energia dos fornos, resíduos contendo zinco e águas residuais contendo óleo e cromo.

A galvanização por imersão a quente é um processo de proteção contra a corrosão no qual os produtos de ferro e aço são protegidos mediante a aplicação de um revestimento de outras ligas metálicas sobre os mesmos. Na galvanização descontínua por imersão a quente é feito o tratamento de uma grande variedade de materiais com dimensão, quantidade e natureza dos materiais que podem apresentar diferenças significativas.

Os produtos a revestir nas instalações de galvanização descontínua normalmente são produtos de aço, tais como pregos, parafusos e outros artigos muito pequenos, grades, elementos de construção, componentes estruturais, postes de iluminação e muitos outros.

Normalmente os tubos são também galvanizados em instalações convencionais de galvanização descontínua, porém, pode ocorrer em instalações especiais de galvanização semiautomáticas ou totalmente automáticas e não é geralmente abrangida pelo termo galvanização.

A galvanização descontínua compreende geralmente as seguintes fases de processamento:

- desengraxe;
- decapagem química;
- tratamento com fundentes;
- galvanização (revestimento de metal fundido) e
- acabamento

Uma instalação de galvanização é essencialmente constituída por uma série de banhos de tratamento ou processamento. O aço é deslocado entre os tanques e mergulhado nos banhos por intermédio de pontes rolantes.

As principais questões ambientais relacionadas com a galvanização descontínua são as emissões para a atmosfera (HCl proveniente da decapagem química, poeiras e compostos gasosos provenientes da caldeira).

#### 4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de tratamento de superfícies metálicas ou de plástico, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação e a adesão a um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos obrigatoriamente devem atender aos seguintes requisitos:

- todos os pontos de aplicação de produtos para revestimento como tintas, vernizes ou outro produto ou matéria-prima com a presença de solventes devem ter suas emissões captadas e tratadas,
- a preparação de matéria-prima envolvendo produtos com solventes devem ser realizadas em salas fechadas, com sistema de exaustão e tratamento dos gases,
- o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deve ser realizado através de chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno da fonte poluidora e



- os padrões de qualidade do ar estabelecidos, e
- deve haver medidor de consumo de combustível de forma individualizada, para cada fonte de combustão;

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014. Após o levantamento previsto no PREFE aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

#### **4.1 MTPD COMUM A TODOS OS TRATAMENTOS**

Constitui MTPD:

- minimizar os consumos e as emissões, por meio de:
  - aplicação e cumprimento de sistemas de gestão ambiental e de outros sistemas de gestão, validados externamente ou não;
  - utilização de técnicas operacionais, incluindo a automação, formação e procedimentos escritos de funcionamento e manutenção;
  - minimização do número de flanges (conectores);
  - juntas eficazes;
  - sistemas de amostragem fechados;
  - drenagem dos efluentes contaminados em sistemas fechados;
  - captação das correntes de purga/ escape (vents)
- as empresas de tratamento de superfície devem evitar ou reduzir as emissões difusas provenientes do armazenamento, do manuseio e do transporte de materiais, utilizando uma das técnicas a seguir indicadas ou várias em combinação:
  - atenção redobrada aos procedimentos para evitar o manuseio desnecessário dos materiais e descargas longas de materiais em locais desabrigados;
  - armazenamento de sucata em locais cobertos e/ou sobre pisos de concreto, para minimizar o levantamento de poeiras provocado pelo deslocamento de veículos.

Constitui MTPD a supervisão e acompanhamento das emissões de solventes, de modo a minimizar a sua utilização, por meio de:

- utilização de um plano de gestão dos solventes, fundamental para o cálculo das emissões resultantes de fugas ou das emissões totais: os planos devem ser regularmente revistos, embora se possam definir parâmetros-chave para a avaliação comparativa e para o controle regular. Devem ser realizadas medições directas adequadas para as técnicas em questão;
- garantia de manutenção regular dos equipamentos críticos para o cálculo das emissões e da respectiva calibração, sempre que necessária.

Constitui MTPD:

- minimizar o impacto ambiental das emissões por meio da seleção de matérias-primas apropriadas;
- a aplicação das técnicas descritas, em particular:
  - minimização dos volumes de ar a deslocar;
  - minimização das perdas de energia de reação;
  - controle das elevadas necessidades de energia quando da partida dos equipamentos e
  - utilização de equipamentos com maior eficiência energética, etc.

### 4.2 REVESTIMENTO CONTÍNUO POR IMERSÃO A QUENTE

Principais MTPD para cada fase do processo de galvanização contínua por imersão a quente:

**Desengraxe:**

- Tanques cobertos, com exaustão e depuração do ar exaurido por meio de uma torre de lavagem de gases ou um separador de névoa;
- Utilização de rolos compressores para minimizar a quantidade de líquido arrastado.

**Fornos de tratamento térmico:**

- Queimadores LowNO<sub>x</sub>;
- Pré-aquecimento do ar por queimadores equipados com regeneradores ou recuperadores;
- Pré-aquecimento das bandas.
- Produção de vapor para recuperar o calor dos gases residuais.

**Fosfatação e passivação/cromatação:**

- Banhos de processamento cobertos.

### 4.3 GALVANIZAÇÃO DESCONTÍNUA

Principais MTPD para a galvanização descontínua:

**Imersão a quente:**

- Captar as emissões provenientes da imersão, por meio de encerramento da cuba num espaço fechado ou por exaustão a partir do bico e redução das poeiras por filtração em filtro de tecido ou utilizando lavador de gases;

### 4.4 ANODIZAÇÃO

Existem MTPD específicas para a anodização, incluindo:

- a recuperação de calor a partir dos banhos
- recuperação dos agentes de decapagem alcalinos

### 4.5 TRATAMENTO CONTÍNUO PARA BOBINAS DE AÇO

Relativamente ao tratamento de superfície em contínuo para bobinas de aço de grandes dimensões, para além de outras MTD relevantes, são consideradas MTPD:

- a utilização em tempo real de controles integrados para a otimização dos processos;
- a substituição de motores usados por motores mais eficientes em termos energéticos;
- a utilização de cilindros compressores para evitar arrastes (*drag-in/drag-out*);
- a inversão da polaridade dos eletrodos, a intervalos regulares, no desengorduramento e decapagem eletrolíticos;
- a otimização da distância ânodo-cátodo nos processos eletrolíticos;
- a otimização do desempenho do cilindro condutor por polimento;
- a utilização de equipamento de polimento para remover o metal acumulado nos bordas da banda;
- a utilização de máscaras nos bordos da banda, para evitar a acumulação excessiva de metal e o escorrimto, quando o revestimento metálico é aplicado apenas num dos lados da banda.

