

**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 - PRODUTOS MINERAIS**

PARTE I

Produção de Cimento



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 CIÊNCIA E TECNOLOGIA
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
EMISSIONES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS
INDUSTRIAIS - PRODUTOS MINERAIS**

PARTE I

Produção de Cimento

Elaborado por:

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC

Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP

Autores:

José Otavio Carvalho

Yushiro Kihara

Carlos Maia

Gonzalo Visedo

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 Ciência e Tecnologia
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 dos Santos 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/05/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 _____	7
Sumário Executivo _____	8
1 Introdução _____	10
1.1 <i>Panorama Internacional</i> _____	10
1.2 <i>Panorama nacional</i> _____	11
1.3 <i>Aspectos regionais da produção de cimento</i> _____	13
1.4 <i>Ações da indústria do cimento nacional na redução dos gases de efeito estufa</i> ____	13
1.4.1 <i>Cimentos com adições</i> _____	14
1.4.2 <i>Parque industrial moderno e eficiente</i> _____	17
1.4.3 <i>Combustíveis alternativos</i> _____	17
2 Emissões de CO ₂ no processo produtivo do cimento _____	20
2.1 <i>Processos produtivos: clínquer e cimento</i> _____	20
2.2 <i>Matérias-primas para produção do clínquer</i> _____	21
2.3 <i>Moagem e expedição</i> _____	22
3 Metodologia _____	22
3.1 <i>O processo de descarbonatação</i> _____	23
3.2 <i>Comparação entre a metodologia Tier 3 dos Guidelines 2006 e a da CSI</i> _____	23
3.2.1 <i>Tier 3 - Guidelines 2006</i> _____	24
3.2.2 <i>Metodologia CSI</i> _____	25
3.2.3 <i>Conclusão da comparação entre a metodologia da CSI e a dos Guidelines 2006</i> ____	27
4 Dados _____	27
4.1 <i>Coleta dos dados</i> _____	28
4.2 <i>Tratamento dos dados</i> _____	29
5 Resultados _____	30
6 Diferenças em relação ao Inventário Inicial _____	34
7 Referências Bibliográficas _____	35

Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 - Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento</i> _____	28
<i>Tabela 2 - Massas moleculares</i> _____	29
<i>Tabela 3 - Emissões de CO₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento</i> _____	30

Lista de Figuras

	Página
<i>Figura 1 - Ranking dos maiores produtores mundiais de cimento</i> _____	10
<i>Figura 2 - Participação dos países na produção de cimento da América Latina</i> _____	11
<i>Figura 3 - Participação regional na produção de cimento – 2008</i> _____	12
<i>Figura 4 - Evolução da produção nacional de cimento de 1970 a 2008</i> _____	12
<i>Figura 5 - Potencial de não-emissão de CO₂ baseado na melhor tecnologia disponível em 2006</i> _____	14
<i>Figura 6 - Especificações do cimento portland pela ABNT</i> _____	15
<i>Figura 7 - Evolução do uso de adições no Brasil</i> _____	15
<i>Figura 8 - Evolução das emissões de CO₂ específicas por cimento e clínquer</i> _____	16
<i>Figura 9 - Redução das emissões de GEE com o co-processamento</i> _____	18
<i>Figura 10 - Co-processamento de resíduos pela indústria de cimento brasileira</i> _____	19
<i>Figura 11 - Evolução do consumo de combustíveis na indústria do cimento nacional</i> _____	19
<i>Figura 12 - Processo de Produção do Cimento</i> _____	21
<i>Figura 13 – Produção de cimento e emissões de CO₂ no Brasil</i> _____	31
<i>Figura 14 - Produção cimento X clínquer e conteúdo de clínquer no cimento</i> _____	31
<i>Figura 15 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Região Sul</i> _____	32
<i>Figura 16 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Região Sudeste</i> _____	32
<i>Figura 17 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Centro-Oeste</i> _____	33
<i>Figura 18 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Regiões Norte e Nordeste</i> _____	33

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 o este relatório faz parte, contendo as informações utilizadas, descrição da metodologia empregada e critérios adotados.

Todos os Relatórios de Referência estão 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 do processo produtivo do cimento e as estimativas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes do processo de descarbonatação do calcário (CaCO₃) na produção do clínquer. O CaCO₃ é calcinado e como resultado produz cal (CaO) e como sub-produto o CO₂. Depois de produzida, a cal (CaO) reage com a sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃) formando o clínquer, um produto nodular intermediário, que é moído com uma porção de gesso para fabricação do cimento Portland.

Em escala mundial, aproximadamente 90% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção de clínquer, seja na calcinação/descarbonatação da matéria-prima, seja com a queima de combustíveis no interior do forno. A parcela restante resulta do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica na fábrica.

A indústria do cimento nacional tem tradição no uso de cimentos com adições. O aproveitamento de subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas é realizado há mais de 50 anos no país, prática que só mais recentemente vem sendo cada vez mais adotada no mundo. Essa prática, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, tanto pela diminuição da produção de clínquer quanto pela redução do uso de combustíveis fósseis.

Neste relatório são abordadas apenas as emissões do processo de descarbonatação do calcário, que ocorrem no forno de calcinação para fabricação do clínquer. A parcela referente à queima de combustíveis no interior do forno é considerada, de acordo com as diretrizes metodológicas do IPCC, nos relatórios referentes ao Setor Energia.

