

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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 tem como função orientar quanto às principais MTPD que podem ser utilizadas pelo setor, não sendo a única referência técnica para tomada de decisão, que deve ser precedida por um estudo de viabilidade técnica de sua implantação.

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, 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), 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 compostos orgânicos voláteis, que, para efeito deste documento, serão

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

expressos como hidrocarbonetos totais (HCT), classificados como metano (HCTM) e não metano (HCTNM).

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

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_x). A formação de óxidos de nitrogênio ocorre basicamente por dois mecanismos:

- Presença de nitrogênio no combustível, e
- Oxidação do nitrogênio a alta temperatura (NO_x térmico).

O principal mecanismo de formação de NO_x na combustão do gás natural é o NO_x térmico, o qual ocorre por meio da dissociação térmica e subsequente reação das moléculas de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) presentes no ar de combustão. A maioria do NO_x formado no mecanismo de NO_x térmico ocorre a alta temperatura ($> 900^\circ\text{C}$), na zona de chama perto dos queimadores. O mecanismo de NO_x térmico é dependente da temperatura da chama e da concentração de oxigênio.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

Basicamente, existem três diferentes maneiras de reduzir as emissões de NO_x em caldeiras e sistemas de queima:

- Aplicação de queimadores de baixo NO_x (low NO_x);
- Recirculação de gases de combustão; e
- Tecnologia de pós-combustão.

A recirculação dos gases é um método que pode ser eficaz, se uma grande porcentagem da emissão de NO_x for térmica. Ela reduz tanto a temperatura da chama como a concentração de oxigênio. Nesse método uma porção do gás de combustão é reciclada para a caixa de ar do queimador (pré-aquecedor ou economizador). Ao entrar na caixa de ar, o gás recirculado é misturado com o ar de combustão, antes de serem alimentados para o queimador.

A recirculação dos gases reduz as emissões de NO_x por dois mecanismos: o gás recirculado reduz a temperatura de combustão, suprimindo, assim, o mecanismo de NO_x térmico e, em menor grau, reduz a formação de NO_x devido à redução da concentração de oxigênio na zona de chama primária.

Queimadores de baixo NO_x (LNB) reduzem NO_x por meio da realização do processo de combustão em etapas, atrasando parcialmente o processo de queima, resultando em uma chama mais fria, que suprime que reduz a formação do NO_x térmico. Estes queimadores têm geometria especializada de forma a converter o combustível em zonas de mistura com o ar pre-definidas. 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_x 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_x são: redução não-catalítica seletiva (SNCR) e redução catalítica seletiva (SCR).

O Sistema SNCR injeta amônia (NH_3) ou ureia nos gases de combustão (em uma zona de temperatura específica), para reduzir as emissões de NO_x , convertendo a nitrogênio gasoso N_2 . Nesta técnica não se utiliza catalisador para promover a reação de conversão a N_2 , 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_3 no gás de combustão, na presença de um catalisador, para reduzir as emissões de NO_x .

O uso de gás natural gera usualmente baixa emissão de SO_x , 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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. O GLP não produz emissões de poluentes gasosos, tais como os óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), e compostos orgânicos voláteis (COV) são produzidos, bem como pequenas quantidades de dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado (MP).

Os fatores mais significativos que afetam a quantidade de emissão de 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 NO_x dependem de variáveis como temperatura, excesso de ar, mistura ar/combustível e tempo de residência na zona de combustão.

A quantidade de 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 deveriam prever sistemas de abatimento de NO_x quando estiverem em operação permanente.

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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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 condensável.

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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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.

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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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, pó de lixamento, casca, aglomerado, compensado ou MDF e assemelhados, que não tenham sido tratados com produtos halogenados, revestidos com produtos polimerizados, tintas ou outros revestimentos e que não sejam considerados como resíduos da construção civil.

A queima de derivados de madeira em caldeiras ocorre tanto para obtenção de energia e calor como para aliviar possíveis problemas de eliminação de resíduo sólido.

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 (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

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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 NO_x . Nas regiões onde as emissões de 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 NO_x provenientes da queima de casca de madeira molhada são tipicamente inferiores (cerca de metade) em comparação com as emissões de 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 registradas as alterações efetuadas. Além disso, recomendam-se medições periódicas dos gases de combustão (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 O_2 nas faixas citadas abaixo, porém, estas faixas não são obrigatórias, devendo ser utilizadas apenas como referência:

- Óleo combustível – 3 a 7% O_2
- Gás natural – 2 a 5% O_2
- GLP – 2 a 5% O_2
- Bagaço de cana – 6 a 12 % O_2
- Derivados de Madeira – 6 a 13% 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 ocorrem 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;

