

**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS
INDUSTRIAIS: INDÚSTRIA QUÍMICA**



Ministério da Ciência e Tecnologia

2010

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
LUÍS INACIO LULA DA SILVA

VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA
JOSÉ DE ALENCAR GOMES DA SILVA

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SERGIO MACHADO REZENDE

SECRETÁRIO EXECUTIVO
LUIZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
LUIZ ANTONIO BARRETO DE CASTRO

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS
INDUSTRIAIS: INDÚSTRIA QUÍMICA**

Elaborado por:

Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM

Autor:

Obdulio Diego Fanti

Ministério da Ciência e Tecnologia

2010

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Departamento de Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima
Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 268
70067-900 - Brasília - DF
Telefone: 61 3317-7923 e 3317-7523
Fax: 61 3317-7657
e-mail: cpmg@mct.gov.br
<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Ingrid Person Rocha e Pinho
Mauro Meirelles de Oliveira Santos
Newton Paciornik

Revisão de Editoração:

Márcia Pimenta

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/95/G31
EQSW 103/104 lote 1 bloco D Setor Sudoeste.
70670-350 - Brasília - DF
Telefone: 61 3038-9065
Fax: 613038-9009
e-mail: registry@undp.org.br
<http://www.undp.org.br>

Agradecimentos:

Expressamos nossa mais profunda gratidão, pelos constantes incentivos e apoio em todos os momentos aos trabalhos realizados, ao Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, Dr. Sérgio Rezende, e ao Secretário Executivo, Dr. Luis Elias. Estendemos nossos agradecimentos ao Dr. Eduardo Campos, que ocupou a pasta de 2004 a 2005 e ao Dr. Luiz Fernandes, que representou a Secretaria Executiva de 2004 a 2007.

Agradecemos às equipes do GEF, do PNUD e da ABC/MRE por meio dos dirigentes dessas instituições: Sra. Monique Barbut, Dr. Jorge Chediek e Ministro Marco Farani, respectivamente, e, em particular, algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização desse trabalho não teria sido possível: Robert Dixon, Diego Massera e Oliver Page, do GEF; Rebeca Grynstan, do PNUD/Latino América e Caribe; Kim Bolduc, Eduardo Gutierrez, Carlos Castro, Rose Diegues, Luciana Brant, do PNUD-Brasil, bem como Márcio Corrêa e Alessandra Ambrosio, da ABC/MRE. Agradecemos, igualmente, à equipe da ASCAP/MCT, por meio de sua dirigente, Dra. Ione Egler. Agradecemos, por fim, à equipe da Unidade de Supervisão Técnica e Orientação Jurídica do PNUD-Brasil. A todas essas pessoas, por seu apoio e liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Apresentação _____	8
Sumário Executivo _____	9
1. Introdução _____	14
1.1 <i>Ações da indústria química nacional na redução dos GEE</i> _____	14
2. Processos produtivos analisados _____	17
2.1 <i>Produção de Amônia</i> _____	17
2.2 <i>Produção de Ácido Nítrico</i> _____	17
2.3 <i>Produção de Ácido Adípico</i> _____	19
2.4 <i>Produção de Caprolactama</i> _____	19
2.5 <i>Produção e uso do Carbureto de Cálcio</i> _____	20
2.6 <i>Produção de Dióxido de Titânio</i> _____	21
2.7 <i>Produção de Petroquímicos e de Negro-de-Fumo</i> _____	21
2.7.1 <i>Metanol</i> _____	21
2.7.2 <i>Eteno (ou Etileno)</i> _____	22
2.7.3 <i>Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC)</i> _____	22
2.7.4 <i>Óxido de Eteno</i> _____	23
2.7.5 <i>Acrilonitrila</i> _____	24
2.7.6 <i>Negro-de-fumo</i> _____	24
2.8 <i>Produção de Ácido Fosfórico</i> _____	25
2.9 <i>Outros produtos químicos</i> _____	25
3 Metodologia _____	25
4 Dados _____	26
4.1 <i>Amônia</i> _____	26
4.2 <i>Ácido Nítrico</i> _____	27
4.3 <i>Ácido Adípico</i> _____	28
4.4 <i>Caprolactama</i> _____	29
4.5 <i>Carbureto de Cálcio</i> _____	29
4.6 <i>Dióxido de Titânio</i> _____	29

4.7	Petroquímicos e Negro de Fumo	30
4.7.1	Metanol	30
4.7.2	Eteno	30
4.7.3	Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC)	30
4.7.4	Óxido de Eteno	31
4.7.5	Acrilonitrila	31
4.7.6	Negro-de-fumo	31
4.8	Ácido Fosfórico	32
4.9	Outros produtos químicos	33
5	Resultados	35
6	Diferenças em relação ao Inventário Inicial	42
7	Referências Bibliográficas	43
Anexos		44

Lista de Tabelas

TABELA 1 - PRODUÇÃO DE AMÔNIA	26
TABELA 2 - PRODUÇÃO DE ÁCIDO NÍTRICO	28
TABELA 3 - PRODUÇÃO DE ÁCIDO ADÍPICO	28
TABELA 4 - PRODUÇÃO DE CAPROLACTAMA	29
TABELA 5 - PRODUÇÃO DE PETROQUÍMICOS E NEGRO-DE-FUMO	32
TABELA 6 - QUANTIDADE DE ROCHA FOSFÁTICA CONSUMIDA NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE ÁCIDO FOSFÓRICO	33
TABELA 7 - FATORES DE EMISSÃO DE NMVOC PARA OUTROS PRODUTOS QUÍMICOS	33
TABELA 8 - DADOS DE ATIVIDADE PARA OUTROS PRODUTOS QUÍMICOS	34
TABELA 9 - EMISSÕES DE CO ₂ DA PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS	35
TABELA 10 - EMISSÕES DE CH ₄ DA PETROQUÍMICOS E NEGRO DE FUMO	36
TABELA 11 - EMISSÕES DE N ₂ O DA PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS	37
TABELA 12 - EMISSÕES DE CO DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO ADÍPICO	38
TABELA 13 - EMISSÕES DE NO _x DA PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS	39
TABELA 14 - EMISSÕES DE NMVOC DA PRODUÇÃO DE PETROQUÍMICOS	40
TABELA 15 - EMISSÕES DE NMVOC DA PRODUÇÃO DE OUTRAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS	41

Apresentação

O Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é parte integrante da Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Convenção de Mudança do Clima). A Comunicação Nacional é um dos principais compromissos de todos os países signatários da Convenção de Mudança do Clima.

A responsabilidade da elaboração da Comunicação Nacional é do Ministério da Ciência e Tecnologia, ministério responsável pela coordenação da implementação da Convenção de Mudança do Clima no Brasil, conforme divisão de trabalho no governo que foi estabelecida em 1992. A Segunda Comunicação Nacional Brasileira foi elaborada de acordo com as Diretrizes para Elaboração das Comunicações Nacionais dos Países não Listados no Anexo I da Convenção (países em desenvolvimento) (Decisão 17/CP.8 da Convenção) e as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC).

Em atenção a essas Diretrizes, o presente Inventário é apresentado para o ano base de 2000. Adicionalmente são apresentados os valores referentes aos outros anos do período de 1990 a 2005. Em relação aos anos de 1990 a 1994, o presente Inventário atualiza as informações apresentadas no Primeiro Inventário.

Como diretriz técnica básica, foram utilizados os documentos elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudança Global do Clima (IPCC) “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” publicado em 1997, o documento “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2000, e o documento “*Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*”, publicado em 2003. Algumas das estimativas já levam em conta informações publicadas no documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2006.

De acordo com as diretrizes, o Inventário deve ser completo, acurado, transparente, comparável, consistente e ser submetido a processo de controle de qualidade.

A elaboração do Inventário contou com a participação ampla de entidades governamentais e não-governamentais, incluindo ministérios, institutos, universidades, centros de pesquisa e entidades setoriais da indústria. Os estudos elaborados resultaram em um conjunto de Relatórios de Referência, do qual este relatório faz parte, contendo as informações utilizadas, descrição da metodologia empregada e critérios adotados.

Todos os Relatórios de Referência foram submetidos a uma consulta ampla de especialistas que não participaram na elaboração do Inventário diretamente, como parte do processo de controle e garantia de qualidade. Esse processo foi essencial para assegurar a qualidade e a correção da informação que constitui a informação oficial do governo brasileiro submetida à Convenção de Mudança do Clima.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta a caracterização dos processos produtivos da indústria química nacional e suas estimativas de emissões dos gases de efeito estufa (GEE) - dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) - resultantes da produção de substâncias químicas. Também são compreendidos neste relatório de referência os gases indiretos - monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis - genericamente referidos por NMVOC (*non methanic volatile organic compounds*).

Com o avanço das tecnologias de produção de biocombustíveis, a indústria química nacional tem começado a substituir os combustíveis fósseis, utilizados como matérias-primas em seus processos produtivos, por esses combustíveis de origem renovável. Tal ação visa à redução das emissões de GEE de processo. Adicionalmente, novas tecnologias de controle de N₂O têm sido adotadas, principalmente para a produção dos ácidos adípico e nítrico, que era responsável pelas maiores emissões deste tipo de GEE.

Neste relatório são abordadas apenas as emissões de processo, que ocorrem como subprodutos dos principais químicos produzidos. As emissões referentes à queima de combustíveis no interior dos fornos são consideradas, de acordo com as diretrizes metodológicas do IPCC, nos relatórios referentes ao Setor Energia.

Os produtos químicos apresentados neste relatório são: amônia, ácido nítrico, ácido adípico, caprolactama, carbureto de cálcio, dióxido de titânio, metanol, eteno, dicloroetano, cloreto de vinila, óxido de eteno, acrilonitrila, negro-de-fumo e ácido fosfórico. Envolvendo apenas os gases de efeito estufa indireto foram acrescentados resinas ABS, anidrido ftálico, borracha de butadieno estireno (SBR), estireno, etilbenzeno, formaldeído, policloreto de vinila - PVC, poliestireno, polietileno PEAD, polietileno PEBD, polietileno PELBD, polipropileno e propeno.