#### 4.6 SISTEMAS PARA O TRATAMENTO, APLICAÇÃO E SECAGEM/CURA DE SUPERFÍCIES

Constitui MTPD:

- minimizar as emissões de COV e o consumo de energia;
- maximizar a eficiência da utilização das matérias-primas (ou seja, minimizar os desperdícios);
- poupar matéria-prima e reduzir as emissões de solventes, minimizando as alterações de cor e as limpezas;
- reduzir as emissões de solventes por meio da coleta e reutilização dos solventes utilizados para purgar as pistolas aerográficas, durante a limpeza;
- utilizar técnicas sem solventes ou com pequenas quantidades de solventes para a limpeza;
- captar todos os pontos de aplicação das tintas, estufas de curas e secagem, direcionando os gases para um sistema de tratamento térmico ou de oxidação;
- minimizar as emissões na fonte e recuperar ou destruir os solventes presentes nos efluentes gasosos (a utilização de materiais com baixo teor de solventes pode exigir um consumo excessivo de energia);
- tentar recuperar e utilizar o calor em excesso gerado pela destruição dos COV e minimizar a energia utilizada para a extração e destruição dos COV;
- reduzir as emissões de solventes e o consumo de energia por meio da utilização das técnicas descritas, incluindo a redução do volume extraído e a otimização e/ou concentração do teor de solventes;
- utilizar queimadores tipo LowNO<sub>x</sub>.

Constitui MTPD, nos casos em que um receptor sensível seja afetado, utilizar uma técnica de controle de odor, como a utilização de matérias e/ou processos menos odoríferos e/ou o tratamento dos efluentes gasosos, com exaustão dos gases tratados em chaminés elevadas.

#### 4.7 IMPRESSÃO OFF-SET COM SECAGEM A QUENTE

Constitui MTPD utilizar uma combinação de técnicas de impressão, limpeza, gestão dos efluentes gasosos, bem como MTPD genéricas, para reduzir o conjunto das emissões devidas a fugas e os COV remanescentes após tratamento dos efluentes gasosos.

Os valores de emissões associados, para a combinação álcool isopropílico e solvente de limpeza, são:

- para as máquinas novas ou sujeitas a modernização, 2,5 a 10 % de COV, expressos em percentagem ponderada do consumo de tinta;
- para as máquinas existentes, 5 a 15 % de COV, expressos em percentagem ponderada do consumo de tinta.

#### **4.8 IMPRESSÃO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS POR FLEXOGRAFIA E GRAVURA DE EMBALAGENS**

Constitui MTPD captar todos os pontos de emissão e utilizar uma combinação das técnicas descritas a seguir para reduzir as emissões totais (normais e provenientes de fugas) de COV:

- destruição térmica com eficiência acima de 95% de eficiência de destruição;
- recuperação dos solventes;
- utilizar produtos com baixo teor de solventes ou sem solventes, e
- efetuar os trabalhos que utilizam maiores teores de solventes em máquinas ligadas a um sistema de tratamento de efluentes gasosos.

#### **4.9 IMPRESSÃO DE GRAVURAS PARA PUBLICAÇÕES**

Constitui MTPD:

- reduzir o conjunto das emissões devidas a vazamentos;
- implantar tratamento para efluentes gasosos, com eficiência maior do que 95%;
- evitar o uso excessivo de energia, por meio da utilização de equipamentos de tratamento térmico com regenerações e que atendam aos os valores de emissões pretendidos.

#### **4.10 FABRICAÇÃO DE FIOS PARA BOBINA**

Constitui MTPD:

- minimizar o consumo de energia após a secagem dos fios, utilizando ar ambiente e/ou exterior para o resfriamento;
- reduzir as emissões totais de COV por meio de uma combinação das técnicas descritas, bem como de MTPD genéricas. Os valores totais de emissões associados a essas técnicas são:
  - 5 g/kg ou menos para os fios grossos (>0,1 mm diâmetro)
  - 10 g/kg ou menos para os fios finos (0,01-0,1 mm diâmetro)
- reduzir as emissões de COV investigando e aplicando técnicas com baixa utilização de solventes ou sem solventes, em substituição dos lubrificantes à base de solventes

#### **4.11 FABRICAÇÃO DE ABRASIVOS**

Constitui MTPD:

- reduzir as emissões totais de COV por meio da utilização de uma ou mais das seguintes técnicas, em conjugação com as MTPD genéricas:
  - utilizar matérias de colagem com baixo teor de solventes ou sem solventes;
  - aumentar a concentração interna de solventes nas secadoras;
  - utilizar uma combinação adequada de técnicas de tratamento dos efluentes gasosos com eficiências acima de 90%.

#### **4.12 FABRICAÇÃO DE FITAS ADESIVAS**

Na produção de fitas com adesivos à base de solventes, reduzir as emissões de COV por meio da utilização de uma combinação de técnicas, em conjunção com as MTPD genéricas, que incluem:

- utilização de adesivos com solventes à base de água;
- utilizar um ou uma combinação dos seguintes sistemas de tratamento dos efluentes gasosos:
  - condensação, após fase de pré-secagem em secador com gás inerte;
  - adsorção, com uma eficiência de recuperação superior a 90% das entradas de solventes e com emissões diretas inferiores a 1%, após aplicação desta técnica de redução;
  - oxidadores com recuperação de energia

#### **4.13 REVESTIMENTO DE OUTRAS SUPERFÍCIES METÁLICAS**

Constitui MTD:

- reduzir o consumo e as emissões de solventes;
- maximizar a eficiência da aplicação do revestimento e minimizar a utilização de energia por meio de uma técnica ou combinação de técnicas de pintura, secagem e tratamento dos efluentes gasosos;
- reduzir o consumo de matérias utilizando técnicas de aplicação de elevada eficiência;
- utilizar outros sistemas de pintura para substituir as tintas à base de solventes halogenados.

#### **4.14 REVESTIMENTO E IMPRESSÃO DE EMBALAGENS METÁLICAS**

Constitui MTD:

- reduzir o consumo de energia por meio da utilização de diversas técnicas e/ou da recuperação da energia do tratamento térmico dos efluentes gasosos;
- reduzir as emissões de solventes utilizando uma seleção de técnicas e matérias-primas que diminuam o consumo de produtos, aplicação e tempo de cura.

#### **4.15 REVESTIMENTO DE PEÇAS PLÁSTICAS**

Constitui MTD:

- maximizar a eficiência da aplicação do revestimento;
- minimizar a utilização de energia por meio de técnicas ou combinações de técnicas de pintura, secagem e tratamento dos efluentes gasosos;
- reduzir o consumo de matérias utilizando técnicas de aplicação de elevada eficiência;
- dar prioridade à utilização de técnicas à base de água;
- desengraxar as superfícies simples de polipropileno à mão, utilizando toalhetes impregnados de solvente.

#### **4.16 REVESTIMENTO DE ESPELHOS**

Constitui MTD:

- reduzir o consumo e as emissões de solventes (principalmente xileno);
- reduzir a utilização de matérias perigosas, utilizando tintas com baixo teor de mercúrio.

### 5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

As fontes de emissão provenientes de indústrias de tratamento de superfície estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, devendo também ser observadas as exigências contidas no Decreto Estadual 59.113/13.

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste guia, será feita pela análise e aprovação da CETESB de um plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, no qual deverá constar as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Para as fontes de combustão aplica-se os limites de emissão citados no Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão (Capítulo 2), desde que não haja contato direto da chama com o produto.

### 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEA, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

A exigibilidade de monitoramento contínuo, ou modelos preditivos (PEMS) esta vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.

No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia

---

são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

Para a amostragem em chaminé é imprescindível que as emissões estejam captadas em sua totalidade e que as condições de fluxo, localização dos pontos de coleta e diâmetro interno da chaminé estejam de acordo com as normas CETESB para amostragem em chaminé (Normas L9.221, L9.222, L9.223 e L9.224).