Na Tabela I são apresentados os dados das produções nacionais de cimento e clínquer, enquanto a Tabela II exibe o conteúdo do clínquer no cimento nacional, retratando o aumento do uso de adições no período 1990 a 2005.

Tabela I - Produção de cimento e clínquer

Produto	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	1.000 t				%
Cimento	25.848	25.230	39.901	38.706	49,7%
Clínquer	20.161	18.412	29.227	26.307	30,5%

Fonte: SNIC, 2009

Tabela II - Conteúdo de clínquer no cimento nacional

Relação	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	t clínquer / t cimento produzido				%
Clínquer/ Cimento	0,780	0,730	0,732	0,680	-12,9%

Fonte: SNIC, 2009

As emissões de CO₂ deste processo 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*. O resumo dos resultados das estimativas de emissões de CO₂ provenientes da descarbonatação do calcário na produção de clínquer é apresentado na Tabela III abaixo:

Tabela III - Emissões de CO₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer da indústria do cimento

Fonte de emissão	1990	1994	2000	2005	Var. 1990/2005
	Gg CO ₂				%
Produção de clínquer	11.062	10.086	16.047	14.349	29,7%

Fonte: SNIC, 2009

Observa-se que as emissões de CO₂ estimadas cresceram 29,7% no período 1990 a 2005, paralelamente a um aumento de 49,7% da produção de cimento no mesmo período, refletindo, principalmente, a prática do uso de adições ao cimento, como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas, que reduz a necessidade de fabricação do clínquer e conseqüentemente evita emissões a partir deste processo.

1 Introdução

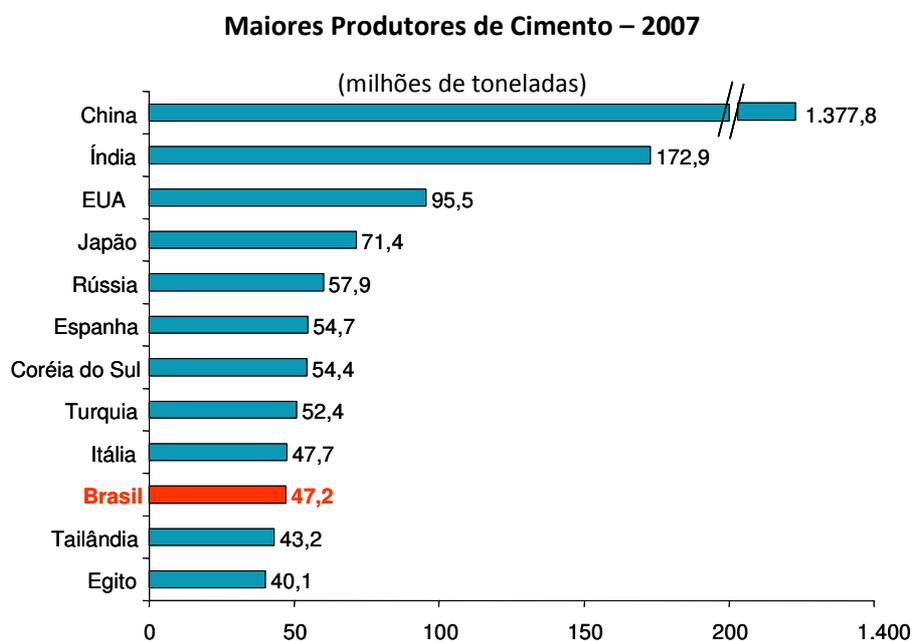
Em escala mundial, aproximadamente 90% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção de clínquer (material intermediário do cimento), seja na calcinação/descarbonatação da matéria-prima, seja com a queima de combustíveis no interior do forno. A parcela restante resulta do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica nas fábricas.

Neste relatório é apresentado um panorama do setor de produção de cimento no Brasil e são estimadas as emissões do processo produtivo para o período 1990 - 2005. São abordadas apenas as emissões do processo de decarbonatação do calcário, que ocorrem no forno de calcinação para fabricação do clínquer. A parcela referente à queima de combustíveis no interior do forno é considerada, de acordo com as diretrizes metodológicas do IPCC, nos relatórios referentes ao Setor Energia.

1.1 Panorama Internacional

A produção mundial de cimento, em 2007, foi de 2.800 milhões de toneladas, sendo a China responsável por 49,2% desse total, conforme a Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Ranking dos maiores produtores mundiais de cimento



Obs: Incluída na produção a exportação de clínquer
Fonte: SNIC

Em 2007, o Brasil ocupava a 10ª posição na produção de cimento no mundo, com 1,7% da produção mundial, de acordo com Cembureau/SNIC (2009). As matérias-primas para fabricação do cimento, principalmente o calcário, são abundantes nos países produtores.

O Brasil é o maior produtor de cimento da América Latina, com 30% da produção da região, que em 2007 produziu 153,4 milhões de toneladas, conforme a Figura 2 abaixo. Nesse ano, o consumo per capita no Brasil foi de 240 kg/habitante. É um consumo baixo em comparação com países desenvolvidos, e muito aquém daqueles que estão passando ou passaram recentemente por processos de desenvolvimento e construíram a sua infra-estrutura. Esses países chegam a ter, em 2007, um consumo per capita acima de 1.000 kg, caso da China (1.018 kg/hab), Coréia do Sul (1.048 kg/hab) e Espanha (1.248 kg/hab), sendo de 423 kg/hab a média do consumo mundial.

