

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

1. INTRODUÇÃO

Este documento define a melhor tecnologia prática disponível (MTPD) para o diagnóstico das fontes de emissão de poluentes atmosféricos de indústrias de produção de papel e celulose integrantes do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014.

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, 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 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.), as fontes 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

Com o objetivo de facilitar a aplicação deste guia, ele será dividido por unidade produtiva, contemplando os poluentes material particulado (MP), óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis (COV) e enxofre reduzido total (ERT).

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 hemicelulose¹ 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 (série de evaporadores em série 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, grande parte desse material composto de carbonato e sulfeto de sódio, são coletados e dissolvidos com licor branco fraco ou água quente, que irão formar 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 Na₂CO₃, e forma novamente hidróxido de sódio (NaOH), recompondo o licor branco forte, acrescido de uma lama calcária (carbonato de cálcio – CaCO₃), que é precipitada na reação. Esta é separada e enviada para um Forno de Cal,

¹ As hemiceluloses são polissacarídeos. Junto com celulose, a pectina e as glicoproteínas formam a Parede celular das células vegetais.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

onde ocorre a calcinação da lama, recuperando o CaO para reutilização no processo e liberando CO₂.

No forno de cal ocorre uma reação semelhante com sulfeto de sódio residual na lama de cal, 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 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, mas, sim, do Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível – Fontes de Combustão.

Tabela 01 – Principais fontes de emissões de poluentes

Fonte	Poluente				
	MP	SOx	NOx	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 (CaCO₃);
- licor branco fraco: solução resultante da lavagem da lama de cal com água ou condensado;
- licor preto fraco, licor negro fraco ou lixívia: 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 fundido da fornalha da caldeira de recuperação é dissolvido em licor branco fraco para formar licor verde.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

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;
- 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 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 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 **SO₂** e **ETR** 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

As emissões de **NO_x** de uma caldeira de recuperação dependem dos teores de sólidos sedimentáveis (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, lamas biológicas, 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 SO₂ e num aumento das emissões de NO_x. Por esse motivo, uma caldeira de recuperação com baixos níveis de emissões de SO₂ pode ter altos índices de emissões de NO_x, e vice-versa.

Para reduzir as emissões de **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 registos 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 **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 **SO₂** 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;
- Control e do teor de Na₂S 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;

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

- Controle do teor de Na_2S 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 **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 NO_x;
- Uso de combustível com baixo teor de N

4.3 REDUÇÃO DAS EMISSÕES DOS QUEIMADORES DE GASES NÃO CONDENSÁVEIS EM QUEIMADORES ESPECÍFICOS

Para reduzir as emissões de **SO₂** da destruição térmica de gases não condensáveis em pós-queimadores específicos, constitui MTPD utilizar um lavador de gases com meio alcalino. Para reduzir as emissões de **NO_x**, constitui MTPD a realização de incineração por fases.

4.4 EMISSÕES ODORÍFICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

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;
- Enclausuramento de parte dos tanques do sistema de tratamento de águas residuárias, com captação e tratamento dos gases em equipamento específico de controle;
- 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 bombagem da recirculação de lamas;

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

- 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 nas bacias de contenção durante mais tempo do que o necessário; manter as bacias de contenção vazias;
- Se forem utilizados secadores de lodos, tratar os gases de exaustão da secagem térmica dos lodos por lavagem e/ou biofiltração;
- Evitar a utilização de torres de refrigeração para as águas residuárias não tratadas, utilizando placas trocadoras de calor;

5. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

As fontes de emissão provenientes de processos de fabricação de celulose estão sujeitas ao atendimento aos limites de emissão estabelecidos no seu específico licenciamento, em função da sua localização, e aos seguintes padrões de emissão estabelecidos nas resoluções CONAMA 382/07 e 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 ⁽¹⁾			
	MP	ERT ⁽²⁾	SOx ⁽²⁾	NOx ⁽³⁾
Caldeira de recuperação	100	15	100	470
Tanques de Dissolução ⁽⁴⁾	0,1	0,008	NA	NA
Forno de Cal	100	30	NA	470

(1) valores expressos em mg/Nm³, base seca a 8% de O₂, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque de dissolução

(2) expresso como SO₂ (3) expresso como NO₂ (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 ⁽¹⁾			
	MP	ERT ⁽²⁾	SOx ⁽²⁾	NOx ⁽³⁾
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 ⁽⁴⁾	0,5	0,08	NA	NA
Forno de Cal	180	30	NA	470

(1) valores expressos em mg/Nm³, base seca a 8% de O₂, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque de dissolução

(2) expresso como SO₂ (3) expresso como NO₂ (4) expresso como kg/tSS (tonelada de sólidos secos)

NA – não aplicável

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

Costa 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

Constitui MTPD monitorar as emissões para a atmosfera, 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 – PME, aprovado em Resolução de Diretoria CETESB nº N° 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.

Tabela 4 – Frequência e tipo de monitoramento

Fonte	Poluente	Amostragem em chaminé	Monitor Contínuo
Caldeira de Recuperação	MP	Anual	-
	SOx	Anual	Aplicável
	NOx	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável
Forno de Cal	MP	Anual	-
	SOx	Anual	Aplicável
	NOx	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável
Tanque de Dissolução	MP	Anual	-
	SOx	Anual	Aplicável
	NOx	Anual	Aplicável
	ERT	Anual	Aplicável

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

A aplicabilidade de monitoramento contínuo, ou PEMs, das fontes citadas acima está vinculada a qualidade do ar da região e a emissão remanescente da fonte, podendo ser exigida a sua instalação, atendendo 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 PAPEL E CELULOSE

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

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
Combustíveis com baixo teor de Nitrogênio	NOx	A utilização de combustíveis com baixo teor de nitrogênio reduz as emissões de NOx 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 NOx 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 NOx mais elevados do que a queima de combustível líquido
Combustível com baixo teor de enxofre	SOx 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 ₂ produzidas durante a combustão pela oxidação do enxofre contido no combustível
Controle do teor de Na ₂ S da lama de cal	SOx e ERT	A lavagem e a filtração eficientes das lamas de cal baixam a concentração de Na ₂ S, reduzindo assim a formação de sulfeto de hidrogênio no forno, durante o processo de calcinação.
Destruição térmica de gases não condensáveis (GNC)	SOx 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	NOx	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.
Lavagem alcalina de gases	MP, SOx 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.

PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE FONTES ESTACIONÁRIAS

GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL PAPEL E CELULOSE

Técnica ou ECP	Poluente	Descrição Sucinta
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	NOx	A técnica baseia-se principalmente nas seguintes características: <ul style="list-style-type: none">• controle cuidadoso do ar utilizado na combustão (evitando o excesso de oxigênio);• minimização das entradas de ar para a fornalha;• alteração do desenho da câmara de combustão da fornalha.