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS  
EMISSÕES PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Finalidade</b>
Absorção Via úmida	COV	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuárias e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração (por exemplo: cabine de pintura com cortina d'água)
Absorção Via seca	COV	Os compostos gasosos são absorvidos em um material poroso como cartuchos de papel
Adsorção com carvão ativado	COVs	Adsorção com carvão ativado é um método de filtragem que utiliza um leito de carvão ativado para remover os contaminantes e impurezas, utilizando adsorção química. O carvão ativado funciona por meio de um processo chamado de adsorção, em que as moléculas poluentes no líquido a ser tratado ficam na superfície dos poros do substrato de carbono.
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de Gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases libertados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração.



Técnica ou ECP	Poluente	Finalidade
Queimadores tipo LowNO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno. Queimadores tipo Ultra-LowNO <sub>x</sub> (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.
Recirculação de gases residuais	NO <sub>x</sub>	Uma parte do gás residual é recirculada para o processo de cura, secagem ou destruição térmica. Adicionalmente, pode gerar uma redução do consumo de energia. A aplicação da recirculação requer cuidados especiais para garantir que a qualidade do produto e a produtividade não sejam afetadas.
Recirculação dos gases de combustão	NO <sub>x</sub>	Reinjeção dos gases do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama.
Tratamento Catalítico	COVs	O tratamento catalítico é caracterizado pela destruição de COV sem a presença de chama, a temperaturas entre 200 e 500°C, com a presença de um catalizador.
Tratamento Térmico	COVs	No Tratamento térmico os componentes orgânicos e inorgânicos presentes no ar de exaustão são oxidados e/ou destruídos com a presença de chama, a uma temperatura superior a 700°C. Podem utilizar o poder calorífico do gás a ser tratado e/ou com o uso de combustível gasoso como GLP ou gás natural.



## CAPÍTULO 9 PRODUÇÃO DE VIDRO

# 9

### 1. INTRODUÇÃO

Este documento estabelece alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD) como instrumento auxiliar para realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do estado de São Paulo com base no Decreto Estadual nº 59.113/2013. O guia é uma referência técnica que visa dar suporte a implementação do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Decisão de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

O guia é uma referência técnica que elenca as alternativas de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), para auxiliar a realização de diagnóstico das fontes de emissões atmosféricas do Estado de São Paulo.

Tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelos setores produtivos e não é a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade de sua implantação. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais.

No contexto deste documento, a indústria de vidro pode ser dividida em quatro setores. Essa divisão em setores baseia-se no tipo de produtos fabricados, mas existe, inevitavelmente, alguma sobreposição entre eles. Os setores são:

- vidro de embalagem;
- vidro plano;
- vidro doméstico, e
- vidro especial.

### 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para este guia, melhor tecnologia prática disponível (MTPD) é o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente.

Utilizaram-se, como referência para a pesquisa, os dados da Comunidade Européia, Environmental Agency of United States (EPA) e World Bank/Environment Department.

Este guia contempla os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e composto orgânico volátil (COV) não-metano, conforme definido pelo Decreto 59.113, como todo composto orgânico, exceto o metano ( $\text{CH}_4$ ), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB.

Este guia não proporciona uma panorâmica completa das emissões deste setor, focando nas emissões de MP,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  e COV, sendo que este último, para efeito do atendimento ao Decreto Estadual 59.113/13, será expresso como hidrocarbonetos totais não metanos (HCTNM). Os COV que são reativos fotoquimicamente dentro do conceito de Reatividade Incremental ou Incremento de Reatividade, podem ser consultados na tabela MIR/Carter que relaciona os COV e seus respectivos potencial ( a quantidade de  $\text{O}_3$  formado por unidade de COV). A relação destes COV pode ser encontrada no website da instituição americana “California Air Resources Board” link : <http://www.arb.ca.gov/research/reactivity/mir09.pdf>.

Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por fontes de emissão ou processo produtivo instalado nas empresas existentes no Estado de São Paulo.

### 3. DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO PRODUTIVO

A maior parte dos processos e das técnicas de fabricação, usualmente encontrados na produção de vidro, pode ser dividida em cinco fases de processo principais: manuseio das matérias-primas, fusão, conformação, processamento a jusante e embalagem.

O processo produtivo pode ser resumido da seguinte forma: após o recebimento das matérias-primas, elas podem, ou não, serem britadas e estocadas em silos elevados e separados. Esses materiais são transferidos por sistemas alimentadores por gravidade ou caçambas transportadoras a uma balança e misturador, no qual o material é misturado ao vidro reciclado, a fim de garantir uma fusão homogênea. A mistura, na qual pode-se adicionar caco; é enviada ao alimentador do forno de fusão.

Após a fusão, dependendo do tipo de vidro produzido, ocorrem operações a jusante, como por exemplo, refino, conformação, decoração, etc.

A diversidade da indústria de vidro resulta na utilização de uma grande variedade de matérias-primas. As técnicas utilizadas no manuseamento dos materiais são comuns a muitas indústrias e a questão principal é o controle de material particulado proveniente do manuseamento de partículas finas e das baias de cacos e seus acessos em locais abertos, o qual é minimizado com umidificação da mistura.

As principais matérias-primas para a fusão são os materiais que formam vidro (areia de sílica, vidro reciclado etc.), materiais intermediários/modificadores (cal sodada, calcário, feldspato etc.) e agentes colorantes/descolorantes (cromita de ferro, óxido de ferro etc.).

A fusão, combinação das matérias-primas a altas temperaturas para formarem o vidro fundido, é a fase central do processo produtivo, o qual consiste em uma complexa combinação de reações químicas e processos físicos, podendo ser dividido em várias fases: aquecimento; fusão primária; afinagem, homogeneização e acondicionamento.

A fabricação de vidro é uma atividade de elevado consumo energético e, devido a isso, a escolha da fonte de energia, das técnicas de aquecimento e do método de recuperação de calor são questões centrais para a concepção do forno. Essas mesmas escolhas são igualmente alguns dos fatores mais importantes que afetam o desempenho ambiental e a eficiência energética da operação de fusão. As três principais fontes de energia na fabricação de vidro são o gás natural, o óleo combustível e a eletricidade.

A seguir, encontram-se descritos, resumidamente, os principais tipos de fornos utilizados para a fusão das matérias-primas:

**Os fornos regenerativos** utilizam sistemas de recuperação de calor. Usualmente colocam-se queimadores dentro, lateralmente ou por baixo das portas de admissão de ar/exaustão de gases. O calor dos gases de exaustão é usado para pré-aquecer o ar antes da combustão, pela passagem dos gases de exaustão por uma câmara de material refratário, que absorve o calor. O forno só é ligado de um lado de cada vez. Passados cerca de 20 minutos, reverte-se a combustão e o ar de combustão passa através da câmara previamente aquecida pelos efluentes gasosos. Podem ser atingidas temperaturas de pré-aquecimento até 1.400°C, o que origina eficiências térmicas muito elevadas. Nos fornos regenerativos de combustão cruzada, as portas de combustão e os queimadores situam-se ao longo dos lados do forno e as câmaras do regenerador estão localizadas em ambos os lados do forno. Nos fornos regenerativos de combustão final os princípios de operação são os mesmos, com a diferença que as duas câmaras do regenerador situam-se num dos topos do forno.

