

**Justificativa para a Proposta de Novos Limites de Emissões Atmosféricas para  
Fontes Existentes da Indústria de Celulose e Papel**

**Revisão 1**

**Julho de 2010**

## Índice Geral

<b><u>1. HISTÓRICO TECNOLÓGICO DO SETOR.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>3. CRITÉRIOS PARA ANÁLISE E DEFINIÇÃO DOS LIMITES PARA FONTES EXISTENTES.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>4. LEGISLAÇÕES E LICENCIAMENTOS ESTADUAIS.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
4.1. CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS.....	7
4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM FORNOS BROBY.....	7
4.3. FORNOS DE CAL.....	10
4.4. TANQUES DE DISSOLUÇÃO.....	10
<b><u>5. DADOS DE EMISSÕES E PROPOSTAS.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
5.1. CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS.....	11
5.2. FORNOS DE CAL.....	13
5.3. TANQUES DE DISSOLUÇÃO.....	14
<b><u>6. DADOS DE EMISSÕES ANTERIORES AOS INVESTIMENTOS PARA ATENDIMENTO DE LIMITES ESTADUAIS.....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b><u>7. INVESTIMENTOS.....</u></b>	<b><u>17</u></b>
<b><u>8. JUSTIFICATIVA PARA PRAZO DE ADEQUAÇÃO À PROPOSTA.....</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b><u>9. CONCLUSÕES.....</u></b>	<b><u>19</u></b>

## 1. Histórico Tecnológico do Setor

De acordo com dados do BNDES ([http://www.bndes.gov.br/conhecimento/livro\\_setorial/setorial04.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/livro_setorial/setorial04.pdf)) a história dos investimentos realizados no setor produtivo de celulose e papel no Brasil pode ser dividida em três momentos específicos, que, conseqüentemente, remetem a três momentos tecnológicos deste setor.

Os primeiros empreendimentos datam ainda do século XIX com a instalação de uma fábrica no estado do Rio de Janeiro. Entretanto, os primeiros investimentos significativos foram realizados entre a década de 1950 e 1960. Por sua vez, estes empreendimentos já utilizavam tecnologias trazidas de países com tradição neste setor. Obviamente, os aspectos e impactos ambientais ainda não habitam a centralidade do desenvolvimento tecnológico daquela época.

Em um segundo momento econômico, já na década de 1970, foram realizados investimentos para a implantação de novos empreendimentos que já consideravam, em sua concepção, sistemas de controle ambiental e a importância do aumento de escala produtiva. Já durante o terceiro e atual momento, iniciado na década de 1990, foram cristalizadas as características observadas anteriormente, infundindo nos *layouts* e projetos as marcas adquiridas durante o advento da conscientização e das legislações ambientais.

É plausível admitir que os empreendimentos separados por consideráveis espaços de tempo utilizaram tecnologias também bastante distintas.

As características tecnológicas mais marcantes são claramente observadas nos sistemas de recuperação de produtos químicos utilizados principalmente nos processos de cozimento. Podem ser citados as plantas de evaporação, as caldeiras de recuperação, bem como as plantas de caustificação e fornos de cal, que constituem, portanto, o ciclo de recuperação química que é o responsável, via de regra, pela viabilidade econômica e ambiental dos empreendimentos desta natureza.

Contudo, apesar das atualizações tecnológicas naturais proporcionadas por extensos investimentos e profundos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, ainda estão em operação empreendimentos implantados durante os dois momentos históricos previamente discutidos.