As emissões de gases de efeito estufa direto foram estimadas para o período de 1990 a 2005 utilizando as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC, *Guidelines 2006*. Já as de gases de efeito estufa indireto o foram pelas Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, *Guidelines 1996*. Os resultados estão apresentados sinteticamente na Tabela I a seguir:

Tabela I - Emissões provenientes dos processos produtivos da indústria química

Gás	1990	1994	2000	2005	Variação 2000/2005
	(t)				(%)
CO ₂	2.372.929	2.468.165	2.614.673	2.954.296	24,5%
CH ₄	5.150	6.526	8.885	9.228	79,2%
N ₂ O	10.684	16.302	19.937	22.824	113,6%
CO	511	829	1.038	1.202	135,2%
NO _x	702	859	945	1.051	49,6%
NMVOOC	26.514	30.563	42.939	48.986	84,8%

Os gráficos a seguir mostram a evolução das emissões para esses gases ao longo do período estendido, de 1990 a 2007.

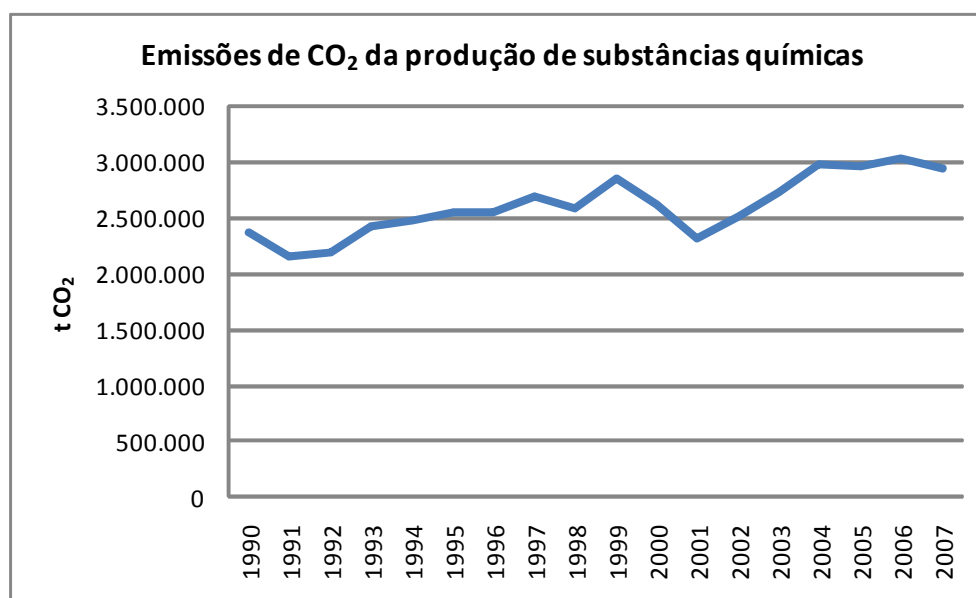
Gráfico I - Emissões de CO₂ pelos processos produtivos da indústria química

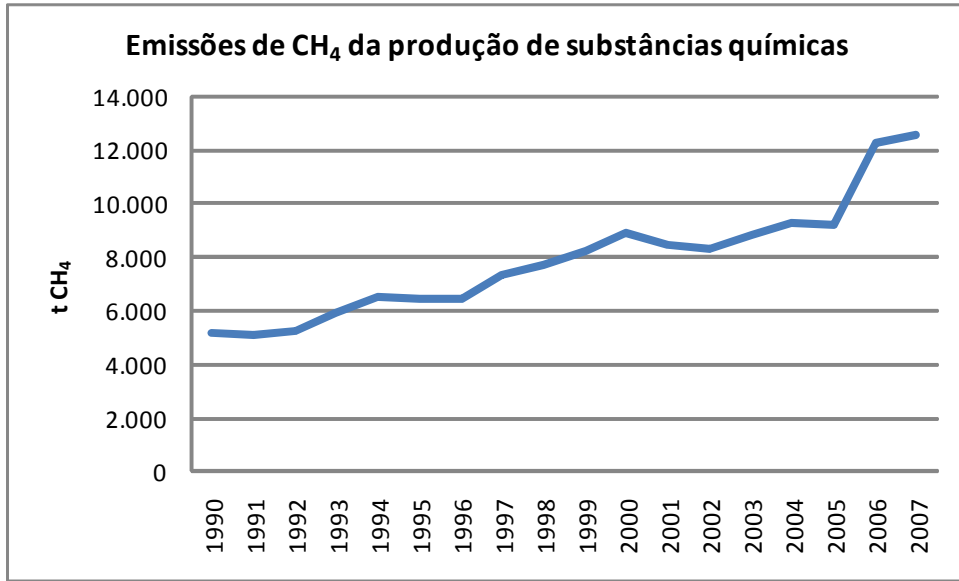
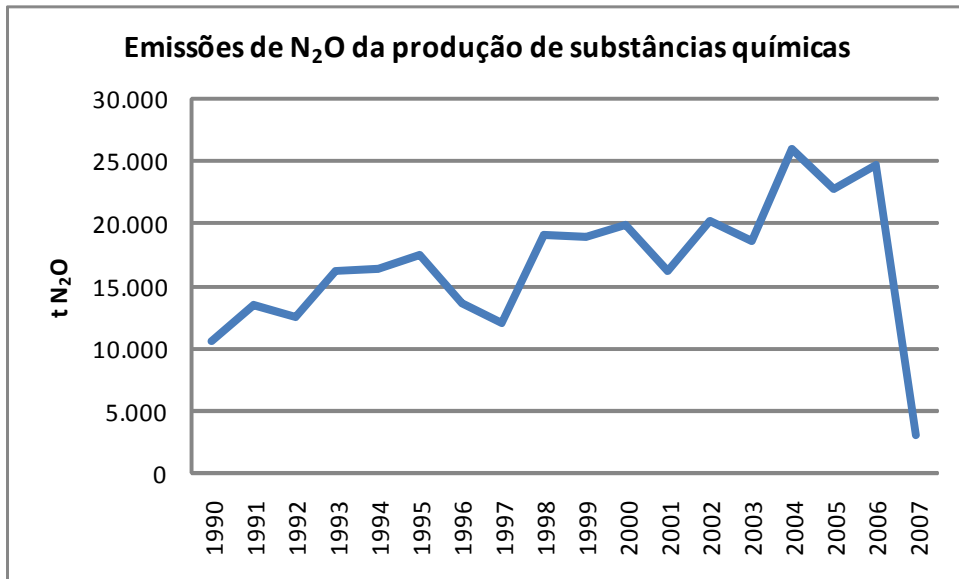
Gráfico II - Emissões de CH₄ pelos processos produtivos da indústria químicaGráfico III - Emissões de N₂O pelos processos produtivos da indústria química