**Os fornos de recuperação** utilizam permutadores de calor (denominados recuperadores) para a recuperação de calor, com pré-aquecimento contínuo do ar de combustão pelos efluentes gasosos. No caso dos recuperadores metálicos, as temperaturas de pré-aquecimento estão limitadas a cerca de 800°C. A capacidade específica de fusão (por unidade de área de fusão) dos fornos de recuperação é cerca de 30% inferior à dos fornos regenerativos. Os queimadores situam-se ao longo de cada um dos lados do forno, transversais ao fluxo do vidro e funcionam continuamente de ambos os lados. Este tipo de forno é, sobretudo, utilizado quando é necessária uma elevada flexibilidade de operação com um custo mínimo de capital inicial, em particular no caso em que a dimensão da operação é demasiado pequena para tornar o uso de regeneradores economicamente viável. Este tipo de forno é mais apropriado para instalações de pequena capacidade apesar de não serem incomuns os fornos de alta capacidade (até 400 toneladas por dia).

**A oxi-combustão** envolve a substituição de ar de combustão por oxigénio (>90% de pureza). A eliminação da maior parte do nitrogénio da atmosfera de combustão reduz o volume de efluentes gasosos em cerca de dois terços. Assim, é possível economizar energia para o forno porque não é necessário aquecer o nitrogénio atmosférico até à temperatura da chama. A formação de NO<sub>x</sub> térmico é também fortemente reduzida. Em geral, os fornos de oxi-combustão têm a mesma concepção básica das unidades de fusão, com múltiplos queimadores laterais e uma só porta de exaustão de efluentes gasosos. No entanto, os fornos projetados para combustão de oxigénio não utilizam sistemas de recuperação de calor para o pré-aquecimento do oxigénio de alimentação dos queimadores.

**Os fornos elétricos** consistem numa caixa revestida de material refratário suportado por uma estrutura de aço, com eletrodos que podem estar inseridos nos lados, no topo ou, mais

usualmente, na base do forno. A energia de fusão é assegurada através da passagem de corrente pelo vidro fundido, originando o seu aquecimento por efeito de Joule. A técnica é em geral aplicada em pequenos fornos particularmente para vidro especial. Para a viabilidade económica dos fornos elétricos existe um limite máximo no seu tamanho que depende do custo da electricidade comparado com o do combustível fóssil. A substituição de combustível fóssil no forno elimina a formação de produtos de combustão.

**A fusão combinada com combustível fóssil e fusão elétrica** pode apresentar-se sob duas formas: predominantemente combustão de combustível fóssil auxiliada por aquecimento elétrico; ou predominantemente aquecimento elétrico com apoio de combustível fóssil. O auxílio elétrico é um método de fornecer calor adicional a um forno de vidro, utilizando a passagem de corrente elétrica através de eletrodos colocados na base do tanque. Uma técnica menos comum consiste no uso de gás ou óleo como combustível de suporte para um forno com aquecimento predominantemente elétrico.

**As unidades de fusão de carga descontínua** são utilizadas quando são necessárias menores quantidades de vidro e, sobretudo, nos casos em que a composição do vidro varia regularmente. Nesses casos são utilizados fornos de pote ou tanques diários (day-tank) na fusão de cargas específicas de matéria-prima. Basicamente, um forno de pote consiste numa seção inferior para o pré-aquecimento do ar de combustão e numa seção superior que sustenta os cadinhos e serve de câmara de fusão. Os tanques diários foram desenvolvidos a partir dos fornos de pote por adaptação a maiores capacidades, da ordem de 10 toneladas por dia. Estruturalmente são quadrangulares e muito semelhantes aos fornos convencionais, mas são recarregados diariamente.

**As concepções especiais de unidades de fusão** foram efetuadas de modo a aumentar a eficiência e o desempenho ambiental. Os fornos de fusão que utilizam maçaricos e queimadores com baixa emissão de  $\text{NO}_x$  e/ou flexibilidade de uso de combustíveis atendem tais concepções. Alguns aspectos do processo fundamental e das técnicas utilizadas na indústria são delineados para cada setor a seguir.

**O vidro de embalagem** é um setor diversificado no qual se utilizam quase todas as técnicas descritas anteriormente. O processo de conformação é efetuado em duas etapas, a conformação inicial da massa vítrea é feita ou por pressão com êmbolo ou por sopro de ar comprimido, e a operação final de conformação por sopro de ar comprimido para obter a forma oca final. Esses dois processos são, assim, respectivamente denominados “prensa-sopro” e “sopro-sopro”. A produção de embalagens é feita quase exclusivamente por máquinas de SI (seção individual).

**O vidro plano** é produzido quase exclusivamente em fornos regenerativos de combustão cruzada. O princípio fundamental do processo de flutuação é o vazamento do vidro fundido para um banho de estanho fundido, formando uma lâmina em que as superfícies superior e inferior são paralelas devido à influência da gravidade e da tensão superficial. Após a saída do banho de flutuação, a lâmina de vidro passa pela área de recozimento, que arrefece gradualmente o vidro de modo a minimizar as tensões residuais. Podem ser aplicados revestimentos durante o processo para melhorar as características do produto (por exemplo, cobertura de baixa emissividade).

**O vidro doméstico** é um setor diversificado que envolve uma vasta gama de produtos e processos, desde complicados produtos de cristal de chumbo feitos à mão a métodos

mecanizados, de elevados volumes de produção, utilizados na produção em massa de louça. São utilizadas nesse setor praticamente todas as técnicas de fusão descritas anteriormente, desde fornos de pote a grandes fornos regenerativos. Os processos de conformação podem recorrer a um processamento automático, manual ou semiautomático e, após a produção, os objetos podem ser sujeitos a operações de acabamento a frio (por exemplo, o cristal de chumbo é frequentemente lapidado e polido).

**O vidro especial** é também um setor diversificado, que abrange uma grande variedade de produtos que podem diferir consideravelmente em termos de composição, método de fabricação e utilização. As técnicas mais comuns são os fornos recuperativos, fornos de oxidação, fornos regenerativos, unidades de fusão elétricas e tanques diários. A elevada gama de produtos implica a utilização no setor de várias técnicas de conformação. Algumas das mais importantes são: prensa e sopro; processo giratório; prensagem; laminagem; extrusão por tubo; processo de estiramento; e dissolução (vidro de água).

#### 4. MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD)

A seguir, serão enfocadas as MTPD por fonte e/ou atividade. A exigibilidade de implantação de uma ou outra tecnologia ocorrerá em função da necessidade de enquadramento das emissões das fontes aos limites de emissão estabelecidos em legislação ou em licenças ambientais, devendo ser atendidos sempre os valores mais restritos.

Medidas adicionais de controle de emissões serão abordadas e, se necessárias, solicitadas após o diagnóstico final previsto pelo PREFE 2014. Após o levantamento previsto no PREFE serão definidas as exigências técnicas, como MTPD ou medidas adicionais, a serem atendidas para cada empreendimento elencado no PREFE. Cabe ressaltar que o prazo de atendimento à exigência poderá ou não coincidir com a renovação da LO.