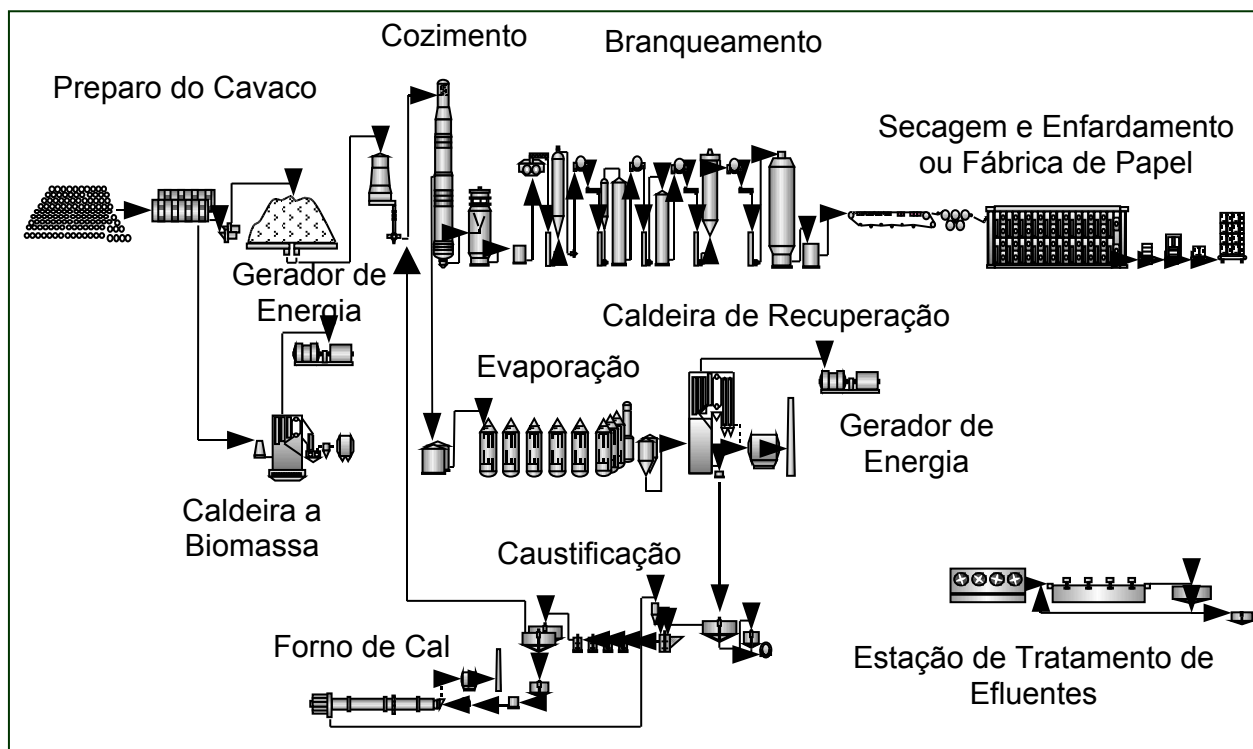
Grande peso temático sobre os projetos e estudos realizados pelo setor de celulose e papel tiveram as legislações ambientais, tanto no âmbito nacional quanto no estadual. Como óbvia fonte de informações ou iniciais limites, as leis federais regulando os impactos ambientais das mais diversas origens, foram adotadas pelos estados a elas submetidas. Na falta da norma maior para as emissões atmosféricas, ficou sob sua responsabilidade a regulação destas fontes.

Vale ressaltar que os empreendimentos lotados nos dois primeiros momentos históricos, em virtude de sua permanente viabilidade técnica e distribuição territorial, contribuem com significativo número de postos de trabalho e conseqüente contribuição sócio-econômica.

Isto posto, para a construção desta proposta de limites para os poluentes atmosféricos para fontes fixas, foram considerados primeiramente os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 382, os momentos históricos e tecnológicos do setor de celulose e papel, já discutidos, bem como as normas estaduais em vigor para suas fontes atmosféricas fixas. É claro e evidente, que todos os empreendimentos hora em operação já adotaram arrojados planos de investimentos para sua adequação às normas estaduais às quais estão submetidos.

No Brasil a única legislação estadual existente por tipologia é a do Paraná (Resolução nº 054/06 – SEMA), em vigor desde 2007. Sendo assim, esta serviu de base para os parâmetros sugeridos para fontes existentes, quando parâmetros da CONAMA 382 não puderam ser empregados, por impossibilidade técnica ou econômica.

## 2. Descrição do Processo Produtivo



**Figura 1.** Fluxograma do processo produtivo de celulose e papel.

O setor produtivo de celulose e papel no Brasil utiliza, basicamente, o processo Kraft para o cozimento da madeira – baseado em solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. O que torna o processo viável econômica e ambientalmente é a possibilidade de recuperação destes reagentes através da concentração do licor preto gerado no cozimento e sua posterior queima nas caldeiras de recuperação química.

O sistema de combustão das caldeiras de recuperação química consiste, basicamente, na injeção de combustível – licor preto – na altura intermediária da fornalha e de três camadas de ar: a primária, junto à camada de smelt, a secundária, imediatamente acima da primária abaixo dos bicos queimadores de licor e, finalmente, a terciária na seção mais elevada da fornalha. As caldeiras mais modernas possuem a quarta camada de ar.

A primeira camada tem a função de fornecer comburente – oxigênio – com baixo volume para as reações de redução e recuperação do sulfato de sódio na forma de sulfeto de sódio. A segunda tem a função de fornecer o mesmo comburente para a

secagem do licor e as reações de oxidação da matéria orgânica e a conseqüente geração de calor. Já a terceira camada possui a função especial de promover a selagem da fornalha reduzindo as emissões de material particulado, sendo que a ultima camada aparece somente em projetos mais modernos.

Desde sua criação, o ciclo de recuperação passou por uma série de evoluções tanto no sistema de injeção de combustível como no de comburente. São exemplos a queima estacionária do licor para o primeiro e alterações na disposição das entradas de ar na fornalha para o segundo.