Gráfico IV - Emissões de CO pelos processos produtivos da indústria química

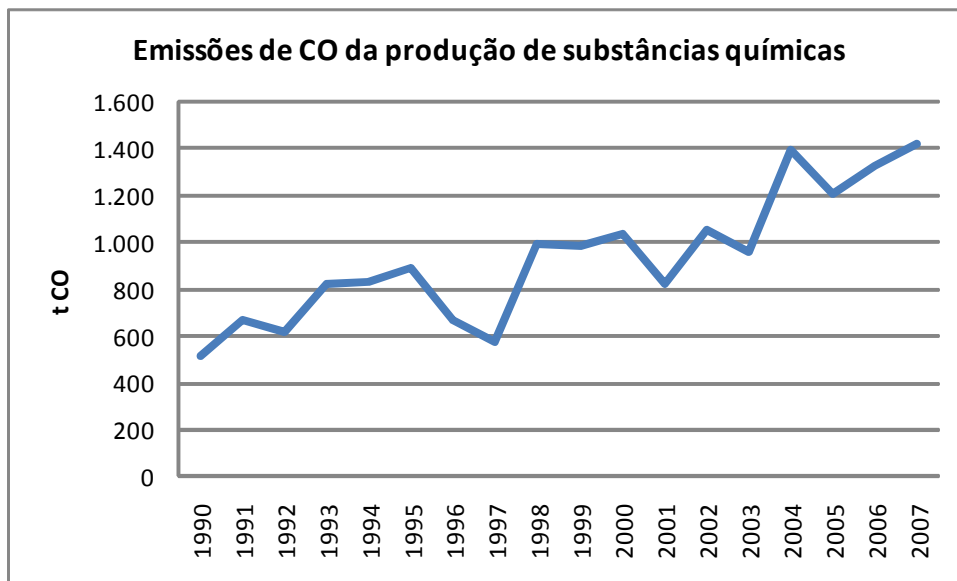


Gráfico V - Emissões de NO_x pelos processos produtivos da indústria química

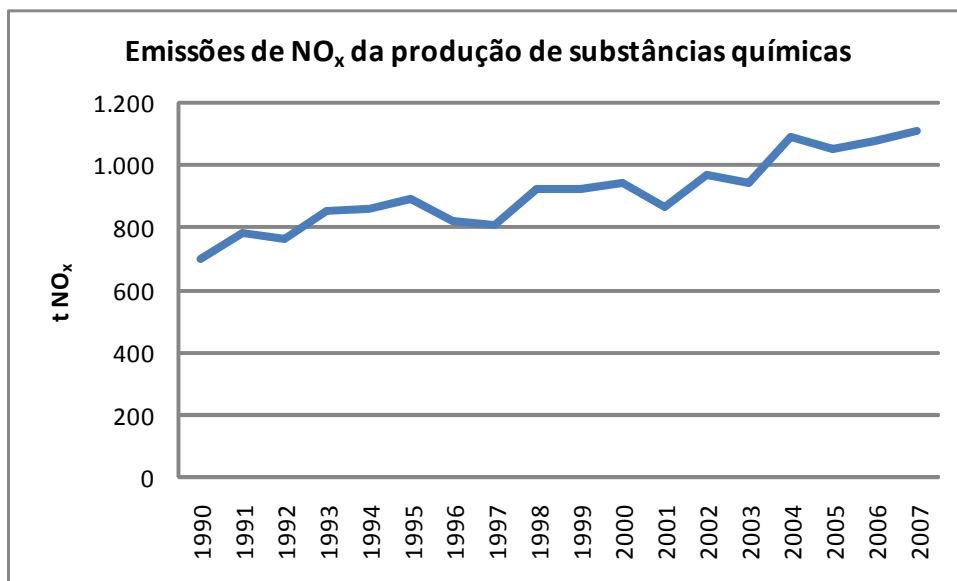
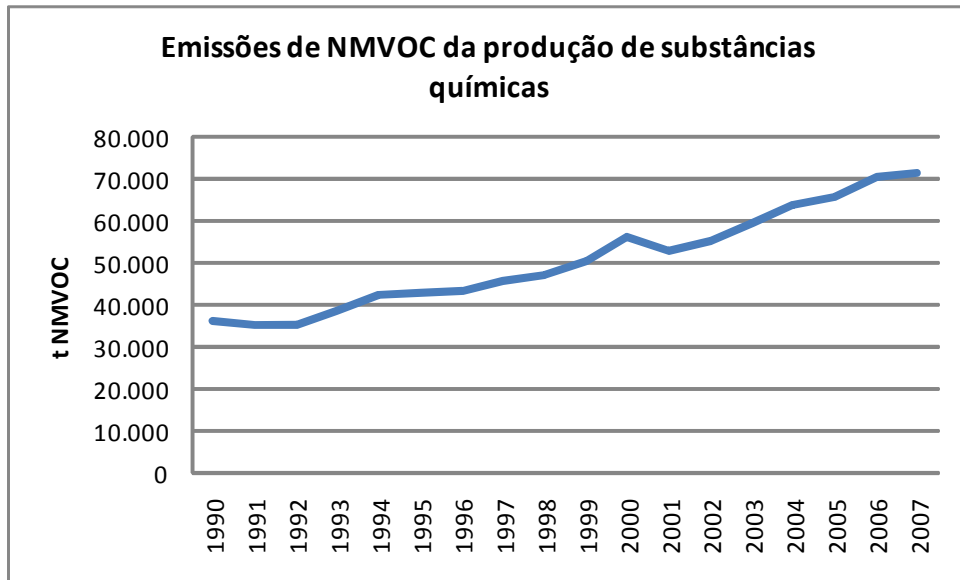


Gráfico VI - Emissões de NMVOC pelos processos produtivos da indústria química



1. Introdução

A experiência de uma série de países confirmou as contribuições significativas da produção de vários produtos químicos orgânicos e inorgânicos para os níveis nacionais e globais das emissões de gases de efeito estufa da indústria química. Essas emissões do setor químico no Brasil estão associadas às produções de amônia, ácido nítrico, ácido adípico, caprolactama, carbureto de cálcio, dos petroquímicos (metanol, eteno, dicloroetano e cloreto de vinila, óxido de eteno e acrilonitrila) e negro-de-fumo. Adicionalmente, outros químicos como resinas ABS, Anidrido ftálico, Borracha de butadieno estireno (SBR), Estireno, Etilbenzeno, Formaldeído, Policloreto de Vinila - PVC, Poliestireno, Polietileno PEAD, Polietileno PEBD, Polietileno PELBD, Polipropileno e Propeno produzem emissões indiretas de compostos orgânicos voláteis como SO₂, NO_x, NMVOC e CO.

A indústria química tem presença global e utiliza materiais ricos em carbono, tanto como matéria-prima como fonte de energia, o que faz com que a discussão sobre as mudanças climáticas seja tratada como um tema de relevância para o setor. A produção e uso desses químicos geram gases de efeito estufa - GEE, razão pela qual as ações deste setor industrial são relevantes para ajudar na solução dos problemas advindos das mudanças climáticas.

1.1 Ações da indústria química nacional na redução dos GEE

Desde 1992, as empresas associadas à ABIQUIM vêm implementando o *Programa Atuação Responsável*®, programa setorial de gestão integrada de saúde, segurança, meio ambiente, proteção empresarial, responsabilidade social e qualidade. Tal Programa inclui os seguintes princípios:

- a) melhoria contínua do desempenho da indústria química na proteção do meio ambiente com a redução contínua das emissões por tonelada de produto produzido e;
- b) transparência das ações, com a publicação, desde 1999, dos indicadores de desempenho, particularmente sobre as emissões gasosas, os efluentes líquidos e os resíduos sólidos.

A ABIQUIM tem incentivado as empresas químicas associadas, sob o guarda-chuva do Protocolo de Quioto, das Mudanças Climáticas, e das Diretrizes do *Programa Atuação Responsável*®, a realizar investimentos para reduzir, voluntariamente, as emissões de gases com potencial de gerar o efeito estufa nas unidades industriais químicas, através da implementação de projetos de

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL¹, e de Programas de Produção mais Limpa (P+L), ações de redução de emissões recomendadas e difundidas pela ABIQUIM².

É necessário destacar, também, o esforço das empresas em reduzir as emissões de dióxido de carbono geradas durante a combustão de hidrocarbonetos, em fornos, fornalhas e caldeiras, através da utilização de combustíveis mais limpos, implementando, também, projetos MDL. Porém tais emissões não fazem parte do escopo deste relatório de referência.

Os resultados das ações podem ser observados nos gráficos seguintes relacionados com a redução da emissão de dióxido de carbono por tonelada de produto produzido na indústria química, pela utilização de combustíveis mais limpos e combustíveis renováveis.

Gráfico 1 - Consumo de combustíveis renováveis

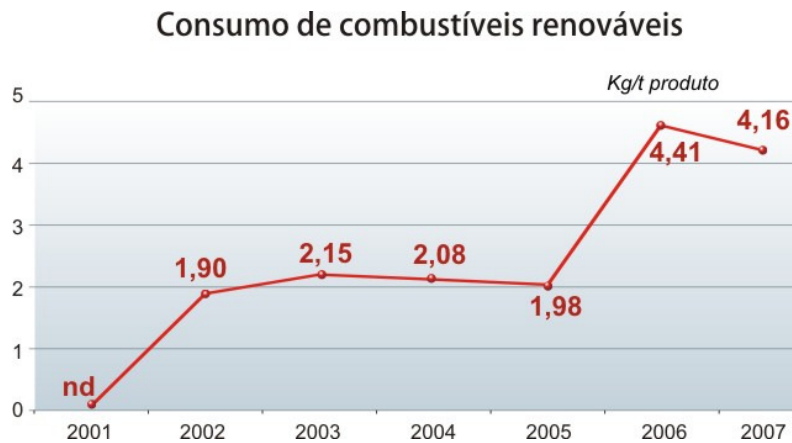
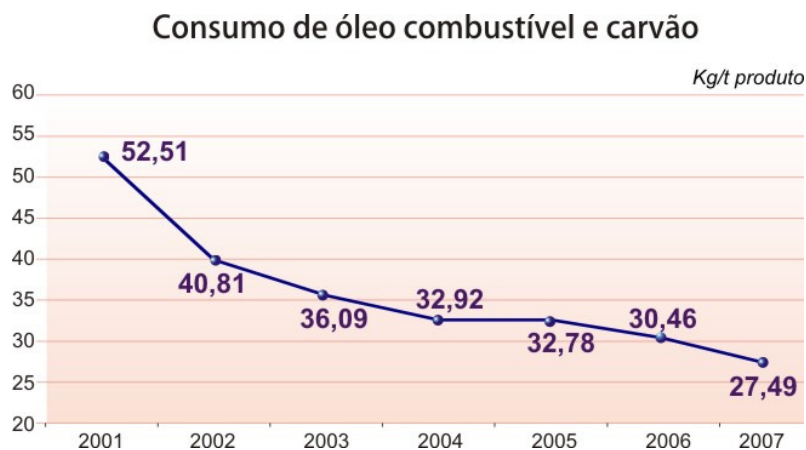


Gráfico 2 - Consumo de óleo combustível e carvão



¹ Um dos três mecanismos do Protocolo de Quioto.

² Posição da indústria química brasileira em relação à mudança climática - ABIQUIM.

Gráfico 3 - Consumo de gás natural como combustível

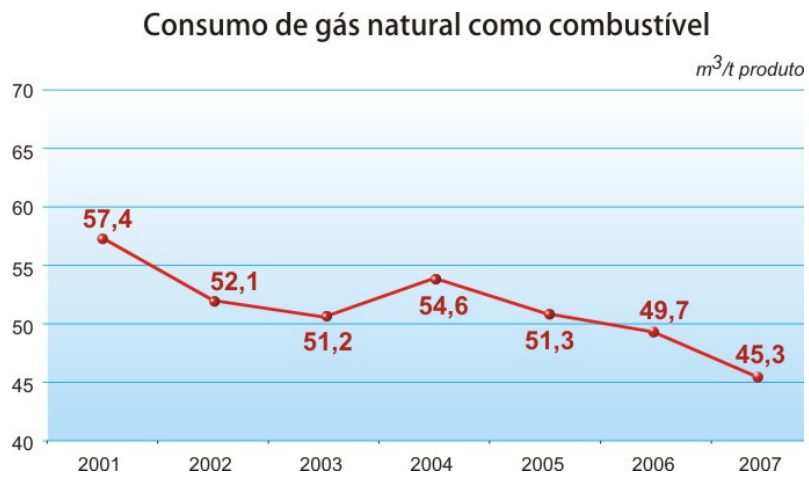
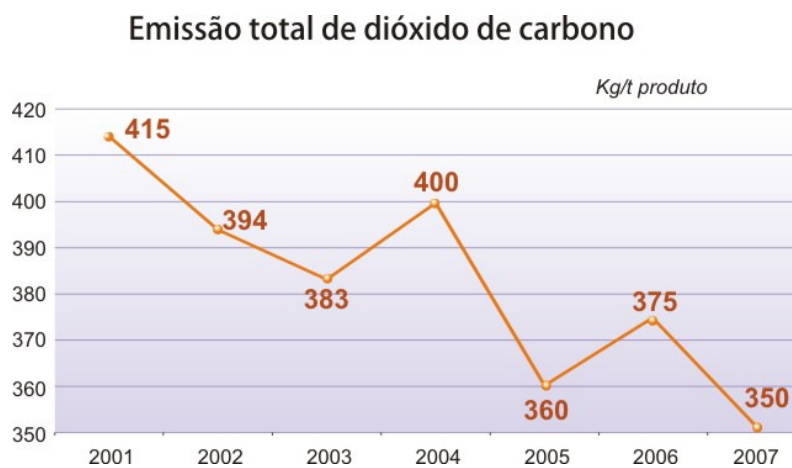


Gráfico 4 - Emissão total específica de CO₂ para todos os produtos químicos



A seguir são apresentados os processos produtivos da indústria química no Brasil que geram gases de efeito estufa.