##### 4.1 MTPD GERAIS PARA A PRODUÇÃO DE VIDRO

Para melhorar o desempenho ambiental global das instalações de produção de vidro, constitui MTPD necessária, mas não suficiente, a implementação de um sistema de gestão ambiental (SGA), visando à melhoria contínua das instalações e de processo.

Todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos, independentemente do tipo de vidro produzido, deverão possuir um plano de controle de emissões de modo que os limites de emissão estabelecidos (item 5 deste capítulo) sejam atendidos também nas ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle. Esse plano pode incluir instalação de sistema de controle de poluentes reservas, prazos máximos de parada, a redução da produção do forno ou medidas específicas de restrição decorrentes de condições meteorológicas. Devem, também, ser atendidos os requisitos descritos abaixo:

A primeira medida a ser considerada para fontes de combustão é garantir que não haja entrada de ar em excesso, buscando trabalhar com a quantidade de ar adequada para a queima mais completa possível. Portanto, controles e manutenções periódicas dos queimadores e exaustores de ar de combustão devem ser realizados e registrados as alterações efetuadas. Além disso, recomendam-se medições periódicas dos gases de combustão (O<sub>2</sub> e CO), por

medidores portáteis e/ou automáticos, contínuos ou não, em função do porte do forno, conforme o item 6 deste documento.

**Tabela 01 – Melhor tecnologia Prática Disponível para atividades de geração de energia, armazenamento e manuseio de matéria-prima.**

Atividade	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Geração energética	MP, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> e HCT	<p>Pode ser reduzido o consumo específico de energia por meio de uma ou mais combinações das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Otimização de processos, por meio de controles operacionais;</li> <li>● Manutenção regular do forno de fusão;</li> <li>● Otimização do projeto do forno e da seleção da técnica de fusão (para novas instalações e reconstrução total do forno);</li> <li>● Aplicação de técnicas de controle da combustão, dependendo do tipo de forno;</li> <li>● Utilização de quantidades crescentes de vidro reciclado, se disponível e técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de vidro produzido;</li> <li>● Utilização de caldeira de calor residual para recuperação de energia, se técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de forno e da eficiência global que possa ser obtida;</li> <li>● Utilização de pré-aquecimento da mistura a ser fundida e do vidro reciclável, se técnica e economicamente viável, dependendo do tipo de forno e da porcentagem de vidro reciclável na mistura a ser fundida.</li> </ul>
Armazenamento de matérias-primas	MP	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Armazenamento a granel em silos fechados com sistemas de retenção de partículas;</li> <li>● Armazenamento de matérias finas em contentores fechados ou sacos plásticos;</li> <li>● Armazenamento, em local coberto e com as laterais fechadas de matérias grosseiras que emitam pó;</li> <li>● Utilização de veículos de limpeza de vias de acesso e técnicas de umedecimento preferencialmente com água de reuso.</li> </ul>
Manuseio de matérias-primas	MP	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilização de sistema de transporte por correias transportadoras enclausuradas em locais abertos e/ou utilização de sistema de transporte por correias transportadoras não enclausuradas em locais fechados, desde que não haja emissões fugitivas para a atmosfera.</li> <li>● Na utilização de transporte pneumático, aplicar um sistema selado equipado com filtro para limpar o ar de transporte antes de sua liberação;</li> <li>● Utilização de sistema de ventilação local exaustora (SVLE) associado a um sistema de equipamento de controle de poluição do ar nos processos passíveis de gerar partículas (abertura de sacos, mistura de lotes de fritas, sistemas de limpeza de equipamentos de controle), e pontos de transferência de matérias primas;</li> <li>● Utilização de alimentadores helicoidais fechados;</li> <li>● Efetuar o manuseio de matérias primas em local coberto e lateralmente fechado.</li> </ul>



Atividade	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Armazenamento e manuseio de matérias-primas	HCT	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Armazenamento de matérias-primas voláteis em galões IBC (Intermediate bulk container), tambores e similares, em ambientes fechados, ventilados e protegidos de calor.</li> <li>● Utilização de tanques de teto flutuante para armazenamento de grandes quantidades de solventes e/ou produtos orgânicos voláteis</li> <li>● Utilização de sistemas de transferência do retorno de vapores na transferência de fluidos voláteis (exemplo: caminhões para o tanque de armazenamento)</li> <li>● Utilização de válvulas de pressão/vácuo nos tanques concebidos para resistir a variações de pressão</li> <li>● Aplicação de um tratamento de descarga (exemplo: adsorção, absorção, condensação) no armazenamento de matérias perigosas.</li> </ul>
Técnicas primárias gerais	Todos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● A fim de reduzir o consumo de energia e as emissões atmosféricas, sugere-se a realização de um monitoramento constante dos parâmetros operacionais e manutenção programada do forno de fusão, por meio uma série de operações que podem ser utilizadas individualmente ou em combinação, adequada ao tipo de forno, tais como selar o forno e os blocos do queimador, manter o isolamento máximo, controlar as condições de chama estabilizada, controlar a razão ar/combustível etc.</li> <li>● Proceder a seleção e controle criteriosos de todas as substâncias e matérias-primas que entrem no forno de fusão a fim de reduzir ou evitar as emissões atmosféricas, dentro das condicionantes inerentes ao tipo de vidro produzido e disponibilidade de matérias-primas e combustíveis, utilizando uma ou combinação das seguintes técnicas: utilização de matérias-primas e vidro reciclado com baixo teor de impurezas, utilização de matérias-primas alternativas, e utilização de combustíveis com baixo teor de impurezas metálicas</li> <li>● Proceder regularmente ao monitoramento das emissões e/ou de outros parâmetros relevantes para o processo incluindo:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>● Operar os sistemas de controle de gases residuais durante as condições normais de operação com capacidade e disponibilidade ideais para evitar ou reduzir as emissões, podendo ser definidos procedimentos especiais para condições de operações específicas (exemplo: operações de início e encerramento de processo produtivo, trabalhos de manutenção, limpeza do forno e/ou ECPs, alteração substancial da produção etc.)</li> <li>● Limitar as emissões de NH<sub>3</sub> sempre que forem aplicadas técnicas de SCR ou SNCR para redução altamente eficiente das emissões de NOx, adotando e mantendo as condições de operação adequada dos sistemas de controle dos gases residuais</li> </ul> </li> </ul>