Obviamente, com o advento das legislações ambientais, sistemas de pós-tratamento foram desativados por obsolescência técnica e outros foram incorporados às caldeiras de recuperação. Em virtude da natureza inorgânica – susceptível a alterações e interações eletrostáticas – o equipamento mais indicado para este uso é o precipitador eletrostático.

### **3. Critérios para Análise e Definição dos Limites para Fontes Existentes**

Sempre foram alvo principal os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 382. A despeito desta referência, com o intuito de se gerar uma proposta viável técnica e economicamente, foram observados uma série de fatos e fatores, como as legislações estaduais vigentes – Paraná, São Paulo e Minas Gerais.

Além disso, não poderia ser esquecida a realidade das indústrias que já operam no país e suas diferenças tecnológicas e de porte como discutido nos itens anteriores.

Seguindo esta linha, foram tratadas algumas exceções, explicitadas no ciclo de recuperação de produtos químicos e discutidas no item 4.2 deste documento.

Durante a avaliação do parque industrial brasileiro foi identificada a necessidade de separação das fontes existentes por porte – caldeiras de recuperação de produtos químicos maiores que 2.000 tSS/dia e menores que 2.000 tSS/dia. Estes números representam a capacidade de queima de sólidos secos por dia (SS/dia) e demonstra se um equipamento é considerado grande ou pequeno. Este conceito já é utilizado pela legislação do Paraná e aparece nos limites da CONAMA 382 para outras fontes, como caldeiras que queimam derivados da madeira.

Para a determinação da viabilidade da proposta, e conseqüente continuidade de alguns empreendimentos, foram consultados os fabricantes de caldeiras de recuperação de produtos químicos sobre a capacidade mínima para um novo equipamento. A resposta foi 400 tSS/dia. Este número determina, igualmente, um tamanho mínimo para as fábricas de celulose. Assim, um empreendimento que eventualmente tenha que substituir ou melhorar seu sistema de recuperação para atendimento a esta proposta não poderá instalar caldeiras com capacidade menor que 400 tSS/dia, devendo, em alguns casos, passar por um processo de ampliação de toda a unidade produtiva.

Finalmente, foram feitas comparações do desempenho das fontes fixas existentes com as legislações estaduais vigentes e com a própria Resolução CONAMA 382.

#### 4. Legislações e Licenciamentos Estaduais

Nos quadros abaixo são demonstrados os limites de emissão já definidos em alguns estados da Federação comparativamente à Resolução CONAMA 382 e à proposta estabelecida.

##### 4.1. Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos

**Tabela 1.** Limites estabelecidos em legislações ou licenciamentos estaduais para Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos.

Estados	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	Capacidade tSS/dia	Comentário
Paraná	30	250	240	<400	Limites referentes a 8% de O <sub>2</sub>
Paraná	15	250	150	>400	
São Paulo	15	230	80	-	
Minas gerais	20	1.000	200	-	Não especificado
<b>CONAMA 382</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	Limites referentes a 8% de O <sub>2</sub>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>240</b>	<b>&lt;2.000</b>	
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>&gt;2.000</b>	