2.1 Produção de Amônia

A amônia é um dos produtos químicos básicos, produzido em grandes quantidades, utilizado como fonte de nitrogênio. É matéria-prima para a fabricação de ureia, o principal fertilizante nitrogenado, e para a produção de ácido nítrico, intermediário na produção de nitrato de amônio fertilizante e nitrato de amônio explosivo.

Aproximadamente, 10% da produção de amônia são destinados à produção de aminas e outros compostos orgânicos, como fluidos refrigerantes que substituem gases destruidores da camada de ozônio, e na produção de ureia grau técnico utilizada como insumo químico em outros processos produtivos.

A produção de amônia requer uma fonte de hidrogênio e outra de nitrogênio. A fonte de nitrogênio é o ar atmosférico. O hidrogênio pode ser obtido de diferentes matérias-primas como: resíduo asfáltico (tecnologia desenvolvida pela Shell e a Texaco); gás residual de refinaria (tecnologia desenvolvida pela Petrobras/Fosfértil/Ultrafértil); gás natural (tecnologia com uma dezena de fornecedores); nafta petroquímica (tecnologia com uma dezena de fornecedores); etanol (matéria-prima já processada na unidade industrial da Fosfertil-Cubatão-São Paulo, com adaptação tecnológica desenvolvida pela Fosfertil/Ultrafértil).

Como subproduto da fabricação de amônia é gerado dióxido de carbono (CO_2), que é liberado na atmosfera. Entretanto, quando há integração com uma planta de ureia ou de metanol, parte do CO_2 é utilizada como matéria-prima na produção desses produtos. Alternativamente, o CO_2 também pode ser recuperado para utilização como fluido refrigerante, na carbonatação de líquidos e como gás inerte. Em todos esses casos, porém, o CO_2 utilizado não é descontado das emissões, pois acaba sendo emitido a curto prazo, quando de sua utilização.

2.2 Produção de Ácido Nítrico

O ácido nítrico (HNO_3) é um composto inorgânico usado principalmente na fabricação de fertilizantes sintéticos. É o composto mais importante como insumo na fabricação de ácido adípico, como intermediário na produção de ácido nítrico concentrado, para agente de nitração de compostos orgânicos e, também, na fabricação de explosivos.

O processo de produção tradicional e comercialmente disponível do ácido nítrico envolve a oxidação catalítica de amônia com o ar e as reações subsequentes dos produtos da oxidação com a água, através do processo de Ostwald. Tal processo básico envolve as três reações químicas representadas nas equações abaixo:

Oxidação catalítica da amônia (NH₃) com o oxigênio (O₂) da atmosfera para obtenção de óxido nítrico (NO):



Oxidação do NO para formação de dióxido de nitrogênio (N₂O₄):



Absorção dos óxidos de nitrogênio (NO₂) com água para obtenção de HNO₃:



Usando um catalisador apropriado, é possível converter grande parte (de 92% a 98%) da amônia em óxido nítrico (Equação 1 acima). O restante participa das seguintes reações colaterais indesejáveis, sendo que apenas na Equação 4 ocorre a formação de N₂O:



Há, portanto, pela Equação 4, geração do gás de efeito estufa N₂O, óxido nitroso.

As fábricas instaladas no país podem ser classificadas pelo seu processo de operação, seja a vácuo, a baixa, média ou alta pressão.

Nas unidades de produção no Brasil há controle das emissões de NO e NO₂ (óxido nítrico e dióxido de nitrogênio, genericamente denominados de NO_x), de acordo com os padrões estabelecidos pelos órgãos de controle do meio ambiente. As tecnologias utilizadas no país para o controle dessas emissões são: absorção estendida; destruição catalítica não-seletiva, e destruição catalítica seletiva.

A partir do final de 2006 começaram a ser desenvolvidos no Brasil projetos MDL que envolviam a instalação de catalisadores secundários para destruição de N_2O , com geração de redução certificadas de emissões - RCEs, os chamados créditos de carbono.

2.3 Produção de Ácido Adípico

O ácido adípico é um sólido cristalino branco que é utilizado como intermediário na fabricação de fibras sintéticas, plásticos, poliuretanos, elastômeros e lubrificantes sintéticos. Comercialmente é o mais importante ácido alifático dicarboxílico, usado na fabricação de poliéster e nylon 6.6.

A única planta de ácido adípico, no Brasil, utiliza a tecnologia de produção de dois estágios. O primeiro envolve a oxidação do cicloexano para formar a mistura cicloexanona/cicloexanol. O segundo estágio envolve o processo de oxidação do cicloexanol por meio de ácido nítrico. Neste último estágio é que é emitido o gás de efeito estufa óxido nitroso (N_2O).

No final de 2005 foi registrado no Conselho Executivo do MDL projeto de destruição de N_2O dessa fábrica, com geração de RCEs a partir de 2007. Foi construída uma instalação dedicada à conversão, em alta temperatura, de óxido nitroso em nitrogênio, no processo de decomposição térmica do N_2O .

2.4 Produção de Caprolactama

O uso industrial primário da caprolactama é como um monômero na produção de nylon-6. Esse químico também é usado na fabricação de plásticos, cerdas, filmes, coberturas, carpetes, couro sintético, plastificantes, tintas automotivas. Uma característica é que é biodegradável e atinge uma remoção de até 94% da demanda química de oxigênio em sistemas de lodos ativados.

A produção brasileira de caprolactama parte da hidrogenação do benzeno a cicloexano, oxidação a cicloexanol e cicloexanona com ácido nítrico, etapa em que é gerado o óxido nitroso, N_2O , seguida da desidrogenação do cicloexanol produzido e posterior reação com sulfato.

Encontra-se em desenvolvimento uma tecnologia de produção da caprolactama a partir da lisina, um produto derivado da cana-de-açúcar.

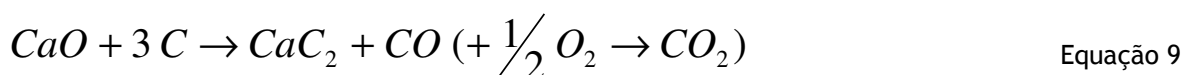
2.5 Produção e uso do Carbureto de Cálcio

O Carbureto de Cálcio (CaC_2) é produzido a partir da calcinação do calcário (CaCO_3) e da subsequente redução da cal (CaO) com coque de petróleo ou carvão vegetal (C). Esses dois tipos de agentes redutores são utilizados no Brasil.

Tanto o processo de calcinação (Equação 8) quanto o de redução (Equação 9) emitem dióxido de carbono (CO_2) conforme as reações abaixo:



e



As emissões da Equação 8 já foram abordadas no Relatório de Referência “Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais - Produtos Mineraiis (Parte II)” e, portanto, não farão parte deste Relatório.

O uso de matérias-primas como o coque de petróleo e o carvão vegetal no processo produtivo do CaC_2 gera emissões de monóxido de carbono (CO) e CO_2 , conforme demonstrado acima. Porém, apenas as emissões provenientes do redutor fóssil - coque de petróleo - são consideradas neste inventário, sendo as emissões relativas ao uso do carvão vegetal consideradas renováveis. No Brasil, o gás CO é reaproveitado para fins energéticos.

Em torno de 67% do carbono contido no coque de petróleo fica retido no produto final (CaC_2), porém as aplicações do CaC_2 produzido no Brasil acabam resultando em mais emissões. São elas:

- Aplicação siderúrgica: Dessulfuração do aço no Brasil e no exterior; e
- Produção de acetileno no Brasil e no exterior.

Portanto, o carbono estocado no CaC_2 acaba finalmente sendo emitido como CO_2 quando utilizado.

2.6 Produção de Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio, também conhecido como óxido de titânio (IV) ou titânia, encontra-se na natureza. Quando usado como pigmento, é chamado de titânio branco ou pigmento branco. Tal

composto é utilizado em uma grande variedade de aplicações, em tintas, em protetores solares ou mesmo como corante alimentar.

Para a produção de dióxido de titânio, existem duas rotas tecnológicas: a do ácido sulfúrico e a do cloro.

A rota que utiliza o ácido sulfúrico como agente de ataque do titanato de ferro ou do titânio “slag” não gera gases efeito estufa. Já o processo cloro compreende a cloração carbotérmica do mineral rutilo para produção de tetracloreto de titânio, com a consequente formação do dióxido de carbono (CO_2). Esse último processo é o mais utilizado mundialmente.

A indústria instalada no país, no entanto, utiliza a rota sulfato, que é a mais antiga e tem como matérias-primas a ilmenita e a escória. Assim, no Brasil, não há emissão de GEE na produção de dióxido de titânio.

2.7 Produção de Petroquímicos e de Negro-de-Fumo

A indústria petroquímica utiliza combustíveis fósseis como gás natural ou produtos de refinaria como nafta, por exemplo, como matérias-primas. O mesmo ocorre no processo produtivo do negro-de-fumo, apesar de este não ser considerado como um produto petroquímico. A seguir são apresentados os produtos petroquímicos e negro-de-fumo que tiveram suas emissões estimadas neste 2º Inventário Nacional.

2.7.1 Metanol

O principal uso do metanol é na produção do formaldeído aplicado na produção de resinas para uso na indústria de móveis e compensados. Também é usado na produção de biodiesel, embora, nesta aplicação, o metanol seja reciclável.

As tecnologias de produção de metanol precisam de hidrogênio (H), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2). No Brasil, o processo utilizado é a síntese em baixas e altas pressões, cujas matérias-primas são o gás natural (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2).

O gás natural, alimentado no reator de síntese utiliza a reforma primária como processo para a geração do H e CO. A matéria-prima CO_2 é obtida reciclando parcialmente o gás produzido na etapa de conversão do monóxido de carbono. Alternativamente, o CO_2 pode ser obtido como subproduto de outro processo produtivo, como a produção de amônia, por exemplo.

Os principais gases de efeito estufa emitidos são: dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).