**4.2 MTPD PARA A PRODUÇÃO DE VIDRO PARA EMBALAGEM**

**Tabela 02 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de embalagens de vidro**

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível	
Fornos de fusão	MP	<p>Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de sistema de controle de poluentes (exemplo: precipitador eletrostático ou filtro de tecido)</p> <p>Deverá possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle.</p> <p>Aumentar o percentual de reciclagem</p>	
	NO <sub>x</sub>	Técnicas primárias	<p>Reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modificações da combustão: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da razão ar/combustível, dependendo do tipo e condicionantes do forno;</li> <li>- Combustão por etapas: distribuição do ar e distribuição do combustível, dependendo do tipo de forno e complexidade térmica;</li> <li>- Recirculação dos gases de combustão, vinculada à utilização de queimadores especiais;</li> <li>- Utilização de queimadores de baixa emissão, sempre que ficar demonstrado que entregam uma real redução de NO<sub>x</sub>, sem prejuízo para o processo e que não inviabilizem a operação devido a alta instabilidade operacional</li> <li>- Quando forem adotadas medidas de controle de NO<sub>x</sub> baseadas na modificação da combustão deverá haver monitoramento de NO<sub>x</sub> e O<sub>2</sub> para acompanhamento e ajuste contínuo dos parâmetros de combustão para minimizar as emissões</li> </ul> </li> </ul>
		Técnicas secundárias (a)	<p>Reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Redução catalítica seletiva (SCR), podendo exigir uma atualização do sistema de retenção de MP e um sistema de dessulfurização para remoção das emissões de SO<sub>x</sub>; a aplicação está limitada à utilização de precipitadores eletrostáticos e, em geral, não é utilizada com sistema de filtro de tecido; e pode requerer disponibilidade de espaço significativa</li> <li>● Redução não catalítica seletiva (SNCR), com aplicação em fornos recuperativos, muito limitada em fornos regenerativos convencionais, e podendo ser aplicada a fornos regenerativos novos equipados com câmaras de regeneração múltiplas.</li> </ul>
		Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida e/ou seja, necessárias condições especiais de combustão oxidante no forno, minimizar a utilização destas matérias-primas em combinação com técnicas primárias ou secundárias.	

(a) desde que comprovada a necessidade em função do não atendimento dos limites estabelecidos pelo PREFE

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Fornos de fusão	SO <sub>x</sub>	<p>Reduzir as emissões de SO<sub>x</sub> residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Depuração a seco ou por via semisseca em combinação com um sistema de filtração;</li> <li>• Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida;</li> <li>• Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre.</li> </ul>
Processos à jusante do forno	MP, metais e HCl	<p>Para operações de tratamento de superfície a quente com utilização de compostos de estanho, organoestânicos ou de titânio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização das perdas de produto de tratamento de superfícies por meio de uma boa estanqueidade do sistema de aplicação e do uso de um sistema de exausto adequadamente dimensionado.</li> <li>• Aproveitamento dos gases do forno de fusão nas operações de tratamento de superfície.</li> <li>• Aplicação de uma técnica secundária para tratamento das emissões (exemplo: depuração a seco ou por via semisseca, acrescida de sistema de filtração)</li> </ul>
	SO <sub>x</sub>	<p>Para as operações de tratamento de superfície com a utilização de SO<sub>3</sub>, reduzir as emissões de SO<sub>x</sub> residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização de perdas de produto, garantindo uma boa estanqueidade do sistema de aplicação, e a boa construção e manutenção do sistema de aplicação são essenciais para minimizar as perdas de produto para o ambiente;</li> <li>• Utilização de uma técnica secundária de tratamento das emissões (exemplo: lavadores).</li> </ul>

### 4.3 MTPD PARA A PRODUÇÃO DE VIDRO PLANO

**Tabela 03 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de vidro plano**

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Fornos de fusão	MP	<p>Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de precipitador eletrostático ou filtro de tecido.</p> <p>Possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle.</p> <p>A utilização de técnicas primárias como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• utilização de cacos de vidro como matéria-prima,</li> <li>• uso de composição umidificada;</li> <li>• granulometria das matérias-primas;</li> <li>• regulação da posição dos queimadores;</li> <li>• baixa concentração de voláteis como cloretos e fluoretos nas matérias-primas,</li> <li>• redução da concentração de sulfato de sódio na composição,</li> <li>• alteração do design e geometria do forno (possível na reconstrução do forno)</li> <li>• apoio elétrico (boost)</li> </ul>

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível	
Fornos de fusão	SO <sub>x</sub>	<p>Reduzir as emissões de SO<sub>x</sub> residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida e otimização do balanço de massa do enxofre, de modo a não prejudicar a qualidade do produto</li> <li>• Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre, com aplicabilidade condicionada à disponibilidade desses tipos de combustíveis.</li> </ul>	
	NO <sub>x</sub>	Técnicas primárias	<p>Reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificações da combustão: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da razão ar/combustível;</li> <li>- Redução da temperatura do ar de combustão;</li> <li>- Combustão por etapas: distribuição do ar e distribuição do combustível, dependendo do tipo de forno e complexidade térmica;</li> <li>- Recirculação dos gases de combustão, vinculada à utilização de queimadores especiais;</li> <li>- Utilização de queimadores de baixa emissão sempre que ficar demonstrado que entregam uma real redução de NO<sub>x</sub>, sem prejuízos para o processo e que não inviabilizem a operação devido a alta instabilidade operacional.</li> <li>- Escolha do combustível com baixo teor de N,</li> <li>- Quando forem adotadas medidas de controle de NO<sub>x</sub> baseadas na modificação da combustão deverá haver monitoramento de NO<sub>x</sub> e O<sub>2</sub> para acompanhamento e ajuste contínuo dos parâmetros de combustão para minimizar as emissões</li> </ul> </li> <li>• Fusão a oxi-combustão, com benefícios ambientais máximos alcançados em aplicações feitas durante uma reconstrução total do forno.</li> </ul>
		Técnicas secundárias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução catalítica seletiva (SCR), desde que comprovada a necessidade em função do não atingimento dos limites estabelecidos pelo PREFE</li> </ul>
	<p>Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida, minimizar a utilização dessas matérias-primas, em combinação com técnicas primárias e secundárias.</p>		
Processos a jusante do forno	MP, SO <sub>x</sub> , metais, HCl e HF	<p>Reduzir as emissões atmosféricas residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização das perdas de produtos de tratamento de superfície aplicados sobre o vidro, garantindo boa estanqueidade do sistema de aplicação.</li> <li>• Combinação das emissões de SO<sub>2</sub> proveniente da arca com os gases residuais provenientes do forno, sempre que tecnicamente possível, e sempre que for aplicado um sistema de tratamento secundário de poluentes.</li> <li>• Aplicação de uma técnica secundária de controle de poluentes.</li> </ul>	

#### 4.4 MTPD PARA A PRODUÇÃO DE VIDRO DOMÉSTICO

**Tabela 04 – Melhor Tecnologia Prática Disponível para os fornos de fusão e processos à jusante do forno para produção de vidro doméstico.**