##### 4.2. Descrição do Processo de Recuperação de Produtos Químicos em Fornos

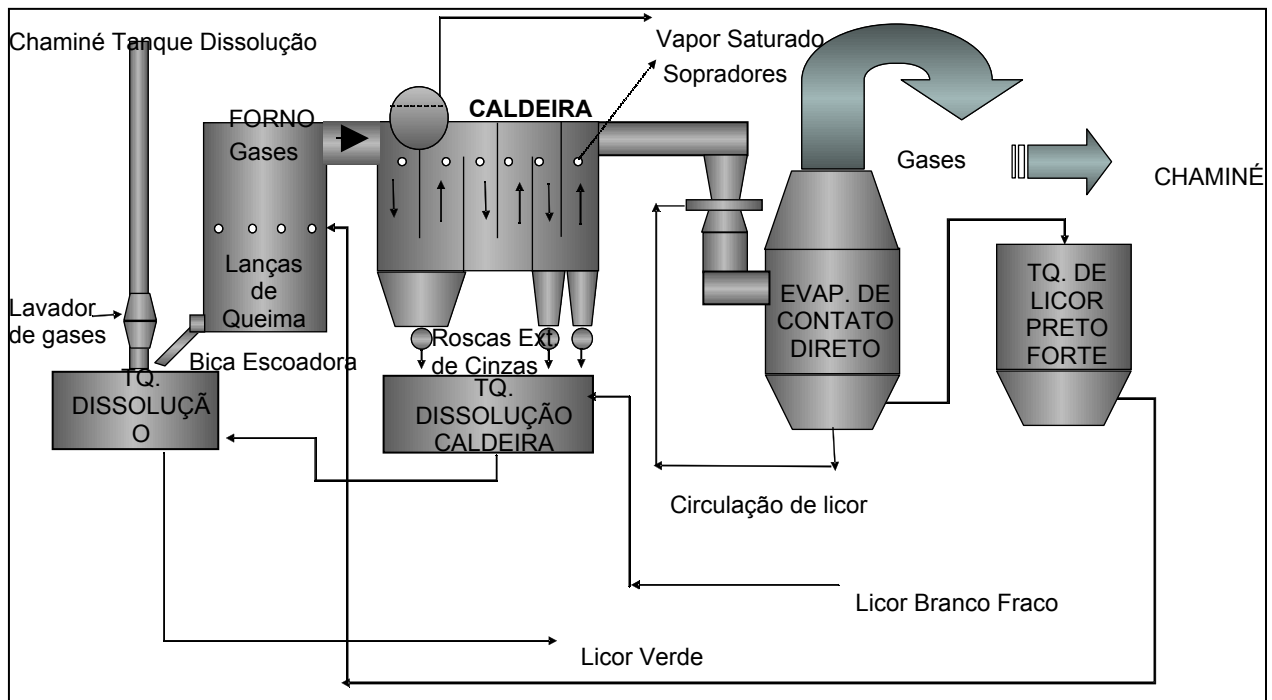
###### Broby

Como mencionado anteriormente, existem algumas exceções, ou alternativas às caldeiras de recuperação de produtos químicos, que devem ser tratadas separadamente; é o objetivo deste item.

Uma alternativa para a recuperação dos produtos químicos utilizados no processo de cozimento da madeira de baixa produção e por conseqüência baixa geração de SS/dia é o Forno Broby ou *Smelter*. Este equipamento possui a mesma função das caldeiras, entretanto, com um funcionamento bem diferente.

A maior diferença está no processo de queima, realizado em um forno, sendo os gases da queima direcionados para uma caldeira para a geração de vapor de média pressão. Já nas caldeiras de recuperação a queima e a geração de vapor ocorrem no mesmo espaço e produzem vapor de alta pressão. Assim, a caldeira que segue o Forno Broby tem outra função de tratar os gases provenientes da queima do licor preto através de chicanas que promovem a remoção gravitacional, com baixas eficiências, do material particulado.

Outro complicador é a utilização destes gases no processo de evaporação, ou concentração, do licor preto fraco através de evaporadores de contato direto; todas estas operações podem ser observadas no fluxograma da Figura 2.



**Figura 2.** Fluxograma de operação de um Forno Broby.



Diante destas particularidades, pode-se concluir que a qualidade ambiental de empreendimentos que utilizam esta tecnologia é questionável, principalmente no que se refere às emissões de material particulado e gases odorosos.

A Tabela 2 mostra os dados de monitoramento de 3 empresas que utilizam o Forno Broby como equipamento para a recuperação dos produtos químicos utilizados no cozimento.

A celulose produzida por estas empresas não passa pelo processo de branqueamento e é utilizada para a produção de papéis para embalagens. As empresas avaliadas representam 20% do volume de produção do país.

**Tabela 2.** Dados de monitoramento de Fornos Broby.

<b>Empresas</b>	<b>ERT mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>SOx mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>MP mg/Nm<sup>3</sup></b>
1	252	34	2.500
2	250	35	3.800
3	2.400	57	4.000
<b>CONAMA 382</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Diante dos resultados mostrados é possível concluir que nenhuma das empresas avaliadas atenderia aos limites da presente proposta e tampouco da CONAMA 382.

Assim, para a continuidade operacional dos empreendimentos e melhorias ambientais necessárias, vários investimentos poderão ser realizados, como oxidação do licor preto, baixa sulfidez de cozimento e lavadores de gases. Entretanto, para que os limites, tanto da proposta quanto da CONAMA 382, sejam atingidos, as empresas deverão passar por profundos projetos de expansão da produção para que os investimentos ambientais sejam viáveis economicamente.

### 4.3. Fornos de Cal

**Tabela 3.** Limites estabelecidos em legislações ou licenciamentos estaduais para Fornos de Cal.

<b>Estados</b>	<b>ERT mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>MP mg/Nm<sup>3</sup></b>
Paraná	30	177
São Paulo	57	179
Minas gerais	-	150
<b>CONAMA 382</b>	<b>30</b>	<b>100</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>30</b>	<b>180</b>

### 4.4. Tanques de Dissolução

**Tabela 4.** Limites estabelecidos em legislações ou licenciamentos estaduais para Tanques de Dissolução.

<b>Estados</b>	<b>ERT tSS/dia</b>	<b>MP tSS/dia</b>
Paraná	0,08	0,5
São Paulo	0,05	0,08
Minas gerais	-	0,2
<b>CONAMA 382</b>	<b>0,008</b>	<b>0,1</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>0,08</b>	<b>0,5</b>

Verifica-se que os limites de legislações e licenciamentos estaduais, definidos em sua maioria por empreendimentos, estão acima dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 382 e, em alguns casos, da própria proposta apresentada.