2.7.2 Eteno (ou Etileno)

O eteno é o hidrocarboneto primário produzido em maior quantidade no país e um dos principais da cadeia de valor da indústria petroquímica. É utilizado no processo de produção de plásticos incluindo os polietilenos de alta e baixa densidade, cloreto de polivinila, sendo também usado como matéria-prima para fabricação de cloreto de vinila, óxido de eteno, etilbenzeno e dicloroeteno.

Universalmente, é produzido através do craqueamento de matérias-primas petroquímicas. A produção de etileno também gera, como substâncias secundárias, propileno, butadieno e compostos aromáticos. A rota tecnológica utilizada no Brasil é o tradicional processo de craqueamento de nafta. Entretanto em 2004, foi introduzido, pela primeira vez, o gás natural como matéria-prima do processo de pirólise.

Os principais gases emitidos são dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), além do gás de efeito estufa indireto NMVOC.

Destaca-se que há previsão de incorporar, de forma pioneira na indústria química brasileira, a partir de 2010, uma nova matéria-prima para a produção de eteno: o etanol. Tal matéria-prima é de fonte renovável e com a implantação de novas fábricas de produção a partir dessa rota tecnológica, haverá, nos próximos anos, uma redução expressiva nas emissões de GEE a partir da produção de eteno. Essa é mais uma das iniciativas da indústria química brasileira visando à utilização do MDL- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na viabilização da produção de eteno e seus produtos derivados a partir de uma fonte renovável.

2.7.3 Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC)

O dicloroetano (1,2 dicloroetano) é um dos primeiros hidrocarbonetos clorados sintetizado em 1795, apresentando-se como um líquido oleoso de cor clara com odor adocicado de clorofórmio. É utilizado como intermediário na produção de cloreto de vinila - MVC, solventes, hidrocarbonetos policlorados, etilenoglicol e outros. Também é empregado como solvente para graxas, óleos e gorduras, limpeza industrial, aditivo para combustíveis e em formulações de solventes. É também bastante difundido na extração de produtos naturais como esteróides, vitamina A, cafeína e nicotina.

Já o MVC é aplicado como intermediário na produção do cloreto de polivinila, amplamente usado na fabricação de materiais e fios elétricos, material de construção civil, tubos, conexões e embalagens.

A produção de MVC e dicloroetano no Brasil utiliza a rota tecnológica de cloração direta e oxicloração do eteno, sendo usado o cloreto de hidrogênio gerado no craqueamento do dicloroetano. A planta de produção de MVC e dicloroetano pode operar como “processo balanceado” entre os dois produtos. Como o processo não atinge 100% de conversão do eteno, uma pequena porcentagem da matéria-prima não é convertida. Assim, os gases exaustos são tratados para eliminar os compostos clorados formados em reações secundárias. O eteno não-reagido é convertido em CO₂ e os compostos clorados sofrem um processo de redução catalítica. Assim, os gases limpos são enviados para a atmosfera atendendo as exigências do órgão de controle ambiental.

Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), além do NMVOC, indireto.

2.7.4 Óxido de Eteno

O principal uso de óxido de eteno, ou etileno, no mundo é na produção de etilenoglicol, comumente conhecido por seu uso como um refrigerante automotivo e anticongelante. Esse produto químico também é utilizado na produção de polímeros de poliéster, como intermediário na produção de éteres, álcoois superiores e aminas. Já no Brasil, o principal uso é na produção de glicóis. Adicionalmente, o óxido de eteno é largamente aplicado na esterilização de suprimentos médicos tais como ataduras, suturas, e instrumentos cirúrgicos.

Ele pode ser produzido por via duas rotas tecnológicas. A primeira inicia com a reação do cloro sobre o eteno na presença de água, seguida da desidrocloração da cloridrina de eteno formada. A segunda utiliza oxidação direta do eteno por meio do ar. Esta última é o processo adotado na produção do óxido de eteno no Brasil.

Os principais gases emitidos são dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).

2.7.5 Acrilonitrila

A acrilonitrila é utilizada na manufatura de fibras acrílicas, sínteses orgânicas, fumigantes, surfactantes e corantes. Os compostos mais conhecidos que a utilizam são:

- As borrachas de NBR (Butadieno-Acrilonitrila) usadas em aplicações envolvendo resistência a óleo e combustível, em áreas que requerem resistência a líquidos e gases apolares, baixa resiliência, resistência à compressão e à tração;
- As resinas ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) para uso em aplicações onde a flexibilidade de design é necessária como no mercado de eletrodomésticos portáteis, brinquedos, componentes e acessórios para banheiro, complementos para a indústria moveleira, perfumaria e cosméticos; na indústria automotiva;
- A mistura ABS/PA, resina que oferece a nitidez, resistência, rigidez e processabilidade do estireno juntamente com a resistência a produtos químicos e ao calor da acrilonitrila, é utilizada para moldar peças interiores de automóveis tais como console central, botões de controle de ventilação, coberturas de *air bag* e de rádios, tampa do porta-luvas, tetos de tratores, e exteriores (espelhos retrovisores, pára-choques de carros, caminhões e ônibus).

O processo de produção instalado no Brasil utiliza a tecnologia Sohio de reação catalítica de propeno, amônia e ar, usados como matérias-primas. O processo produz acrilonitrila como produto primário e acetonitrila e ácido cianídrico como produtos secundários. A amoniação do propeno não rende 100% de acrilonitrila e, por isso, uma pequena fração do propeno é convertida em CO₂ por oxidação direta ou convertida em outros hidrocarbonetos por reações paralelas ocorridas durante o processo de amoniação.

Considerando as premissas acima, os principais gases emitidos são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), além do NMVOC.

2.7.6 Negro-de-fumo

O principal uso do negro-de-fumo é como aditivo na borracha para a fabricação de pneumáticos. Outro uso importante é como pigmento na fabricação de tintas.

Os processos de produção de negro-de-fumo partem da oxidação parcial de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos, sendo que, no Brasil, o resíduo aromático é a principal matéria-prima associada com óleo combustível pesado (nafténico), na etapa de geração do negro-de-fumo. Como combustível secundário ou como matéria-prima secundária utiliza-se gás natural ou óleo combustível. Durante o processo de produção é gerado um gás de purga que contém dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e outros compostos orgânicos voláteis. Tal gás de purga é utilizado como combustível para a geração de calor, quando então estas duas últimas substâncias são convertidas em CO₂.

Os principais gases emitidos são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄).

2.8 Produção de Ácido Fosfórico

O ácido fosfórico é utilizado principalmente para a produção de fertilizantes fosfatados, sendo os mais representativos o fosfato monoamônico, o fosfato diamônico, o superfosfato simples e o superfosfato triplo.

As matérias-primas utilizadas para a produção de ácido fosfórico são o ácido sulfúrico e a rocha fosfática, como fonte de fósforo. Esta última contém, em menor ou maior concentração, carbono inorgânico na forma de carbonato de cálcio (CaCO₃) que é parte integrante do mineral. O carbonato contido na rocha reage com o ácido sulfúrico produzindo como subprodutos gesso agrícola e CO₂.

2.9 Outros produtos químicos

Existem outros produtos químicos não listados nos *Guidelines 2006*, mas cuja produção emite gases de efeito estufa indireto, tais como: ABS, Anidrido ftálico, Borracha de butadieno estireno (SBR), Estireno, Etilbenzeno, Formaldeído, Policloreto de Vinila - PVC, Poliestireno, Polietileno PEAD, Polietileno PEBD, Polietileno PELBD, Polipropileno e Propeno. As emissões correspondentes de NO_x, NMVOC e CO são cobertas apenas pelos *Guidelines 1996*.

3 Metodologia

As metodologias aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂, N₂O e CH₄ a partir dos processos industriais dos produtos químicos foram as incluídas nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC, *Guidelines 2006*, mais completas, quando não conflitantes com as orientações das Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, *Guidelines 1996*. Já as emissões dos gases CO, NO_x e NMVOC, de efeito estufa indireto, foram estimados através do *Guidelines 1996*.

O método mais simples para estimativa das emissões, o *Tier 1*, envolve a multiplicação de um fator de emissão *default* por um dado de atividade, normalmente o quantitativo da produção em si; já o método *Tier 2*, baseia-se no balanço de massa do processo e o *Tier 3*, o mais acurado, envolve medições diretas específicas, tendo sido usado nos casos envolvendo projetos de MDL.

4 Dados

Nesta seção são apresentados os fatores de emissão e dados de atividade para as estimativas das emissões dos gases de efeito estufa direto e indireto. Os dados sobre a produção dos químicos foram obtidos nos Anuários estatísticos da ABIQUIM (ABIQUIM 1993, 1997, 2000, 2005 e 2008), que reúne os fabricantes de produtos químicos no país. Os dados de atividade para todos os anos estão no Anexo.

4.1 Amônia

Para as emissões de CO₂ foi aplicado o *Tier 3* pelas próprias empresas, com a medição de combustíveis utilizados como matérias-primas no processo, conforme os *Guidelines 2006* sem o desconto da parcela de CO₂ destinada à produção de uréia nas plantas integradas conforme orientação do *Guidelines 1996*.

Por razões de sigilo industrial, as fábricas não divulgaram esses dados básicos, podendo-se apenas indicar os fatores de emissão médios referentes às três das rotas existentes no país:

- Resíduo asfáltico: 2,0 t de CO₂/t de amônia;
- Gás de refinaria: 1,3 t de CO₂/t de amônia; e
- Gás Natural: 1,2 t de CO₂/t de amônia.

Considerando-se as matérias-primas utilizadas no Brasil e seus respectivos FEs acima, obteve-se um valor médio para o fator de emissão nacional de 1,46 t de CO₂/t de amônia, que foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2005.

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção de amônia no país.

Tabela 1 - Produção de amônia

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Amônia	1.152.563	1.156.830	1.139.109	1.316.154	14,2

4.2 Ácido Nítrico

Para as emissões de N₂O foram utilizados diferentes métodos, dependendo da planta.

Para aquelas plantas que realizaram projetos de MDL³, foi possível a aplicação do método mais acurado, *Tier 3* dos *Guidelines 2006*. Tal método utiliza dados de medições diretas que resultam em fatores de emissões específicos para cada planta. Já para as demais foi utilizado o método *Tier 1*, com aplicação dos fatores de emissão *default* dos *Guidelines 2006*.