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

- 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. 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 _x	MP, SO _x	MP	MP
Lavador de gases tipo venturi	*	*	MP, SO _x	MP, SO _x	MP	MP
Precipitadores eletrostáticos	*	*	*	MP	MP	MP
Filtro de tecido	*	*	MP	MP	MP	MP
Queimador lowNO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	*	*
Recirculação dos gases	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x
Redução Catalítica Seletiva (SCR)	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x
Redução Não Catalítica Seletiva (SNCR)	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x

(*) 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 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

As fontes de combustão estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu específico licenciamento, 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 limites de emissão estipulados 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, também, neste caso ser utilizado o critério de melhor tecnologia prática disponível. Algumas fontes podem possuir limites de emissão mais restritos do que os valores colocados nas tabelas acima, devendo neste caso, serem observados sempre os limites de emissão licenciados

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 _x	SO _x
ÓLEO COMBUSTÍVEL (mg/Nm ³ , base seca a 3%O ₂)	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 ³ , base seca a 3%O ₂)	10 ≤ MW ≤ 70	-	320	-
	MW > 70	-	200	-
BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR (bagaço e/ou palha) (mg/Nm ³ , base seca a 8%O ₂)	MW < 10	280	-	-
	10 ≤ MW ≤ 75	230	350	-
	MW > 75	200	350	-
DERIVADOS DE MADEIRA * (mg/Nm ³ , base seca a 8%O ₂)	MW < 10	750**	NA	-
	10 ≤ MW ≤ 30	520**	650	-
	30 < MW ≤ 70	360**	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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

Tabela 03 – Limite de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 436 para fontes instaladas ou com LI concedida anterior de 02 de janeiro de 2007

FONTE		Resolução CONAMA Nº 436/11		
		MP	NO _x	SO _x
ÓLEO COMBUSTÍVEL (mg/Nm ³ , base seca a 3%O ₂)	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 ³ , base seca a 3%O ₂)	10 ≤ MW ≤ 70	-	400	-
	MW > 70	-	320	-
BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR (bagaço e/ou palha) (mg/Nm ³ , base seca a 8%O ₂)	MW < 50	520 **	-	-
	50 ≤ MW ≤100	450 **	350	-
	MW >100	390 **	350	-
DERIVADOS DE MADEIRA * (mg/Nm ³ , base seca a 8%O ₂)	MW < 10	730 **	-	-
	10 ≤ MW ≤ 50	520 **	650	-
	> 50 MW	300 **	350	-

(*) 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

Constitui MTPD, associado a sistema de controle de emissões atmosféricas, monitorar as fontes de combustão, utilizando as técnicas de monitoramento com a frequência mínima abaixo sugerida e em conformidade com o Termo de Referência para Monitoramento de Fontes de Emissões Atmosféricas – PMEAS, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010, publicada 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 aplicabilidade de monitoramento contínuo, ou PEMS, está vinculada a episódios críticos e/ou crônicos de emissões da fonte. Os monitoramentos deverão 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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
	05 ≤ MW ≤ 30	NO _x	LOR	NA
	>30 MW	NO _x e HCT	Bienal	Aplicável
Fontes de óleo combustível	< 05 MW *	MP e NO _x	NA	NA
	05 ≤ MW < 30	MP e NO _x	Bienal	NA
	MW >30	MP, SO _x e NO _x	Bienal	Aplicável
Fontes de biomassa derivada de madeira	< 05 MW *	MP	NA	NA
	05 ≤ MW < 10	MP	LOR	NA
	10 ≤ MW ≤ 70	MP e NO _x	Bienal	Aplicável
	MW >70	MP e NO _x	Anual	Aplicável
Fontes de biomassa cana-de-açúcar	< 10 MW *	MP	NA	NA
	10 ≤ MW ≤ 70	MP e NO _x	Bienal	Aplicável
	MW >70	MP e NO _x	Anual	Aplicável

(NA) não se aplica

(*) 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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

Técnica ou ECP	Poluente	Finalidade
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 _x	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 _x	<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 à 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>
Pré-aquecimento do ar de combustão	NO _x	O ar de combustão passa por um pré-aquecimento por meio de trocadores de calor antes de ser inserido na câmara de combustão
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

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

Técnica ou ECP	Poluente	Finalidade
Queimadores tipo LowNO _x	NO _x	<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_x (ULNB) incorporam a combustão por etapas (ar/combustível) e a recirculação dos gases de combustão.</p> <p>Os queimadores tipo seco com baixas emissões de NO_x (Dry LowNO_x – DLNB) são utilizados para turbinas a gás.</p>
Recirculação dos gases de combustão	NO _x	<p>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</p>
Redução catalítica seletiva (SCR)	NO _x	<p>Redução do NO_x 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).</p> <p>Podem ser aplicadas uma ou duas camadas de leito catalítico a fim de se obter uma redução maior de NO_x.</p>
Redução não catalítica seletiva (SNCR)	NO _x	<p>Redução de NO_x para nitrogênio, por meio de um reação com amônia ou ureia a alta temperatura.</p> <p>Para otimizar a reação, a temperatura deve ser mantida entre 900 a 1050 °C ou 850 a 950°C (hidróxido de amônia), dentro de um tempo de residência adequado para efetivar a reação.</p>

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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 listados abaixo. .