Figura 2 - Participação dos países na produção de cimento da América Latina

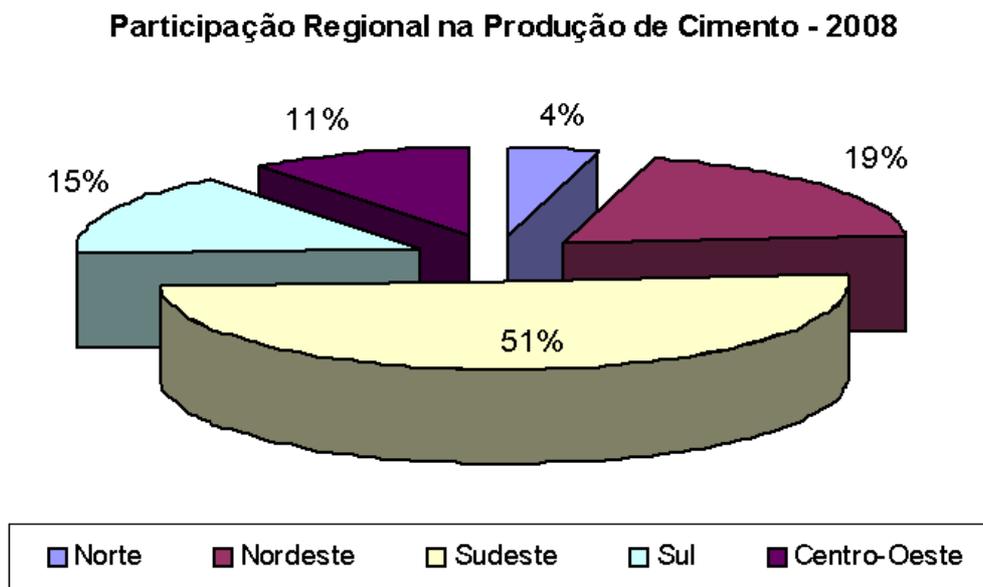


Fonte: SNIC, 2008

1.2 Panorama nacional

No Brasil, o cimento é produzido em diversas unidades da Federação. O parque industrial cimenteiro era, em 2009, constituído por 69 fábricas, das quais 46 eram fábricas integradas, com forno de produção de clínquer, e 23 eram apenas moagens, que partem do clínquer pronto. Estão presentes em todas as regiões brasileiras e plenamente capacitadas para atender à demanda interna. Em sua quase totalidade, as plantas são equipadas com fornos de via seca, dotados de pré-aquecedores e pré-calcinadores, além de modernos sistemas de controle. A Figura 3 a seguir apresenta a participação regional na produção de cimento no Brasil.

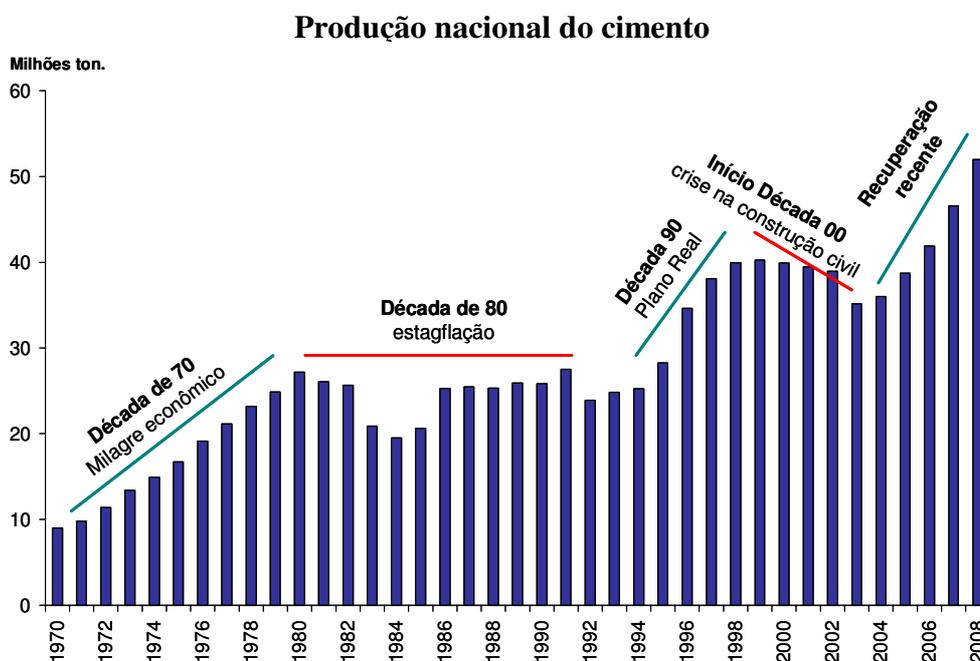
Figura 3 - Participação regional na produção de cimento - 2008



Fonte: SNIC, 2008

Em 2008, a produção brasileira de cimento atingiu 51,97 milhões de toneladas, fruto da retomada da atividade de construção civil iniciada a partir de 2004. A Figura 4 a seguir mostra o histórico da produção nacional de cimento.