Os fatores de emissão utilizados nas estimativas são abertos por tipo de tecnologia e indicados como valores default ou medidos.

- Planta de baixa pressão: 4,89 kg N₂O /t de ácido nítrico - valor medido;
- Plantas de média pressão:
 - ⇒ 8,14 kg de N₂O/t de ácido nítrico - valor medido;
 - ⇒ 6,01 kg de N₂O/t de ácido nítrico - valor medido;
 - ⇒ 7,00 kg de N₂O/t de ácido nítrico - valor *default* (IPCC, 2006)
- Planta à vácuo: 5 kg N₂O/t de ácido nítrico - valor *default* (IPCC, 2006);

Após julho de 2007, com a implementação de um projeto MDL em uma planta de média pressão, o fator de emissão medido dessa planta foi reduzido de 6,01 kg N₂O/t ácido nítrico para 0,52 kg N₂O/t ácido nítrico, claramente indicando ótimos resultados para a redução de gases de efeito estufa nesse processo.

Já para as emissões de NO_x foi aplicado o fator de emissão 1,75 kg NO_x /t ácido nítrico, em função do controle de emissões desses gases no país, valor abaixo do *default* de 12 kg NO_x /t ácido nítrico dos *Guidelines 1996*.

Na unidade que utiliza tecnologia de alta pressão, integrada à produção de amônia, os óxidos de nitrogênio, incluído o N₂O, são destruídos num sistema que utiliza queima de combustíveis.

Com a entrada em operação de novos sistemas de redução de emissão nas outras plantas, espera-se diminuir ainda mais o fator de emissão médio para o parque industrial instalado no país.

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção de ácido nítrico no país, sem a planta de alta pressão.

Tabela 2 - Produção de ácido nítrico

³ PAN2 e PAN4 da Fosfertil e Paulínia da Rhodia.

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Ácido Nítrico	295.824	326.489	336.025	363.422	22,9

4.3 Ácido Adípico

Para as emissões de N₂O foi aplicado o método mais acurado, *Tier 3* dos *Guidelines 2006*. Tal método utiliza os dados de produção da própria planta e o fator de emissão medido diretamente através de amostragens periódicas. Tais medições foram realizadas visando o projeto de MDL, que requer dados medidos para sua execução. Assim, as emissões de N₂O foram aferidas por um determinado período que refletiu o padrão usual de operação da planta da Rhodia.

O fator de emissão de N₂O medido corresponde a 0,270 t N₂O/t ácido adípico, aplicado ao período 1990-2006. Após a implementação do projeto MDL houve uma redução significativa nas emissões, onde o novo fator de emissão, também obtido por medições, foi de 0,00625 t N₂O/t ácido adípico no ano de 2007.

Em relação aos gases de efeito estufa indireto, foram estimados com fatores de emissão nacionais, em função do controle de emissões desses gases no país. As emissões de monóxido de carbono (CO) foram estimadas com o fator de 16 kg CO /t ácido adípico, abaixo do *default* dos *Guidelines 1996*, 34,4 kg CO /t ácido adípico. Já para as emissões de NO_x foi aplicado o fator de emissão 5 kg NO_x /t ácido adípico, valor abaixo do *default* de 8,1 kg NO_x /t ácido adípico dos *Guidelines 1996*.

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção nacional de ácido adípico.

Tabela 3 - Produção de ácido adípico

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Ácido Adípico	31.951	51.825	64.862	75.147	135,2

4.4 Caprolactama

Para as emissões de N₂O foi aplicado o método *Tier 3* dos *Guidelines 2006*. Tal método utiliza as medições de N₂O realizadas pelas plantas. O fator de emissão médio resultante dessas medições,

aplicado para todo o período, foi de 6 kg N₂O / t caprolactama, em contraposição ao fator *default* de 9,0 kg N₂O / t caprolactama.

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção nacional de caprolactama.

Tabela 4 - Produção de caprolactama

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Caprolactama	42.059	50.838	56.005	49.655	18,1

4.5 Carbureto de Cálcio

As emissões de CO₂ foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* dos *Guidelines 2006*, com os dados de consumo de coque de petróleo para estimar as emissões associadas à produção do carbureto de cálcio - CaC₂. Para as emissões relativas ao consumo de carbureto, (e.g. aplicação em siderurgia e fabricação de acetileno), a quantidade produzida foi diminuída de uma pequena parte que é exportada, estimada em 15%, para todos os anos do relatório. Em ambos os casos são aplicados os fatores de emissão *default*: 1,7 t CO₂ / t coque consumido no processo e 1,10 t CO₂ / t CaC₂ consumido.

Os dados de produção e uso de combustíveis são confidenciais (White Martins, 2010).

4.6 Dióxido de Titânio

Conforme afirmado na apresentação da produção dessa substância, no Brasil não existem emissões de gases de efeito estufa em virtude da rota tecnológica usada no processo produtivo.

4.7 Petroquímicos e Negro de Fumo

4.7.1 Metanol

As emissões de CO₂ foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* dos *Guidelines 2006*. Tal método utiliza os dados da produção nacional de metanol e aplica o fator de emissão *default* de 0,267 t CO₂ / t metanol, levando-se em conta o processo utilizado no Brasil.

As emissões de CH₄ também utilizaram o método *Tier 1*, com fator de emissão de 2,3 kg CH₄ / t metanol, que foi aplicado para todo o período.

4.7.2 Eteno

As emissões de CO₂ foram estimadas utilizando-se o método *Tier 1* dos *Guidelines 2006*. Tal método utiliza os dados da produção nacional de eteno e aplica o fator de emissão *default* de 1,73 kg CO₂ / t eteno. De acordo com a metodologia, as emissões calculadas com esse fator devem ser corrigidas, no caso para a América do Sul, por um fator de 1,1 para corrigir para o mix de produção da linha do processo de craqueamento a vapor, que inclui, além do eteno, propileno, butadieno, aromáticos e outros químicos.

As emissões de CH₄ também utilizaram o método *Tier 1*, com um fator de emissão de 3 kg CH₄ / t eteno, que foi aplicado para todo o período.

A partir de 2006, com a entrada em operação da planta que utiliza gás natural, os fatores passaram a ser calculados a partir das medições específicas das plantas do consumo de matérias-primas fósseis. Os FEs de 2006 em diante passaram a ser 1,74 kg CO₂ / t eteno e 3,54 kg de CH₄/t de eteno.

Para gases de efeito estufa indireto foi usado o fator de emissão *default* dos *Guidelines 1996*, de 1,4 kg NMVOC / t eteno.

4.7.3 Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC)

Tanto para as emissões de CO₂ quanto para as de CH₄ foi utilizado *Tier 1* dos *Guidelines 2006*.

O fator de emissão de 0,294 t CO₂ / t cloreto de vinila foi usado para estimar as emissões de CO₂ da produção integrada dicloroetano - cloreto de vinila. Da mesma forma, o fator de emissão de CH₄ foi de 0,0226 kg CH₄ / t cloreto de vinila sobre as emissões da produção integrada dos dois compostos.

As emissões dos gases de efeito estufa indireto foram estimadas com os mesmos fatores de emissão usados no Inventário Inicial, de 8,5 kg NMVOC / t cloreto de vinila, determinados pelos autores e pela ABIQUIM, e de 2,2 kg NMVOC / t dicloroetano, conforme os *Guidelines 1996*.

A produção de cloreto de vinila (MVC), utilizada como dado de atividade, foi a publicada nos Anuários ABIQUIM.

4.7.4 Óxido de Eteno

Para as emissões de CO₂ foi utilizado o método *Tier 2* dos *Guidelines 2006*, quando se usa o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão assim calculado foi de 0,52 t CO₂ / t óxido de eteno, relacionado principalmente com a seletividade e eficiência do catalisador utilizado no processo de produção, e foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2005.

Nas emissões de CH₄ foi utilizado o *Tier 1*, com o fator de emissão de 1,79 kg CH₄ / t óxido de eteno.

4.7.5 Acrilonitrila

Para as emissões de CO₂ foi utilizado o método *Tier 2* dos *Guidelines 2006*, usando-se o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão calculado foi de 0,2325 t CO₂ / t acrilonitrila, tendo sido aplicado para todos os anos do período 1990 a 2005.

Nas emissões de CH₄ foi utilizado o método *Tier 1*, com o fator de emissão *default* de 0,18 kg CH₄ / t acrilonitrila.

As emissões dos gases de efeito estufa indireto foram estimadas pelos *Guidelines 1996*, com o fator de emissão de 1 kg NMVOC / t acrilonitrila.

4.7.6 Negro-de-fumo

Para as emissões de CO₂ foi utilizado o método *Tier 2* dos *Guidelines 2006*, de balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão calculado até 2003 é de 1,989 tCO₂ / t negro-de-fumo. De 2004 em diante, devido a entrada em operação de uma planta com menos emissões, o fator de emissão é recalculado e cai para 1,618 t de CO₂ / t negro-de-fumo.

Nas emissões de CH₄ foi utilizado o método *Tier 1*, com o fator de emissão *default* de 0,06 kg CH₄ / t negro-de-fumo.

Para os gases de efeito estufa indireto, mantiveram-se as estimativas do Inventário Inicial, quando apenas foram consideradas emissões de NO_x, com o fator de emissão de 0,14 kg NO_x / t negro-de-fumo, determinados pelos autores e pela ABIQUIM.

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção nacional de metanol, eteno, cloreto de vinila, óxido de eteno, acrilonitrila e negro-de-fumo.

Tabela 5 - Produção de petroquímicos e negro-de-fumo

Produto químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Metanol	168.557	222.310	211.584	240.360	42,6%
Eteno	1.499.714	1.895.754	2.633.818	2.699.831	80,0%
Cloreto de Vinila	480.415	409.757	424.732	609.207	26,8%
Dicloroetano	538.183	499.934	541.335	581.366	8,0%
Óxido de Eteno	127.221	163.473	256.035	297.183	133,6%
Acrilonitrila	78.000	76.522	87.361	76.780	-1,6%
Negro-de-fumo	178.395	204.301	229.860	280.140	57,0%

4.8 Ácido Fosfórico

A metodologia de cálculo utilizada para quantificar a emissão de dióxido de carbono na produção de ácido fosfórico, considera que todo o carbono inorgânico (carbonato de cálcio), contido na rocha, reage formando CO₂ e que todo o carbono orgânico contido na rocha permanece no ácido fosfórico produzido. Como a composição da rocha fosfática varia dependendo do local de procedência, foi assumido, tomando como referência o concentrado com as rochas de Catalão, Tapira, Araxá, um valor médio do conteúdo de carbono inorgânico (carbonato de cálcio) de 0,6%, que representa 2,2% de CO₂ (CEPED, 2006).