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.

Para o cálculo das emissões potenciais provenientes de queima de combustível em caldeiras, o empreendedor poderá utilizar os fatores de emissão descritos na tabela 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 - Fatores de Emissão por Tipo de Combustível

Tipo de Combustível	Fonte	Unidade do consumo de combustível	NO _x	MP	SO _x	HC
Óleo Combustível Tipo A	Caldeira > 50 t/h de vapor	m ³	8,0 kg/m ³	1,45 kg/m ³	19,19 kg/m ³	0,13 kg/m ³
		t	7,84 kg/t	1,46 kg/t	18,18 kg/t	0,127 kg/t
	Caldeira < 50 t/h de vapor	m ³	6,60 kg/m ³	1,45 kg/m ³	19,19 kg/m ³	0,15 kg/m ³
		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 ³	2,4 kg/m ³	0,84 kg/m ³	18,19 kg/m ³	0,03 kg/m ³
		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 ³	2,4 kg/m ³	0,24 kg/m ³	17,19 kg/m ³	0,03 kg/m ³
		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 ³	0,428 kg/m ³	2,51 kg/ m ³	0,021 kg/ m ³	0,063 kg/ m ³
Cavaco	Caldeira de qualquer porte	t	0,75 kg/t	23,50 kg/t	0,037 kg/t	0,11 kg/t
		m ³	0,428 kg/m ³	13,40 kg/ m ³	0,021 kg/ m ³	0,063 kg/ m ³
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 ³	0,428 kg/m ³	2,05 kg/ m ³	0,021 kg/ m ³	0,063 kg/ m ³
Gás Natural	Caldeira > 50 t/h de vapor	m ³	8800 kg/10 ⁶ m ³	48,0kg/10 ⁶ m ³	9,60 kg/10 ⁶ m ³	28,0 kg/10 ⁶ m ³
	Caldeira < 50 t/h de vapor	m ³	2240 kg/10 ⁶ m ³	219,00 kg/10 ⁶ m ³	9,60 kg/10 ⁶ m ³	92,0 kg/10 ⁶ m ³
GLP	Caldeira de qualquer porte	m ³	2,50 kg/m ³	0,07 kg/m ³	0,0125 kg/m ³	0,06 kg/m ³

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

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_x, equivale a somatória de SO₂ e SO₃, expresso como SO₂;
- 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/m³;

Exemplo de uso da Tabela:

- Consumo de 100.000 m³/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_x. Emissões estimadas:

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

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

$$\text{SO}_x = 100.000 \text{ t/ano} \times 18,81 \text{ kg/t} = 1.881.000 \text{ kg/ano} = 1.881 \text{ t/ano}; \text{ com eficiência esperada de } 90\% \text{ pelo ECP} = 188,1 \text{ t/ano como emissão a ser declarada}$$

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

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL

CAPITULO 2

FONTES DE COMBUSTÃO

ANEXO III – CÁLCULO DA POTÊNCIA TÉRMICA NOMINAL

Capacidade nominal é a condição máxima de operação da unidade de geração de calor para o qual o equipamento foi projetado, determinado em termos de potência térmica, com base no Poder Calorífico Inferior (PCI), calculado a partir da multiplicação do PCI do combustível pela quantidade máxima de combustível queimada por unidade de tempo.

Como exemplo para uma caldeira cujo consumo de óleo é 2.752 kg/h; com óleo de PCI = 39,25 MJ/kg.

- Potência Térmica (MJ/h) = 2.752 kg/h x 39,25 MJ/kg = 108.016 MJ/h
- Potência Térmica (MW) = (108.016 MJ/h) / (3.600 s/h) = 30 MW

Exemplo para uma caldeira cujo consumo de gás natural é 2.876 Nm³/h; com PCI do gás natural = 37,53 MJ/Nm³ (1 atm, 273,15 K)

- Potência Térmica (MJ/h) = 2.876 Nm³/h x 37,53 MJ/Nm³ = 107.936,28 MJ/h
- Potência Térmica (MW) = (107.936,28 MJ/h) / (3.600 s/h) = 30 MW

Para uma caldeira cujo consumo de biomassa de cana-de-açúcar é de 50 t/h; com PCI da biomassa de cana-de-açúcar a 50% de umidade = 1.700 kcal/kg.

- Para a conversão de kcal/h para MW deve-se multiplicar por $1,16 \times 10^{-6}$
- Capacidade nominal = 50.000 x 1.700 x $1,16 \times 10^{-6}$ = 98,6 MW