Figura 4 - Evolução da produção nacional de cimento de 1970 a 2008



Fonte: SNIC, 2008

De acordo com o Anuário Estatístico de 2008 do SNIC, Minas Gerais foi o estado maior produtor, com 24,3% do total produzido no país em 2008. São Paulo ficou em segundo lugar, com 15,7%, seguido pelo Paraná, com 10,2%, e Rio de Janeiro, com 6%. Os demais Estados produziram 43,7%.

Mais de 90% do cimento brasileiro apresenta-se misturado a outros compostos, tendo havido uma redução no conteúdo médio de clínquer no cimento de 78% em 1990 para 68% em 2005, bem abaixo da média mundial.

1.3 Aspectos regionais da produção de cimento

Em um país de dimensões continentais como o Brasil, existem inúmeros aspectos regionais que contribuem para uma diferenciação do perfil das matérias-primas e insumos utilizados na produção do cimento e, conseqüentemente, das emissões resultantes.

A composição da matéria-prima, que não se encontra distribuída de forma homogênea na natureza, tem influência direta nas emissões de CO₂ da indústria do cimento. Regiões cujo calcário apresenta maiores teores de magnésio (MgO), como a região Sul por exemplo, apresentam maior fator de emissão por clínquer produzido, comparativamente a outras regiões.

Já regiões com maior número de siderúrgicas, como a região Sudeste, têm maior acesso a escórias de alto-forno, utilizadas na produção de cimentos portland composto (CPII-E) e cimentos de alto forno (CPIII), com mais adições e conseqüentemente menor emissão de CO₂. Do mesmo modo, a localização restrita das termoeletricas movidas a carvão mineral na região Sul, limita o acesso às cinzas (*fly ash*) para a produção de cimento portland composto (CPII - Z) e cimento pozolânico (CPIV).

Por sua vez, as regiões Centro-Oeste e Nordeste apresentam um perfil de consumo de combustíveis com maior participação de biomassa, como carvão vegetal e casca de babaçu e coco, devido à proximidade dessas fontes de combustíveis alternativos.

Todas essas peculiaridades e limitações de acesso às melhores práticas disponíveis exigem que a diferenciação regional seja considerada nas discussões presentes e futuras acerca das emissões de CO₂ da indústria do cimento.

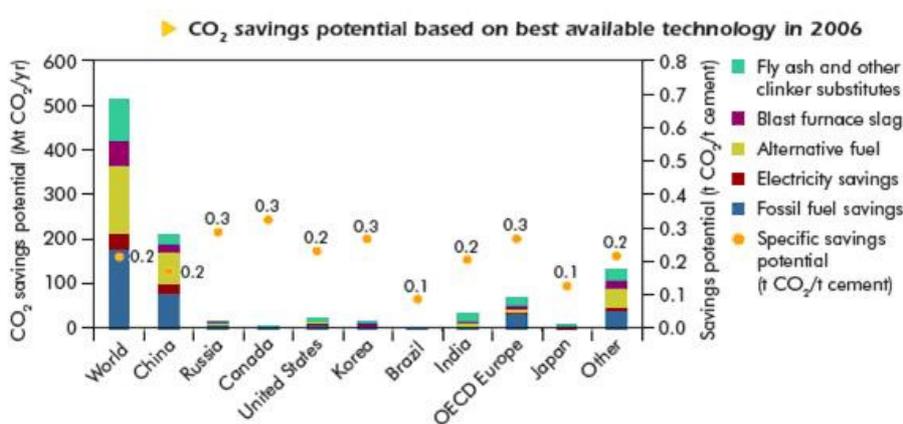
1.4 Ações da indústria do cimento nacional na redução dos gases de efeito estufa

Uma série de características do processo produtivo, além de diversas ações adotadas pela indústria do cimento no Brasil, algumas há muitas décadas, outras mais recentemente, têm

contribuído para a redução das emissões de CO₂ e posicionam a indústria do cimento nacional entre uma das mais eficazes em termos de emissões de gases de efeito estufa - GEE.

Estudo visando à redução de emissões, recentemente publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2009), analisou o potencial de redução das emissões de CO₂ da indústria cimenteira dos principais países produtores do mundo, baseados nas melhores práticas hoje existentes. Os resultados apresentam a indústria do cimento brasileira, em virtude do grau de excelência por ela alcançado, como a de mais baixo potencial de redução comparativamente aos outros países, que ainda não conseguiram implementar plenamente essas ações. Tais características e ações são explicitadas a seguir.

Figura 5 - Potencial de não-emissão de CO₂ baseado na melhor tecnologia disponível em 2006



Fonte: IEA (International Energy Agency) - Energy Technology Transitions for Industry - pag. 88

Fonte: IEA, 2009

1.4.1 Cimentos com adições

A indústria do cimento nacional tem tradição no uso de cimentos com adições. O aproveitamento de subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas é realizado há mais de 50 anos no país, prática que só mais recentemente vem sendo cada vez mais adotada no mundo.

A produção de cimentos com adições ao clínquer, com materiais como escórias siderúrgicas, cinzas volantes, pozolanas artificiais e fíler calcário, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, uma vez que diminui a produção de clínquer e, conseqüentemente, a queima de combustíveis e a emissão por calcinação.