Na **Tabela 6** são apresentados os dados de rocha fosfática consumida para produção primária de Ácido Fosfórico:

Tabela 6 - Quantidade de rocha fosfática consumida na produção primária de ácido fosfórico

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
Concentrado fosfático	2.817.000	3.937.000	4.725.106	5.631.000	99,9

4.9 Outros produtos químicos

Para os produtos químicos desta seção foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa indireto com fatores de emissão utilizados no Inventário Inicial, listados na Tabela abaixo. Em geral são fatores *default* dos *Guidelines 1996*, mas alguns foram derivados de tecnologias sugeridas pelo CORINAIR (anidrido ftálico, policloreto de vinila - PVC e poliestireno) ou determinados pelos autores e pela ABIQUIM (borracha de butadieno estireno - SBR).

Tabela 7 - Fatores de emissão de NMVOC para outros produtos químicos

Produto químico	(kg NMVOC / t produto químico)
ABS	27,2
Anidrido Ftálico	1,3
Borracha de butadieno estireno (SBR)	5,8
Estireno	18
Etilbenzeno	2
Formaldeído	5
Policloreto de vinila (PVC)	1,5
Poliestireno	3,3
Polietileno PEAD	6,4
Polietileno PEBD	3
Polietileno PELBD	2
Polipropileno	12
Propeno	1,4

A tabela abaixo apresenta um resumo da produção de outras substâncias químicas.

Tabela 8 - Dados de atividade para outros produtos químicos

Químico	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	(t)				(%)
ABS	27.000	32.100	33.000	33.000	22,2
Anidrido Ftálico	65.645	91.390	87.595	84.579	28,8
Borracha de butadieno estireno (SBR)	184.692	209.409	236.627	212.205	14,9
Estireno	306.217	261.613	406.225	405.205	32,3
Etilbenzeno	441.007	345.514	436.577	395.024	-10,4
Formaldeído	177.391	261.775	357.262	508.680	186,8
Policloreto de vinila PVC	504.330	593.413	648.199	640.319	27,0
Poliestireno	134.105	153.641	175.575	317.434	136,7
Polietileno PEAD	322.219	478.549	891.050	812.160	152,1
Polietileno PEBD	626.028	609.248	646.832	681.686	8,9
Polietileno PELBD*	0	133.433	333.756	442.274	326,9
Polipropileno	303.841	521.540	847.639	1.212.200	299,0
Propeno	793.544	1.086.330	1.409.373	1.731.428	118,2

* A produção do polietileno PELBD começou no país no ano de 1993.

5 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das emissões de CO₂, N₂O e CH₄ provenientes dos processos da indústria química brasileira, bem como dos gases indiretos CO, NO_x e NMVOC, por tipo de químico produzido.

Tabela 9 - Emissões de CO₂ da produção de substâncias químicas

Ano	Produto Químico									Total
	Amônia	Carbureto de Cálcio	Metanol	Eteno	Cloreto de Vinila	Óxido de Eteno	Acrlonitrila	Negro-de-fumo	Ácido Fosfórico	
	(t CO ₂)									
1990	1.682.742	0	45.005	2.849	141.242	66.155	18.135	354.827	61.974	2.372.929
1991	1.477.681	0	55.121	2.753	97.578	78.181	14.757	363.126	72.160	2.161.357
1992	1.516.117	0	54.587	2.861	98.132	74.141	17.265	370.793	62.150	2.196.045
1993	1.683.871	0	59.700	3.248	112.256	77.730	17.451	392.326	75.240	2.421.822
1994	1.688.972	0	59.357	3.602	120.469	85.006	17.791	406.355	86.614	2.468.165
1995	1.784.628	3.657	54.771	3.574	114.338	83.890	18.559	398.902	85.536	2.547.854
1996	1.753.529	22.779	59.745	3.564	127.382	77.510	18.237	402.142	84.106	2.548.994
1997	1.828.974	32.040	60.411	4.040	123.249	113.343	20.247	413.253	94.063	2.689.619
1998	1.717.589	24.527	56.123	4.284	121.916	134.688	14.893	419.953	97.271	2.591.244
1999	1.943.425	39.889	57.536	4.590	125.293	135.858	18.532	440.565	95.560	2.861.249
2000	1.663.099	50.613	56.493	5.004	124.871	133.138	20.311	457.191	103.952	2.614.673
2001	1.395.757	41.997	64.672	4.678	110.368	144.641	17.433	428.349	105.713	2.313.608
2002	1.566.815	54.118	64.105	4.587	114.367	130.699	18.668	441.964	111.841	2.507.165
2003	1.690.060	49.440	64.312	4.894	166.730	145.979	18.534	457.198	122.848	2.719.994
2004	1.933.739	40.881	73.050	5.135	173.150	154.254	18.500	450.333	125.180	2.974.223
2005	1.921.585	34.938	64.176	5.130	179.107	154.535	17.677	453.266	123.882	2.954.296
2006	1.967.712	45.979	64.176	5.455	202.231	150.656	19.874	453.267	127.622	3.036.972
2007	1.866.052	41.185	64.176	5.609	201.458	161.027	20.470	453.267	127.622	2.940.867

Tabela 10 - Emissões de CH₄ da petroquímicos e negro de fumo

Ano	Produto Químico						Total
	Metanol	Eteno	Cloreto de Vinila	Óxido de Eteno	Acrilonitrila	Negro-de-fumo	
	(t CH ₄)						
1990	388	4.499	10,9	228	14,0	10,7	5.150
1991	475	4.346	7,5	269	11,4	11,0	5.120
1992	470	4.517	7,5	255	13,3	11,2	5.274
1993	514	5.128	8,6	268	13,4	11,8	5.943
1994	511	5.687	9,3	293	13,8	12,3	6.526
1995	475	5.643	8,8	289	14,4	12,0	6.442
1996	515	5.627	9,8	267	14,1	12,1	6.445
1997	521	6.379	9,5	390	15,7	12,5	7.327
1998	484	6.764	9,4	464	11,5	12,7	7.745
1999	496	7.248	9,6	468	14,3	13,3	8.249
2000	487	7.901	9,6	458	15,7	13,8	8.885
2001	557	7.386	8,5	498	13,5	12,9	8.476
2002	552	7.243	8,8	450	14,1	13,3	8.281
2003	554	7.728	12,8	503	13,7	13,8	8.825
2004	629	8.108	13,3	531	15,0	16,7	9.313
2005	553	8.099	13,8	532	13,8	16,8	9.228
2006	637	11.098	15,5	519	15,3	16,8	12.301
2007	540	11.412	15,5	555	15,8	16,8	12.554

Tabela 11 - Emissões de N₂O da produção de substâncias químicas

Ano	Produto Químico			Total
	Ácido nítrico	Ácido adípico	Caprolactama	
	(t N ₂ O)			
1990	1.805	8.627	252	10.684
1991	1.924	11.253	283	13.460
1992	1.892	10.405	250	12.547
1993	1.997	13.841	305	16.143
1994	2.004	13.993	305	16.302
1995	2.044	15.083	316	17.442
1996	2.068	11.220	328	13.616
1997	2.122	9.657	336	12.115
1998	2.060	16.755	258	19.072
1999	2.058	16.625	303	18.985
2000	2.089	17.513	336	19.937
2001	2.055	13.901	291	16.248
2002	2.136	17.801	345	20.282
2003	2.141	16.194	293	18.628
2004	2.205	23.479	303	25.986
2005	2.236	20.290	298	22.824
2006	2.197	22.306	269	24.772
2007	2.204	555	277	3.035

Tabela 12 - Emissões de CO da produção de ácido adípico

Ano	Emissões de CO
	(t)
1990	511
1991	667
1992	617
1993	820
1994	829
1995	894
1996	665
1997	572
1998	993
1999	985
2000	1.038
2001	824
2002	1.055
2003	960
2004	1.391
2005	1.202
2006	1.322
2007	1.421

Tabela 13 - Emissões de NO_x da produção de substâncias químicas

Ano	Produto Químico			Total
	Ácido nítrico	Ácido adípico	Negro-de-fumo	
	(t NO _x)			
1990	518	160	25	702
1991	549	208	26	783
1992	543	193	26	762
1993	570	256	28	854
1994	571	259	29	859
1995	582	279	28	890
1996	588	208	28	824
1997	600	179	29	808
1998	582	310	30	922
1999	586	308	31	925
2000	588	324	32	945
2001	581	257	30	868
2002	606	330	31	967
2003	612	300	32	944
2004	626	435	32	1.093
2005	636	376	39	1.051
2006	622	413	39	1.075
2007	624	444	39	1.107

Tabela 14 - Emissões de NMVOC da produção de petroquímicos

Ano	Petroquímicos				Subtotal
	Eteno	Cloreto de Vinila	Dicloroetano	Acrilonitrila	
	(t NMVOC)				
1990	2.100	4.084	1.184	78	7.445
1991	2.028	2.821	813	63	5.726
1992	2.108	2.837	925	74	5.944
1993	2.393	3.246	1.089	74	6.802
1994	2.654	3.483	1.100	77	7.313
1995	2.634	3.306	1.088	80	7.107
1996	2.626	3.683	1.127	78	7.514
1997	2.977	3.563	1.248	87	7.875
1998	3.157	3.525	1.199	64	7.945
1999	3.382	3.622	1.230	80	8.314
2000	3.687	3.610	1.191	87	8.576
2001	3.447	3.191	941	75	7.654
2002	3.380	3.307	1.084	78	7.848
2003	3.606	3.509	1.188	76	8.379
2004	3.784	3.572	1.247	84	8.686
2005	3.780	3.879	1.279	77	9.015
2006	4.389	5.847	1.205	85	11.526
2007	4.513	5.824	1.180	88	11.606