## 5. Dados de Emissões e Propostas

Nos quadros abaixo são demonstrados os resultados dos parâmetros emitidos, por uma amostragem representativa de nove empresas, identificadas por número seqüencial, comparativamente à Resolução CONAMA 382 e à proposta estabelecida.

Estas empresas representam 50% do parque industrial brasileiro e 80% do volume de produção atual do país.

### 5.1. Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos

A proposta mantém os parâmetros de ERT, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> da Resolução CONAMA 382. Entretanto, para Material Particulado são propostos novos limites como será discutido abaixo.

**Tabela 5.** Dados de monitoramento de Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos adquiridas recentemente e que atendem aos limites da Resolução CONAMA 382.

Empresas	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	Capacidade tSS/dia
1	10	3	40	310	<2.000
2	4,5	8,1	43	-	>2.000
<b>CONAMA 382</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>470</b>	<b>-</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>240</b>	<b>470</b>	<b>&lt;2.000</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>470</b>	<b>&gt;2.000</b>

As caldeiras 1 e 2 foram adquiridas recentemente. Apesar de não estarem sob as restrições da Resolução CONAMA 382, por terem sido implantadas antes da sua publicação, foram projetadas com este objetivo, como pode ser observado na Tabela 5. Desta forma, ambas as fontes atenderiam também a presente proposta e representam 20% da amostragem apresentada neste documento.

**Tabela 6.** Dados de monitoramento de Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos com capacidade **menor** que 2.000 tSS/dia.

Empresas	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	Capacidade tSS/dia
3	14	14	220	-	< 2.000
4	15	230	80	-	<2.000
5	14,9	7	101	187	<2.000
6	5	11	233	125	<2.000
7	3	5	1.100	94	<2.000
8	8,00	100	332	112	<2.000
9	7,80	46	57	77	<2.000
10	1,55	6	36,7	115	<2.000
<b>CONAMA 382</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>470</b>	<b>-</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>240</b>	<b>470</b>	<b>&lt;2.000</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>470</b>	<b>&gt;2.000</b>

Para as caldeiras com capacidade menor que 2.000 tSS/dia 4 equipamentos deverão passar por melhorias para atendimento à proposta, 3, 6, 7 e 8. Apesar de dois deles

apresentarem emissões ligeiramente abaixo dos limites propostos, quando são consideradas as incertezas analíticas e as variações de processo, não é possível a garantia de atendimento a esses limites. Assim, as melhorias necessárias representam, 40% dos equipamentos amostrados e uma expectativa de redução média de 39% das emissões de material particulado.

**Tabela 7.** Dados de monitoramento de Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos com capacidade maior que 2.000 tSS/dia.

Empresas	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	Capacidade tSS/dia
11	1	1	110	150	> 2.000
12	3,1	2,3	129	-	>2.000
<b>CONAMA 382</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>470</b>	<b>-</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>240</b>	<b>470</b>	<b>&lt;2.000</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>470</b>	<b>&gt;2.000</b>

Da mesma forma que as caldeiras mais novas, as de maior capacidade atenderiam à proposta. Entretanto, uma delas, que representa 10% da amostragem, deverá passar por melhorias para a garantia do atendimento ao limite proposto. A expectativa de redução é de 7% para as emissões de material particulado.

Assim, para atendimento aos limites propostos para caldeiras de recuperação de produtos químicos, para o parâmetro material particulado, 42% das fontes avaliadas deverão passar por melhorias, com uma redução média esperada de 23% das emissões.

As estimativas de redução das emissões de material particulado consideram que para a garantia de atendimento aos limites desta proposta deve haver, nos projetos dos equipamentos de controle, uma previsão de variação do processo de, aproximadamente, 20%; esta previsão deverá, necessariamente, incluir as incertezas analíticas. Assim, os empreendimentos que operam dentro desta faixa de variação deverão tomar ações, operacionais ou de investimentos, para garantir o atendimento aos limites aqui propostos.

As emissões das caldeiras de recuperação chegam a representar 73%, em vazão, das emissões totais de uma fábrica de celulose moderna. Assim, as reduções esperadas

após a implantação desta proposta serão muito significativas para a qualidade ambiental do das regiões onde estão instaladas e para o país.

Diante da amostragem realizada, apesar de ser considerada significativa, estima-se que o cenário das empresas que não foram consideradas nesta avaliação aproxima-se daquele mostrado na Tabela 5, consideradas recentes.

Vale ressaltar que as melhorias necessárias para o atendimento a esta proposta poderão ser alcançadas com várias soluções de engenharia, entre elas a ampliação de equipamentos. É importante lembrar que estamos tratando de fontes e fábricas existentes e que, em alguns casos já identificados, não há possibilidade técnica de melhorias maiores que as apresentadas neste documento.