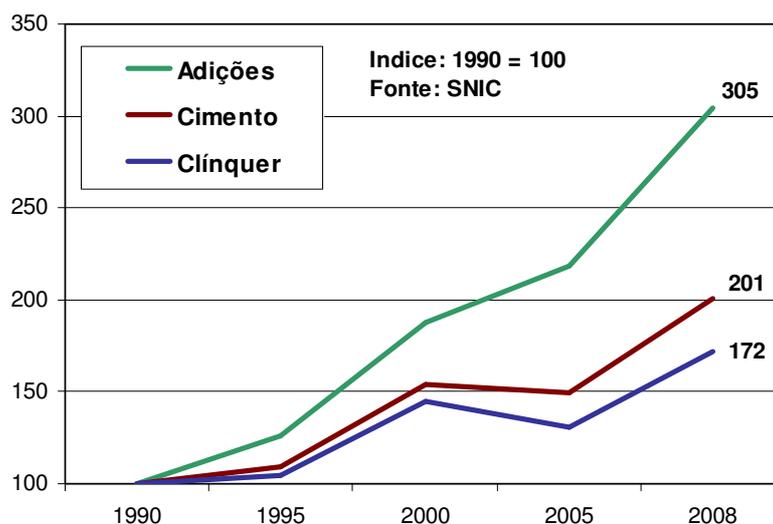
Além disso, os cimentos com adições representam uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos, como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas, contribuindo com a redução de passivos ambientais. Tudo isso atendendo, acima de tudo, as especificações das Normas Técnicas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Figura 6 - Especificações do cimento portland pela ABNT**Normas Técnicas ABNT - Adições ao Cimento****Normas Técnicas ABNT - Adições ao Cimento**

- Cimento portland comum (1926)
 - CP I-S ⇒ 1 - 5% adições
- Cimento portland de alto forno (1952)
 - CP III ⇒ 35 - 70% escória
- Cimento portland pozolânico (1969)
 - CP IV ⇒ 15 - 50% cinza volante
- Cimento portland composto (1991)
 - CP II-E ⇒ 6 - 34% escória
 - CP II-Z ⇒ 6 - 14% cinza volante
 - CP II-F ⇒ 6 - 10% calcário

Fonte: ABCP

A crescente utilização, desde longa data, de adições ao cimento no Brasil tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO₂ da indústria. O gráfico índice a seguir ilustra o aumento do uso das adições, comparativamente às produções de clínquer e cimento, nos últimos anos.

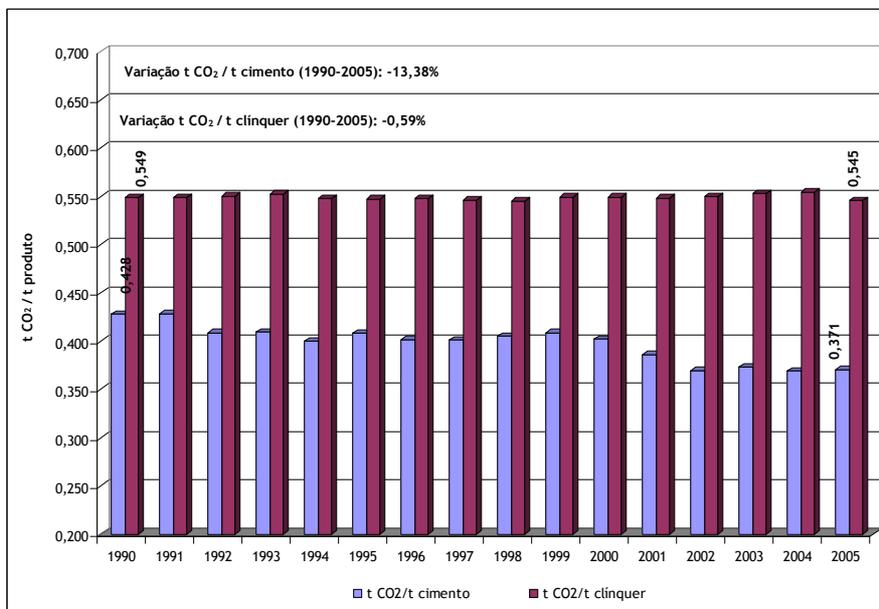
Figura 7 - Evolução do uso de adições no Brasil

Fonte: SNIC

Assim, enquanto as emissões oriundas da calcinação se mantêm relativamente constantes na produção de clínquer no período de 1990 a 2005, uma vez que os teores médios de CaO e MgO na

matéria-prima não mudam substancialmente ao longo do tempo, comprova-se uma significativa diminuição das emissões de CO₂ por tonelada de cimento, resultado da crescente utilização de adições. Tal fato pode ser comprovado pela Figura 8 abaixo, que compara as emissões específicas de CO₂ do processo de decarbonatação por clínquer e cimento.

Figura 8 - Evolução das emissões de CO₂ específicas por cimento e clínquer



Fonte: SNIC, 2009

1.4.2 Parque industrial moderno e eficiente

A indústria do cimento no Brasil possui um parque industrial moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético e conseqüentemente uma menor emissão de CO₂ quando comparado a outros países.

Praticamente todo o cimento no país é produzido por via seca, processo industrial que garante a diminuição do uso de combustíveis em até 50% em relação a outros processos. Além disso, pré-aquecedores e pré-calcinadores reaproveitam os gases quentes da saída do forno para pré-aquecer a matéria-prima previamente à entrada do forno, diminuindo ainda mais o consumo de combustíveis.

Tudo isso resulta em uma diminuição da queima de combustíveis durante o processo e, conseqüentemente, em uma menor emissão de CO₂.