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Forno de fusão	MP	<p>Reduzir as emissões de MP nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Redução dos componentes voláteis através de modificações nas matérias-primas, condicionada às características inerentes do tipo de vidro produzido e à disponibilidade de matérias-primas alternativas. A formulação da composição da mistura a ser fundida pode conter componentes muito voláteis (boro, fluoretos etc.), que contribuem significativamente para a formação de emissões de MP.</li> <li>● Fusão a oxi-combustão, com benefícios ambientais máximos alcançados em aplicações feitas a partir de reconstrução total do forno.</li> <li>● Sistema de filtração: precipitador eletrostático ou filtro de tecido</li> <li>● Lavadores, com aplicação limitada a casos específicos, especificamente a fornos de fusão elétricos, nos quais os volumes de gases liberados e as emissões de MP sejam realmente baixas e relacionadas com fenômenos de transporte de partículas decorrente da formulação da mistura a ser fundida.</li> <li>● Deverá possuir plano de controle de emissões visando o atendimento aos limites de emissão estabelecidos para as ocasiões de parada ou manutenção do equipamento de controle.</li> <li>● A utilização de cacos de vidro como matéria-prima</li> </ul>
	NO <sub>x</sub>	<p>Reduzir as emissões de NO<sub>x</sub> nos gases residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modificações da combustão: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da razão ar/combustível,</li> <li>- Redução da temperatura do ar de combustão,</li> <li>- Combustão por etapas: distribuição do ar e distribuição do combustível, dependendo do tipo de forno e complexidade térmica</li> <li>- Recirculação dos gases de combustão, vinculada à utilização de queimadores especiais</li> <li>- Quando forem adotadas medidas de controle de NO<sub>x</sub> baseadas na modificação da combustão deverá haver monitoramento de NO<sub>x</sub> e O<sub>2</sub> para acompanhamento e ajuste contínuo dos parâmetros de combustão para minimizar as emissões.</li> </ul> </li> <li>● Utilização de queimadores de baixa emissão sempre que ficar demonstrado que entregam um real redução de NO<sub>x</sub>, sem prejuízos para o processo e que não inviabilizem a operação devido a alta instabilidade operacional.</li> <li>● Escolha do combustível, com aplicabilidade condicionada à disponibilidade de diferentes tipos de combustível.</li> <li>● Fusão a oxigênio-combustível,</li> </ul> <p>Sempre que forem utilizados nitratos na formulação da mistura a ser fundida, minimizar a utilização dessas matérias-primas, em combinação com técnicas primárias e secundárias.</p>

Fonte ou Processo	Poluente	Melhor Tecnologia Prática Disponível
Forno de fusão	SO <sub>x</sub>	<p>Reduzir as emissões de SO<sub>x</sub> residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a ser fundida e otimização do balanço de massa do enxofre,</li> <li>● Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre,</li> </ul>
Processos a jusante do forno	MP, metais e Pb	<p>Reduzir as emissões atmosféricas residuais com utilização de uma ou combinação das seguintes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Execução de operações que gerem partículas (corte, trituração, polimento etc.) sob um líquido.</li> <li>● Utilização de ECP (filtro de tecido).</li> </ul>

### 5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

As fontes de emissão instaladas em indústrias para produção de vidro estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu licenciamento específico, em função da sua localização, e aos padrões de emissão estabelecidos nas resoluções CONAMA 382/2006 e 436/2011. Verifica-se que, para HCT, não há limite de emissão estipulado nas referidas resoluções CONAMA, devendo ser observadas, nesse caso, as exigências contidas no licenciamento e no Decreto Estadual 59.113/13.

De acordo com o Regulamento da Lei Estadual 997/76 aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

A adoção da tecnologia preconizada neste artigo será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Ficam estabelecidas nas citadas resoluções, e contidos nas tabelas a seguir, os seguintes limites de emissões atmosféricas provenientes de fornos de fusão de vidro. Cabe ressaltar que os valores colocados na Tabela 05 e na Tabela 06, podem, em alguns casos, ser considerados altos em função da localização da fonte. Nesse caso deverá ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes que passaram por licenciamento recente, em sua maioria com análise de estudo de dispersão, podem possuir limites de emissão mais restritos do que os valores colocados nas tabelas a seguir, devendo nesse caso, serem observados sempre os limites de emissão licenciados.

**Tabela 05 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 382 para fontes instaladas a partir de 02 de janeiro de 2007**

Poluente	Classificação	Emissão (kg/t vidro fundido)
Material particulado	Receita soda-cal	0,4
	Receita borosilicato	0,8
	Receita chumbo e outras	0,5
NO <sub>x</sub>	Vidro Incolor	
	Doméstico	4,5
	Plano	4,3
	Embalagem	3,2
	Especiais técnicos	4,5
	Vidro colorido	
	Doméstico	7,5
	Plano	6,7
	Embalagem	5,4
	Especiais técnicos	6,7
SO <sub>x</sub>	Gás natural	1,4
	Óleo combustível	5,0

**Tabela 06 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas ou com LI concedida anterior de 02 de janeiro de 2007**

Poluente	Classificação	Emissão (kg/t vidro fundido)
Material particulado	Receita soda-cal	0,4
	Receita borosilicato	0,8
	Receita chumbo e outras	NA
NO <sub>x</sub>	Vidro claro (incolor) <sup>(a)</sup>	
	Doméstico	4,5
	Plano	4,3
	Embalagem	3,2
	Especiais: Lâmpadas, fibra de vidro, isolantes e isoladores elétricos	4,5
	Vidro colorido <sup>(b)</sup>	
	Doméstico	7,5
	Plano	6,7
	Embalagem	5,4
	SO <sub>x</sub>	Combustível: Gás natural
Combustível: Óleo combustível		5,0

(a) Não inclui vidros incolores com receitas que contêm nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%

(b) Inclui vidros incolores com receitas que contêm nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%

Para aplicação dos limites de emissão listados nas tabelas anteriores, devem ser consideradas as seguintes definições:

- Receita soda-cal: é utilizada na fabricação de produtos como recipientes de vidro, tecido de fibra de vidro e outros artigos de vidro, soprados e/ou prensados e vidro plano. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 60 a 75% de  $\text{SiO}_2$ , de 10 a 17% de  $\text{R}_2\text{O}$  total (ex.:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), de 8 a 20% de RO total (ex.:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) que não inclui  $\text{PbO}$ , de 0 a 8% de  $\text{R}_2\text{O}_3$  total (ex.:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), e de 1 a 5% de outros óxidos;
- Receita borosilicato: é utilizada na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 60 a 80% de  $\text{SiO}_2$ , de 4 a 10% de  $\text{R}_2\text{O}$  total (ex.:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), de 5 a 35% de óxidos de boro, e de 0 a 13% de outros óxidos;
- Receita chumbo: é utilizada na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados. Apresenta a seguinte proporção em peso: de 50 a 60% de  $\text{SiO}_2$ , de 18 a 35% de óxidos de chumbo, de 5 a 20% de  $\text{R}_2\text{O}$  total (ex.:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), de 0 a 8% de  $\text{R}_2\text{O}_3$  total (ex.:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), de 0 a 15% de RO total (ex.:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ), que não inclui  $\text{PbO}$  e de 5 a 10% de outros óxidos;
- Outras receitas: são utilizadas na fabricação de produtos como artigos de vidro, soprados e/ou prensados, incluindo receitas de opal e fluoreto.

## 6. MONITORAMENTO

O monitoramento das fontes de emissão constitui ferramenta essencial para comprovar o atendimento às metas decorrentes da aplicação do PREFE. A escolha de uma das alternativas de monitoramento depende da disponibilidade do método, confiabilidade dos dados e informações e custos. As técnicas de monitoramento possuem a frequência mínima abaixo sugerida.

As amostragens pelo método direto (amostragem em chaminé) deverão atender ao Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PME, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB no Nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), Edição nº 120(10), do dia 15/01/2010, Páginas números: 40 a 46.

Algumas fontes podem possuir maior frequência de amostragem do que prevista na tabela a seguir, devendo neste caso, ser observada sempre a frequência estabelecida no licenciamento.

A exigibilidade de monitoramento contínuo está vinculada a:

- instabilidade das emissões;
- comprometimento das metas de atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos;
- significância das emissões;
- aplicabilidade;
- custo-efetividade em relação a outras alternativas de monitoramento.