## 5.2. Fornos de Cal

A exemplo das caldeiras de recuperação, os limites da CONAMA 382 para ERT e NO<sub>x</sub> para os fornos de cal serão mantidos nesta proposta. Já para material particulado foram propostos novos limites em virtude das diferenças tecnológicas entre as empresas avaliadas; algumas utilizam lavadores de gases e outras precipitadores eletrostáticos.

**Tabela 8.** Dados de monitoramento de Fornos de Cal.

<b>Empresas</b>	<b>ERT mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>MP mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>NO<sub>x</sub> mg/Nm<sup>3</sup></b>
1	1	49	-
2	9	100	-
3	2,5	94	-
4	320	700	145
5	20	179	-
6	-	-	-
7	9	233	376
8	10	95	58
9	3	59	-
10	12	232	437
11	7,6	280	440
12	5,2	62	235
<b>CONAMA 382</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>470</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>30</b>	<b>180</b>	<b>470</b>

É possível observar que duas empresas, 1, 9 e 12, atenderiam à CONAMA 382 e à proposta. Estas empresas possuem os equipamentos mais recentes dentre as avaliadas.

Entretanto, para o atendimento aos limites propostos para material particulado, com todas as garantias, 42% das empresas avaliadas deverão passar por melhorias. A expectativa de redução é de 45%.

As emissões atmosféricas dos fornos de cal representam, aproximadamente, 8% em vazão, das emissões totais de uma fábrica de celulose. Assim, apesar de terem uma representatividade menor que as caldeiras de recuperação, os ganhos apresentados ainda são muito significativos.

Para que as melhorias necessárias para o atendimento à proposta sejam alcançadas, as empresas que utilizam lavadores de gases deverão substituí-los por precipitadores eletrostáticos, mais eficientes. Além disso, em alguns casos já identificados, os equipamentos de tratamento dos gases deverão ser ampliados sem possibilidades técnicas de melhorias maiores que as já apresentadas.

### **5.3. Tanques de Dissolução**

Os tanques de dissolução são equipamentos que fazem parte das caldeiras de recuperação de produtos químicos e têm a função de dissolver o fundido lá gerado para que esta nova solução passe para a última etapa do ciclo de recuperação.

O tratamento dos gases provenientes do processo de dissolução do fundido é realizado exclusivamente com lavadores de gases, que possuem baixas eficiências de remoção de material particulado quando comparados com os precipitadores eletrostáticos. Estes últimos equipamentos não poderiam ser aplicados a esta fonte em virtude dos elevados teores de umidade presente em seus gases, pois se não se trata de uma fonte geradora de gases por combustão, mas sim, gases gerados a partir de um processo de evaporação resultante da dissolução do *smelt* a alta temperatura com lavado fraco com uma temperatura bem inferior.

Assim, a melhor solução técnica existente para o controle das emissões dos tanques de dissolução não apresenta eficiência necessária para o atendimento aos limites da CONAMA 382, que se mostraram, portanto, para fontes existentes, muito ousados.

Entendendo esta realidade, fabricantes de caldeiras de recuperação apresentaram projetos inovadores para que os gases gerados nos tanques fossem inseridos e queimados nas fornalhas de suas caldeiras, eliminando, assim, uma das fontes.

Entretanto, somente as caldeiras novas, e algumas poucas mais antigas, possuem possibilidade técnica para esta adaptação em virtude dos volumes de gases envolvidos, volume da fornalha e das eficiências de recuperação de produtos químicos.

Diante disso foram propostos novos limites para os tanques de dissolução, tanto para o parâmetro ERT quanto para material particulado.

**Tabela 9.** Dados de monitoramento de Tanques de Dissolução.

<b>Empresas</b>	<b>ERT Kg/tSS</b>	<b>MP Kg/tSS</b>
1	0,040	0,200
2	0,007	0,150
3	0,090	0,060
4	0,036	0,018
5	0,050	0,084
6	0,007	0,120
7	0,008	1,710
8	0,003	0,620
9	0,070	0,060
10	0,005	0,030
11	0,004	0,060
12	ND	ND
<b>CONAMA 382</b>	<b>0,008</b>	<b>0,100</b>
<b>PROPOSTA</b>	<b>0,08</b>	<b>0,500</b>

É possível observar que apenas as empresas 10 e 11 atenderiam totalmente aos limites da CONAMA 382.

Ainda é possível observar que duas empresas, 3 e 9, ou 17%, deverão passar por melhorias para atendimento, com garantias, à proposta para ERT. Além disso, outras duas empresas, 7 e 8, ou 17%, deverão se adequar para o atendimento à proposta para MP.

Assim, as reduções estimadas para ERT serão de 56% e para MP de 19%. Entretanto, as emissões provenientes dos tanques de dissolução representam apenas 4% das emissões totais, em vazão. Portanto, apesar de serem esperadas melhorias significativas para as fontes, estas têm representatividade muito baixa nas emissões totais de uma fábrica de celulose.