Com isso, de acordo com o Balanço Energético Nacional, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, MME, o setor atinge níveis de consumo térmico da ordem de 653 kcal/kg cimento e elétrico de 104 kWh/t cimento, confirmando a posição da indústria nacional do cimento como uma das mais eficientes em consumo específico de energia, abaixo dos padrões médios mundiais.

O mesmo estudo citado anteriormente (IEA, 2009) deixa evidente a excelente eficiência energética da indústria brasileira do cimento, que já utiliza as melhores práticas disponíveis e, portanto apresenta um baixo potencial de redução de energia, quando comparada a outros países.

1.4.3 Combustíveis alternativos

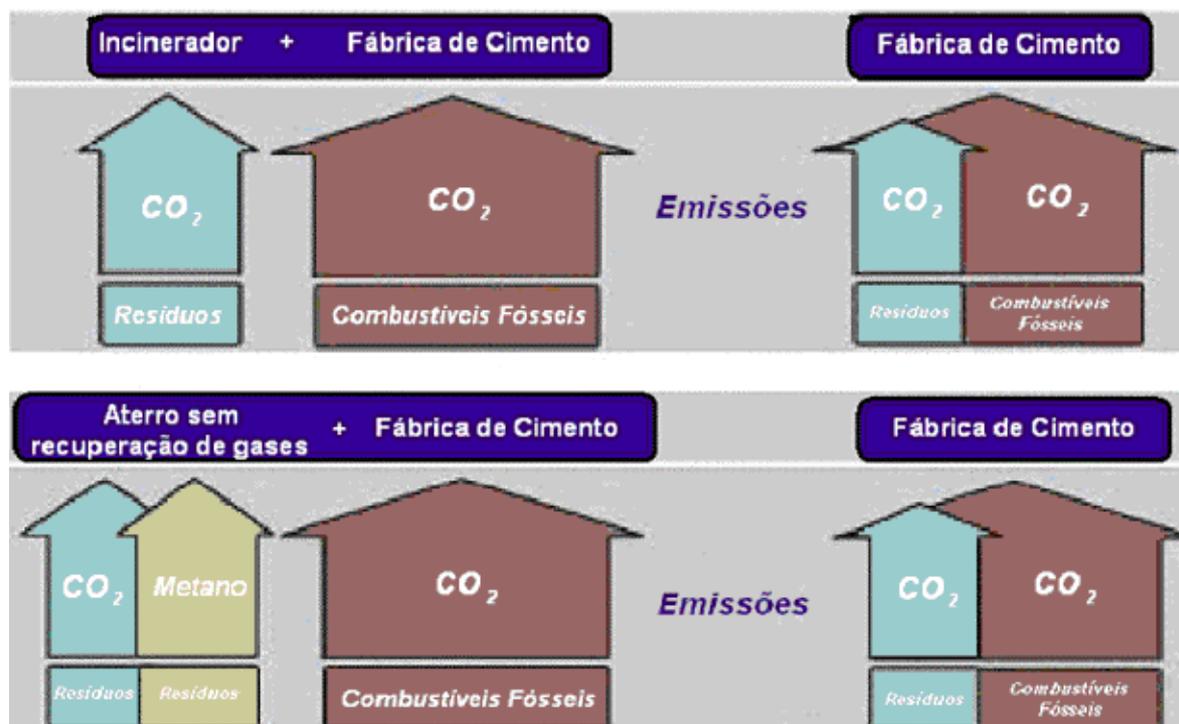
Além dos combustíveis tradicionais utilizados pela indústria do cimento, como coque de petróleo, óleo combustível e carvão mineral, é cada vez mais crescente o uso de combustíveis alternativos no Brasil, através do co-processamento de resíduos. O co-processamento reaproveita rejeitos e subprodutos de outras atividades em substituição aos combustíveis tradicionais. Dessa forma, resíduos com poder energético, como pneus inservíveis, tintas, plásticos e óleos usados são utilizados para alimentar a chama do forno de clínquer, ao mesmo tempo em que são adequadamente destruídos.

O co-processamento, além de eliminar o passivo ambiental representado pelos resíduos, contribui também para a redução das emissões de gás carbônico do setor, uma vez que muitos desses

resíduos utilizados possuem menor fator de emissão por energia produzida, quando comparados aos combustíveis tradicionais.

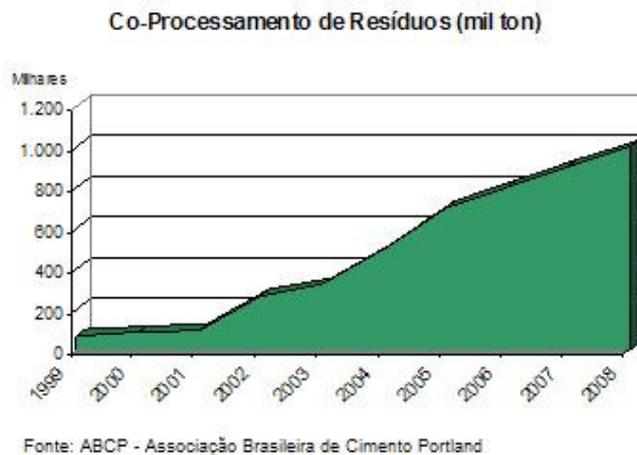
Adicionalmente, o co-processamento de resíduos evita a emissão de GEE desses mesmos resíduos, caso eles fossem destinados a aterros ou incineradores, como mostra a Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Redução das emissões de GEE com o co-processamento