No caso de ser exigida instalação de monitoramento contínuo, este deverá atender aos critérios do Anexo Único da Decisão de Diretoria da CETESB nº 326/2014/I de 05 de novembro de 2014, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, edição nº 124(211) do dia 07/11/15, página 53 ou outra que vier a substituí-la. Os critérios estabelecidos para sistemas de monitoramento contínuo de gases de combustão de Unidades de Recuperadora de Energia são requisitos necessários à conversão de resíduos. Tais requisitos decorrem da possibilidade de toxicidade do gás exausto, o que requer sistemas de garantia de qualidade complexos. Nos casos de processos de combustão, cabe uma análise individual de sua aplicabilidade nos monitores contínuos instalados nestas fontes.

Na utilização de monitoramento contínuo de forma complementar ao descontínuo poderão ser usados os critérios de operação específicos da empresa, devendo ser previsto no mínimo um programa de calibração e manutenção preventiva e corretiva dos monitores.

**Tabela 07 - Frequência e tipo de monitoramento dos gases de combustão aplicável às fontes listadas no PREFE/2014.**

Fonte	Poluente	Amostragem em chaminé	Monitoramento Contínuo
Forno de fusão	MP e SO <sub>x</sub>	Bienal	Aplicável
	NO <sub>x</sub>	Anual	Aplicável
	HCTNM *	Bienal	Aplicável
	NH <sub>3</sub> **	Bienal	Aplicável

(\*) havendo tratamento térmico de gases residuais no forno

(\*\*) Medições contínuas ou periódicas das emissões de NH<sub>3</sub> se forem utilizadas técnicas de redução catalítica seletiva (SCR) ou redução não catalítica seletiva (SNCR)

Os fornos de fusão de vidro deverão implantar os seguintes monitoramentos:

- Monitoramento contínuo de parâmetros essenciais ao processo para garantir sua estabilidade (exemplo: temperatura, alimentação de combustível etc.)
- Monitoramento regular dos parâmetros de processo para evitar/reduzir a emissão de poluentes (exemplo: teor de O<sub>2</sub> nos gases de combustão etc.)
- Monitoramento contínuo de parâmetros alternativos para garantir que o sistema de controle de gases residuais esteja funcionando devidamente e que os valores de emissão sejam mantidos entre as medições descontínuas. Os parâmetros alternativos a serem monitorados incluem alimentação de reagente, temperatura, alimentação de água, tensão, remoção de partículas, velocidade do(s) ventilador(es) etc.

**ANEXO I  
DESCRIÇÃO SUCINTA DAS TÉCNICAS PARA O CONTROLE DAS EMISSÕES  
PARA A ATMOSFERA**

<b>Técnica ou ECP</b>	<b>Poluente</b>	<b>Descrição Sucinta</b>
Depuração a seco ou por via semisseca	SO <sub>x</sub>	É introduzido e disperso no fluxo de gases residuais um reagente alcalino sob a forma de pó seco ou de suspensão/solução. Essa matéria reage com as substâncias sulfurosas gasosas para formar uma substância sólida que tem de ser removida por filtração (filtro de mangas ou precipitador eletrostático). Em geral, a utilização de uma torre de reação melhora a eficiência de remoção do sistema de depuração.
Filtro de tecido	MP	Os filtros de mangas são feitos de tecido poroso ou feltro através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação.
Lavador de gases	MP e SO <sub>x</sub>	Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases libertados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases libertados. O líquido resultante tem de ser tratado por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração
Lavador de gases tipo venturi	MP e SO <sub>x</sub>	<p>O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes Um lavador venturi consiste em três seções: uma seção convergente, uma seção de garganta, e uma secção divergente.</p> <p>O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta (em conformidade com a equação de Bernoulli). A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da seção convergente.</p> <p>O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. Partícula e remoção de gás ocorrem na seção da garganta onde o fluxo do gás se mistura com a névoa da solução. A corrente de entrada em seguida, sai através da seção divergente, onde é forçado a abrandar.</p>

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a fundir e otimização do balanço de massa do enxofre	SO <sub>x</sub>	A minimização do teor de enxofre na formulação da mistura a fundir é aplicada para reduzir as emissões de SO <sub>x</sub> decorrentes da decomposição de matérias-primas sulfurosas (em geral, sulfatos), utilizadas como agentes afinantes. A redução eficaz das emissões de SO <sub>x</sub> depende da retenção de compostos de enxofre no vidro, que podem variar significativamente dependendo do tipo de vidro e da otimização do balanço de massa do enxofre.
Minimização da utilização de nitratos na formulação da mistura a fundir	NO <sub>x</sub>	A minimização dos nitratos é utilizada para reduzir as emissões de NO <sub>x</sub> decorrentes da decomposição dessas matérias-primas quando aplicadas como agentes oxidantes para produtos de qualidade muito elevada, sempre que é necessário um vidro muito transparente ou para outros tipos de vidro com características específicas. Podem ser aplicadas as seguintes opções: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir a presença de nitratos na formulação da mistura a fundir para o mínimo compatível com os requisitos do produto e da fusão</li> <li>- Substituir os nitratos por matérias alternativas. São alternativas eficazes sulfatos, óxidos de arsênio e óxido de cério</li> <li>- Aplicar modificações ao processo (por exemplo, condições especiais de combustão oxidante)</li> </ul>
Pré-aquecimento do ar de combustão	NO <sub>x</sub>	O ar de combustão passa por um pré-aquecimento por meio de trocadores de calor antes de ser inserido na câmara de combustão
Precipitador de Eletrostático (ESP)	MP	Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições.

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Queimadores de baixa emissão de NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	A tecnologia dos queimadores baseia-se no princípio de redução das temperaturas máximas da chama, retardando, mas completando a combustão, e aumentando a transferência de calor (maior capacidade de emissão de chama). Pode ser associada a uma alteração do desenho da câmara de combustão do forno. Estes queimadores também podem incorporar a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.
Recirculação dos gases de combustão	NO <sub>x</sub>	Reinjeção dos gases do forno na chama, para reduzir o teor de oxigênio e, conseqüentemente, a temperatura da chama. Utilização de queimadores especiais que utilizam a recirculação interna dos gases de combustão para arrefecer a base das chamas e reduzir o teor de oxigênio na parte mais quente destas
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO <sub>x</sub>	Redução do NO <sub>x</sub> para nitrogênio em um leito catalítico, por meio de reação com amoníaco (regra geral, solução aquosa, a uma temperatura ótima de operação entre 300 °C e 450 °C). Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO <sub>x</sub> .
Redução não catalítica seletiva (SNCR)	NO <sub>x</sub>	Redução de NO <sub>x</sub> para nitrogênio, por meio de uma reação com amônia ou ureia a alta temperatura. Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 950 a 1050°C (solução de ureia) ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.
Torre de carvão ativado	HCT (COVs)	Filtragem de carbono é um método de filtragem que utiliza um leito de carvão ativado para remover os contaminantes e impurezas, utilizando absorção química. O carvão ativado funciona por meio de um processo chamado de adsorção, em que as moléculas poluentes no líquido a ser tratado ficam presas no interior da estrutura dos poros do substrato de carbono.





**SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE**



**GOVERNO DO ESTADO  
DE SÃO PAULO**