## 6. Dados de Emissões Anteriores aos Investimentos para atendimento de Limites Estaduais

Nas tabelas apresentadas abaixo são mostrados dados de emissões e reduções alcançadas, após investimentos já realizados, em equipamentos de controle para melhorias ambientais e atendimento às legislações estaduais vigentes.

**Tabela 10.** Dados de monitoramento de Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos antes e após os investimentos.

Empresas	ANTES		APÓS			
	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	SO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>
11	36	50	2.394	1	1	110
3	35	42	591	15	15	220
12	4,5	8,1	236	3,1	2,3	129

**Tabela 11.** Redução obtida nas emissões de Caldeiras de Recuperação de Produtos Químicos após os investimentos.

Empresas	REDUÇÃO		
	ERT (%)	SO <sub>x</sub> (%)	MP (%)
11	97,2	98,0	95,4
3	57,1	64,3	62,8
12	31,1	71,6	45,3

Pode ser observado que as melhorias da qualidade ambiental das empresas do setor já foram muito significativas. Além disso, já foram identificados alguns casos de impossibilidade técnica para novas ampliações ou melhorias além das já apresentadas.

**Tabela 12.** Dados de monitoramento de Fornos de Cal antes e após os investimentos.

Empresas	ANTES		APÓS		REDUÇÃO	
	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	ERT (%)	MP (%)
1	267	116	1	49	99,6	57,8
2	117	262	9	100	92,3	61,8
8	9	657	9	233	0	64,5



**Tabela 13.** Dados de monitoramento de Tanques de Dissolução antes e após os investimentos.

Empresas	ANTERIOR		ATUAL		REDUÇÃO	
	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	ERT mg/Nm <sup>3</sup>	MP mg/Nm <sup>3</sup>	ERT (%)	MP (%)
1	0,20	0,90	0,04	0,2	80	78
2	0,04	0,30	0,007	0,15	82	50

As demais fontes de emissões atmosféricas da indústria de celulose e papel, fornos de cal e tanques de dissolução, passaram por profundas melhorias ambientais, a exemplo das caldeiras de recuperação, como pode ser observado nas tabelas 12 e 13.

## 7. Investimentos

A Tabela 14 mostra os valores de investimentos já realizados para a melhoria da qualidade ambiental e adequação à legislação estadual vigente. Já a Tabela 15 mostra os valores estimados que deverão ser investidos para a adequação das fontes existentes a presente proposta.

**Tabela 14.** Valores de investimentos já realizados para atendimento às legislações estaduais vigentes.

Empresas	Investimento	% Lucro Anual
1	35.000.000	11
2	2.100.000	150
3	15.000.000	9
4	5.000.000	23

**Tabela 15.** Valores a investir para adequação à proposta.

Empresas	Investimento	% Lucro Anual
1	10.000.000	20
2	28.000.000	130
3	22.000.000	53

É possível observar que são mostrados investimentos bastante vultuosos, principalmente quando comparados aos lucros das empresas. É plausível afirmar que para alguns empreendimentos não haverá viabilidade econômica para a adequação sem estar ligada a um aumento de produção.

É importante lembrar que já foram identificados alguns casos em que o limite técnico para melhoria das emissões atmosféricas já foi atingido.

Como exemplo, a empresa mostrada na foto da Figura 3, implantou todos os melhores equipamentos para controle de suas emissões atmosféricas atendendo, assim, aos limites da legislação sob a qual está submetida.

O equipamento identificado com o número “1” é a caldeira de recuperação de produtos químicos e o número “2” seu precipitador eletrostático. Ainda são mostrados a chaminé central, “3”, o forno de cal, “4” e seu precipitador eletrostático, “5”. Como pode ser observado, toda a área útil para distribuição dos equipamentos é utilizada.

O elemento de projeto que possui grande influência sobre as eficiências de precipitação eletrostática é a área de contato entre eletrodos e placas e gases. Sabendo que em virtude dos fluxos de gases a altura dos precipitadores é limitada, seu aumento de capacidade se dará através do aumento de área. No caso exemplificado, não há área suficiente para redimensionamentos dos precipitadores sem que haja realocações de grandes equipamentos como chaminé, plantas de caustificação e evaporação e seus estoques, tornando ampliações inviáveis técnica e economicamente.



Fonte: Google Earth

**Figura 3.** Exemplo de limitações técnicas para melhoria das emissões.

Também é importante ressaltar que a numeração das empresas mostradas nas tabelas 14 e 15 não tem relação com a numeração mostrada nas tabelas anteriores.

## 8. Justificativa para Prazo de Adequação à Proposta

Abaixo é mostrado um cronograma simplificado para a realização das medições, estudos e projetos de engenharia para a instalação das melhorias discutidas, para os empreendimentos que ainda não as possuem.