Fonte: CEMBUREAU, OFICEMEN, 2008

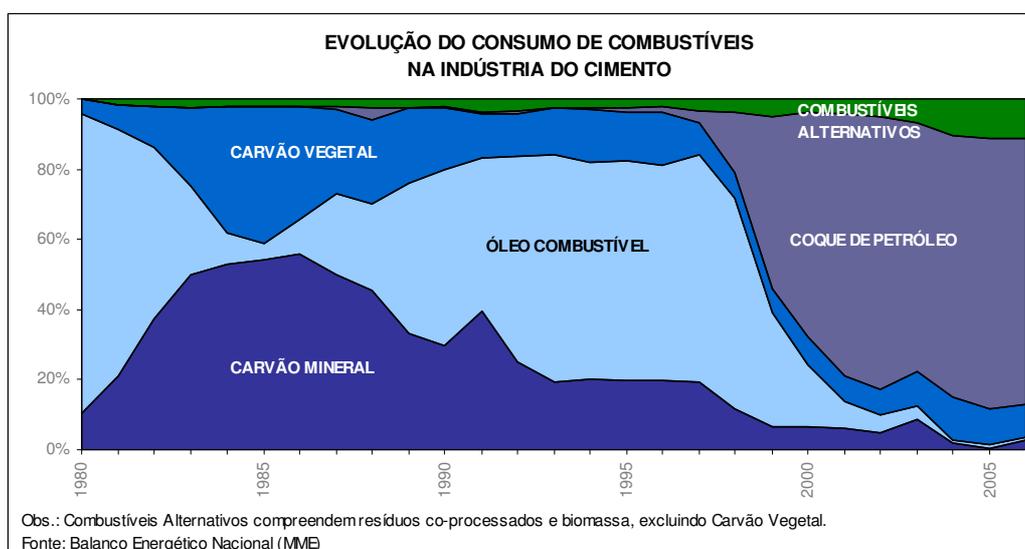
Atualmente, mais de três quartos das plantas completas existentes no país estão licenciadas pelos órgãos ambientais para co-processar resíduos. Isso representa uma capacidade potencial de destruição de 2,5 milhões de toneladas por ano. Somente em 2008, a indústria do cimento brasileira co-processou um milhão de toneladas de resíduos, incluindo cerca de 33 milhões de pneumáticos inservíveis. Isso representou uma substituição de aproximadamente 15% de combustíveis tradicionais.

Figura 10 - Co-processamento de resíduos pela indústria de cimento brasileira

Fonte: ABCP

Além do co-processamento de resíduos, é cada vez maior também a utilização de outro combustível alternativo pela indústria do cimento nacional, a biomassa. Carvão vegetal, casca de arroz, de babaçu, de coco, entre outros, são exemplos desse tipo de combustível renovável utilizado pelo setor no país.

A disponibilidade e acesso a esse tipo de energéticos de origem vegetal possibilitam também o abatimento das emissões pela indústria, por serem considerados combustíveis renováveis de emissão zero, uma vez que o CO₂ liberado durante a queima é considerado parte do ciclo natural do carbono, sendo reabsorvido pela biomassa novamente durante o crescimento vegetal.

Figura 11 - Evolução do consumo de combustíveis na indústria do cimento nacional

Fonte: BEN, 2007

2 Emissões de CO₂ no processo produtivo do cimento

Este relatório cobre unicamente as emissões de CO₂ da indústria de cimento referentes ao processo produtivo, não incluindo as emissões pela queima de combustíveis que são incluídas nos relatórios referentes ao Setor Energia, de acordo com os *Guidelines 1996*.

2.1 Processos produtivos: clínquer e cimento

O processo produtivo do cimento é, resumidamente, uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais não metálicas, sua transformação química em clínquer (produto intermediário do cimento) em um forno a cerca de 1.450 °C e posterior moagem e mistura a outros materiais, conforme o tipo de cimento.