Tabela 15 - Emissões de NMVOC da produção de outras substâncias químicas

Ano	Outros químicos													Total (incluindo petroquímicos)
	ABS	Anidrido Ftálico	Borracha de butadieno estireno (SBR)	Estireno	Etilbenzeno	Formaldeído	Policloreto de vinila PVC	Poliestireno	Poliétileno PEAD	Poliétileno PEBD	Poliétileno PELBD	Polipropileno	Propeno	
	(t NMVOC)													
1990	734	85	1.071	5.512	882	887	756	443	2.062	1.878	0	3.646	1.111	26.514
1991	715	101	1.094	5.039	629	973	750	511	2.171	1.756	0	4.276	1.091	24.832
1992	770	100	1.139	4.565	574	1.032	733	457	1.991	1.711	0	4.500	1.157	24.674
1993	870	99	1.111	4.021	476	1.225	766	539	2.749	1.827	207	5.739	1.365	27.798
1994	873	119	1.215	4.709	691	1.309	890	507	3.063	1.828	267	6.258	1.521	30.563
1995	898	97	1.283	4.911	815	1.382	872	556	3.165	1.785	300	6.699	1.508	31.377
1996	898	113	1.225	4.240	518	1.411	940	493	3.388	1.684	341	7.075	1.519	31.358
1997	898	111	1.389	4.179	501	1.460	948	438	4.119	1.993	353	7.631	1.707	33.602
1998	898	97	1.196	4.097	525	1.741	948	459	4.437	1.946	348	8.494	1.779	34.911
1999	898	117	1.417	4.078	481	1.979	988	546	4.891	1.976	532	9.447	1.819	37.482
2000	898	114	1.372	7.312	873	1.786	972	579	5.703	1.940	668	10.172	1.973	42.939
2001	898	118	1.187	7.247	879	1.599	807	788	5.244	1.909	539	9.981	1.875	40.724
2002	898	124	1.353	7.192	843	1.766	904	1.037	5.188	1.825	626	10.692	1.945	42.241
2003	898	127	1.427	6.985	856	2.506	906	965	5.192	2.017	719	12.138	2.183	45.297
2004	898	134	1.515	8.017	936	2.699	945	1.052	5.330	2.018	814	13.562	2.446	49.051
2005	898	110	1.231	7.294	790	2.543	960	1.048	5.198	2.045	885	14.546	2.424	48.986
2006	898	135	1.204	8.277	892	2.237	1.014	1.191	6.518	2.043	1.270	14.820	2.568	54.593
2007	898	147	1.256	7.741	891	2.365	1.030	1.242	6.544	2.072	1.370	15.521	2.627	55.309

6 Diferenças em relação ao Inventário Inicial

As estimativas de emissões dos gases de efeito estufa direto correspondentes aos anos 1990 a 1994 foram recalculadas à luz dos fatores de emissão dos *Guidelines 2006*, algumas vezes também envolvendo fatores de emissão calculados para projetos MDL, conforme informado no texto.

7 Referências Bibliográficas

ABIQUIM, Anuários Estatísticos 1993, 1997 2000, 2005 e 2008.

ABIQUIM. Posição da indústria química brasileira em relação à mudança climática. http://www.abiquim.org.br/pdfs/mudanca_climatica.pdf, acessado em 29/3/2010.

CEPED, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Manual Econômico da Indústria Química - MEIQ - Produtos inorgânicos - volume II - ed. Camaçari, BA - CEPED, 2006. 6ª, 7ª e 8ª edições.

FOSFERTIL, Documento de Concepção de Projeto: “Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso na PAN2 Fosfertil Piaçaguera”. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0023/23455.pdf.

FOSFERTIL, Documento de Concepção de Projeto: “Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso na PAN4 Fosfertil Cubatão”. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24849.pdf.

IPCC, *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 2000.

IPCC, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

IPCC, OECD, IEA. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell, UK, 1997.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - Relatórios de referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos industriais e por uso de Solventes*. Brasília, 2006.

RODHIA, Documento de Concepção de Projeto: “Redução de emissões de N₂O em Paulínia, SP”. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0018/18104.pdf.

WHITE MARTINS, 2010. Comunicação da empresa.

Anexos

Produção de substâncias químicas, de 1990 a 1998

Químico	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	(t)								
Amônia	1.152.563	1.012.110	1.038.436	1.153.336	1.156.830	1.222.348	1.201.047	1.252.722	1.176.431
Ácido Nítrico	295.824	313.909	310.526	325.567	326.489	332.842	335.850	343.127	332.560
Ácido Adípico	31.951	41.676	38.538	51.264	51.825	55.864	41.554	35.767	62.055
Caprolactama	42.059	47.193	41.699	50.824	50.838	52.608	54.712	56.024	42.973
Metanol	168.557	206.447	204.447	223.496	222.310	205.134	223.765	226.373	210.200
Eteno	1.499.714	1.448.812	1.505.573	1.709.460	1.895.754	1.881.078	1.875.677	2.126.304	2.254.657
Cloreto Vinila	480.415	331.897	333.782	381.824	409.757	388.905	433.272	419.213	414.680
Dicloroetano	538.183	369.538	420.540	495.139	499.934	494.361	512.181	567.239	545.103
Óxido de Eteno	127.221	150.349	142.578	149.481	163.473	161.326	149.058	217.967	259.015
Acrilonitrila	78.000	63.470	74.159	74.258	76.522	79.825	78.440	87.086	64.056
Negro-de-Fumo	178.395	182.567	186.422	197.248	204.301	200.554	202.183	207.769	211.138
Resinas ABS	27.000	26.300	28.300	32.000	32.100	33.000	33.000	33.000	33.000
Anidrido Ftálico	65.645	77.364	77.210	76.037	91.390	74.778	87.269	85.534	74.334
Borracha - SBR	184.692	188.639	196.400	191.623	209.409	221.191	211.207	239.471	206.277
Estireno	306.217	279.963	253.605	223.413	261.613	272.858	235.549	232.142	227.602
Etilbenzeno	441.007	314.440	286.812	237.793	345.514	407.453	258.972	250.375	262.739
Formaldeído	177.391	194.594	206.421	244.942	261.775	276.426	282.196	292.012	348.242
PVC	504.330	500.264	488.940	510.794	593.413	581.332	626.959	631.851	632.267
Poliestireno	134.332	154.718	138.405	163.356	153.641	168.615	149.347	132.696	139.076
Polietil. PEAD	322.219	339.233	311.100	429.565	478.549	494.547	529.395	643.538	693.236
Polietil. PEBD	626.028	585.374	570.475	609.139	609.248	594.985	561.246	664.383	648.802
Polietil. PELBD	0	0	0	103.610	133.433	149.753	170.252	176.662	173.882
Polipropileno	303.841	356.319	374.992	478.288	521.540	558.252	589.577	635.939	707.864
Propeno	793.544	779.224	826.543	974.982	1.086.330	1.076.832	1.084.956	1.219.460	1.271.018

Produção de substâncias químicas, de 1999 a 2007

Químico	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	(t)								
Amônia	1.331.113	1.139.109	955.998	1.073.161	1.157.575	1.324.479	1.316.154	1.347.748	1.278.118
Ácido Nítrico	335.069	336.025	331.805	346.225	349.566	357.524	363.422	355.706	356.661
Ácido Adípico	61.572	64.862	51.486	65.931	59.979	86.958	75.147	82.614	88.808
Caprolactama	50.498	56.005	48.550	57.519	48.847	50.472	49.655	44.906	49.592
Metanol	215.492	211.584	242.218	240.095	240.871	273.596	240.360	276.789	234.595
Eteno	2.415.980	2.633.818	2.462.155	2.414.222	2.575.893	2.702.525	2.699.831	3.135.114	3.223.595
Cloreto Vinila	426.167	424.732	375.401	389.005	567.108	588.947	609.207	687.861	685.232
Dicloroetano	558.930	541.335	427.680	492.583	540.194	566.711	581.366	547.721	536.517
Óxido de Eteno	261.266	256.035	278.156	251.345	280.729	296.643	297.183	289.724	309.668
Acrilonitrila	79.708	87.361	74.980	78.362	76.196	83.538	76.780	84.811	88.044
Negro-de-Fumo	221.501	229.860	215.359	222.204	229.863	278.327	280.140	280.140	280.140
Resinas ABS	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000
Anidrido Ftálico	89.794	87.595	90.899	95.312	97.888	103.162	84.579	103.491	113.232
Borracha - SBR	244.303	236.627	204.579	233.217	245.980	261.193	212.205	207.629	216.542
Estireno	226.528	406.225	402.597	399.529	388.047	445.390	405.205	459.839	430.034
Etilbenzeno	240.399	436.577	439.256	421.737	428.002	467.902	395.024	446.132	445.607
Formaldeído	395.786	357.262	319.815	353.104	501.161	539.846	508.680	447.343	473.056
PVC	658.471	648.199	538.091	602.458	604.088	629.747	640.319	676.263	686.463
Poliestireno	165.395	175.575	238.686	314.388	292.296	318.662	317.434	360.957	376.471
Polietil. PEAD	764.225	891.050	819.380	810.650	811.181	832.861	812.160	1.018.456	1.022.543
Polietil. PEBD	658.737	646.832	636.248	608.307	672.231	672.645	681.686	681.083	690.530
Polietil. PELBD	266.099	333.756	269.690	313.070	359.468	407.021	442.274	635.152	685.066
Polipropileno	787.264	847.639	831.778	890.979	1.011.523	1.130.186	1.212.200	1.234.977	1.293.390
Propeno	1.299.281	1.409.373	1.339.605	1.389.531	1.559.099	1.746.847	1.731.428	1.834.420	1.876.331

Outros dados de atividade, de 1990 a 2007

Ano	Consumo de concentrado fosfático (ver ácido fosfórico)
	(t)
1990	2.817.000
1991	3.280.000
1992	2.825.000
1993	3.420.000
1994	3.937.000
1995	3.888.000
1996	3.823.000
1997	4.275.609
1998	4.421.403
1999	4.343.638
2000	4.725.106
2001	4.805.121
2002	5.083.703
2003	5.584.000
2004	5.690.000
2005	5.631.000
2006	5.801.000
2007	5.801.000