**Quadro 1.** Cronograma para adequação à proposta.

Etapas	Ano 1				Ano 2				Ano 3				Ano 4				Ano 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Adequação ou criação dos pontos de amostragem	■																			
Contratação de laboratórios especializados em medições atmosféricas	■																			
Realização das medições atmosféricas		■																		
Estudo para determinação das tecnologias disponíveis			■	■																
Contratação de empresa de engenharia					■															
Elaboração e aprovação de propostas técnicas						■	■													
Elaboração e aprovação de projetos								■	■											
Licenciamento ambiental (LP, LI, LO)										■	■	■	■							
Implantação														■	■	■	■			
Testes operacionais																			■	■
Operação																				■

Como foi demonstrado no Quadro 1, fazem parte da elaboração dos projetos de equipamentos de controle ambiental uma série de ações anteriores à sua instalação, como medições das emissões e estudos de engenharia. Além disso, é muito comum que os órgãos licenciadores exijam processos complexos de licenciamento ambiental, demandando um tempo total estimado em 5 anos.

## 9. Conclusões

Este trabalho avaliou dados de emissões de uma porcentagem significativa de empresas de celulose operando no país, 50% das empresas e 80% do volume de produção. Além disso foram avaliados os licenciamentos e legislações estaduais e os

investimentos para adequação tecnológica e suas reduções de emissões em consequência desses parâmetros vigentes.

As empresas de celulose têm investido em melhorias de seus processos produtivos e redução das emissões de poluentes nos últimos anos, para atendimento às leis, ao mercado e aos órgãos licenciadores. Sendo assim, muitas empresas avaliadas neste relatório já cumprem a proposta apresentada devido aos altos investimentos realizados nos últimos anos. Estes representam entre 11% e 150% do lucro das empresas, dependendo do porte das mesmas, e são usualmente baseados em financiamentos a longo prazo. Uma nova redução de limites além dos valores propostos significará valores muito elevados de investimentos, até 100% dos valores já investidos, com pouca melhoria da qualidade do ar em relação às já implementadas.

A proposta foi construída com base nos seguintes critérios:

- Referência da Resolução CONAMA 382;
- Referência de legislações estaduais;
- Cenário das indústrias existentes;
- Tratamento das exceções.

A proposta mantém os parâmetros de ERT, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> da Resolução CONAMA 382 para caldeiras de recuperação. Para material particulado foram propostos novos limites. As melhorias necessárias representam 42% das fontes avaliadas com uma redução média esperada de 23% das emissões de material particulado.

Para o forno de cal também foram mantidos os parâmetros de ERT e NO<sub>x</sub> da Resolução CONAMA 382. Para material particulado foram propostos novos limites. Assim, 42% das empresas avaliadas deverão passar por melhorias, sendo que a expectativa de redução é de 45% das emissões de material particulado.

Para tanque de dissolução os valores dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 382 são muito ousados para a performance dos equipamentos utilizados para o tratamento de seus gases. Como não existe outra possibilidade técnica, foram propostos novos limites para ERT e MP, com reduções estimadas em 56% e 19%, respectivamente.

Todas as estimativas de redução apresentadas consideram que para a garantia de atendimento aos limites desta proposta deve haver, nos projetos dos equipamentos de controle, uma previsão de variação do processo de, aproximadamente, 20%; esta previsão deverá, necessariamente, incluir as incertezas analíticas. Assim, os empreendimentos que operam dentro desta faixa de variação deverão tomar ações, operacionais ou de investimentos, para garantir o atendimento aos limites aqui propostos.

Cabe salientar que os novos projetos estão sendo implantados sem esta fonte. Outros empreendimentos existentes estão avaliando a capacidade volumétrica das fornalhas e dos ventiladores de suas caldeiras de recuperação para a implantação desta alteração. Em caldeiras de recuperação mais antigas este procedimento é totalmente inviável.

O forno de recuperação Broby foi uma alternativa econômica e viável para fábricas de pequeno porte. Entretanto, se mostra desatualizado técnica e ambientalmente. Para a continuidade operacional dos empreendimentos que o utilizam, deverão ser implantados projetos de expansão para que seja viável a instalação de uma caldeira de recuperação e de todos os equipamentos mais modernos de controle ambiental.

O limite mínimo, viável técnica e economicamente, para a instalação de uma caldeira de recuperação é 400 tSS/dia e como as fábricas existentes produzem no máximo 200 tSS/dia isso implicará, necessariamente, em um aumento de produção para as fábricas existentes. Para que este aumento seja possível, deverá haver um aumento proporcional da área florestal, baseada em pinus. Estas florestas atingem a idade de corte 12 anos após o plantio. Assim, considerando a expansão da base florestal, as etapas de projeto e instalação de novos equipamentos, seriam necessários, aproximadamente, 15 anos para a adequação dos citados empreendimentos.