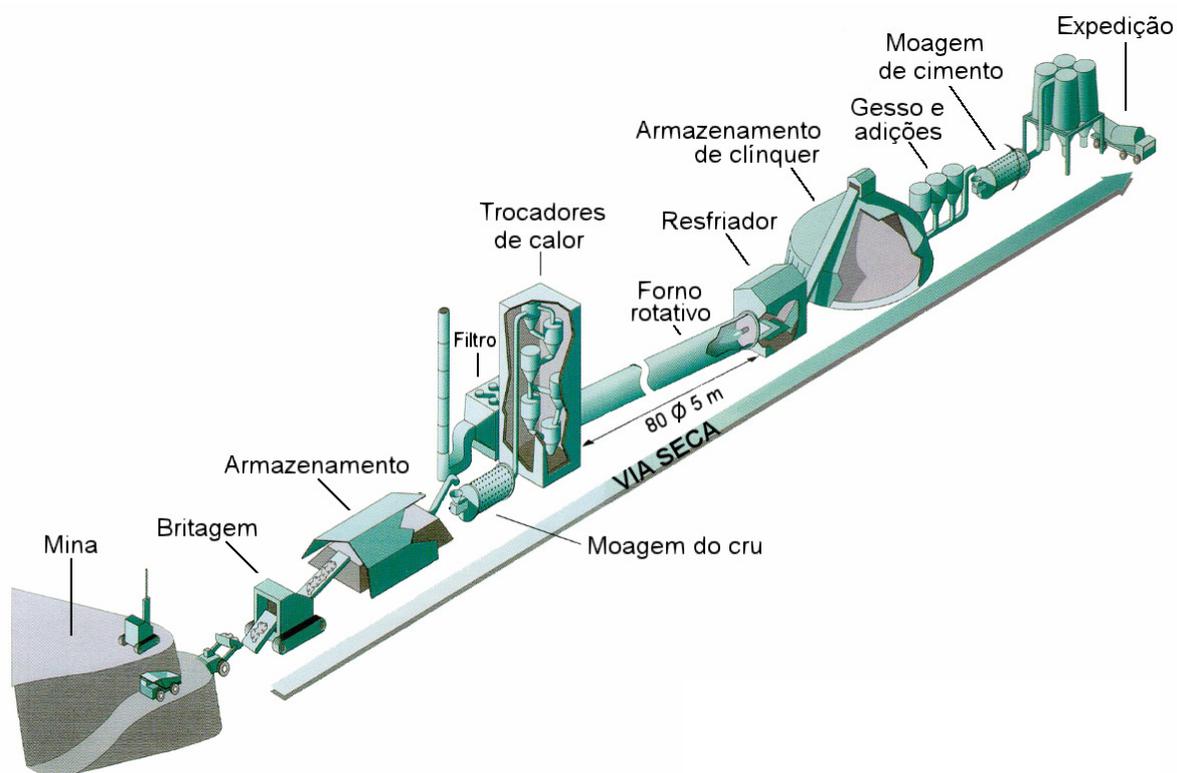
O dióxido de carbono (CO₂) é emitido durante a produção do clínquer.

A fabricação do clínquer portland pode ser dividida, basicamente, em quatro tipos diferentes, dependendo da umidade das matérias-primas:

- Via úmida;
- Via semi-úmida;
- Via semi-seca; e
- Via seca.

Nos fornos via seca, os mais empregados hoje no mundo, as matérias-primas ingressam no forno previamente secas, garantindo uma maior eficiência energética, economia de combustíveis e menores emissões de GEE.

Figura 12 - Processo de Produção do Cimento



Font

09

2.2 Matérias-primas para produção do clínquer

Calcário e argila são as matérias-primas essenciais para a produção do clínquer, na proporção de 75%-80% e 20%-25%, respectivamente. Além disso, eventuais aditivos corretivos são utilizados, como minério de ferro, areia e bauxita.

Esses materiais concentram os principais componentes químicos constituintes do clínquer portland, cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3).

Uma vez lavrado, o calcário, pré-homogeneizado junto com argila e demais aditivos, é britado para ser armazenado em silos próprios.

Esses minérios são devidamente dosados nas proporções exatas, quando então são moídos e homogeneizados até resultar em um material fino e de concentrações homogêneas, denominado *farinha*.

A transformação físico-química da farinha em clínquer passa por quatro estágios: pré-aquecimento, calcinação, clinquerização e resfriamento.

As torres de pré-aquecedores e/ou pré-calcinadores, presentes nos modernos fornos via seca, reaproveitam os gases quentes da saída do forno para aquecer a farinha. Nesse estágio, a matéria-prima atinge uma temperatura aproximada de 800°C, quando se dá o início da calcinação - ou descarbonatação do calcário - e a quebra da estrutura molecular das matérias-primas, passando em seguida para o forno rotativo, onde está localizado o maçarico principal, cuja chama atinge 2.000°C no ponto de maior temperatura.

Nesta etapa o material atinge a temperatura média de 1.450°C, fundindo-se parcialmente, constituindo o processo de clínquerização, em que as moléculas se recombinaem e recristalizam, dando origem a novos compostos. O movimento rotativo do forno provoca a formação de estruturas nodulares de 5 mm a 30 mm de diâmetro, denominadas clínquer. Essas passam, por sua vez, por um sistema de resfriadores com o objetivo de reduzir o mais rápido possível a sua temperatura, estabilizando a nova estrutura química.

2.3 Moagem e expedição

O clínquer resfriado é então moído em grandes moinhos junto com gesso (3%-6%) e, dependendo do tipo de cimento e Normas Técnicas aplicáveis, demais materiais, como escória siderúrgica, cinzas volantes, pozolanas e filer calcário, para formar o cimento portland, que será armazenado em silos, mantendo suas características físico-químicas até sua comercialização, a granel ou em sacos.

3 Metodologia

As Diretrizes para Preparação de Comunicações Nacionais de Países Não Incluídos no Anexo I da Convenção sobre Mudança do Clima (países em desenvolvimento), aprovadas na Oitava Conferência das Partes (17/CP.8), estabelecem que as metodologias a serem usadas nos Inventários Nacionais são as incluídas nas Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (*Guidelines 1996*). Os países são ainda encorajados a utilizar o Guia de Boas Práticas e Gerenciamento de Incertezas em Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa publicado pelo IPCC (*Good Practice Guidance 2000*).

Os *Guidelines 1996* e o *Good Practice Guidance 2000* apresentam duas abordagens metodológicas (Tier 1 e Tier 2) que se baseiam nas quantidades produzidas de cimento e de clínquer, respectivamente. O *Good Practice Guidance 2000* observa que abordagens metodológicas mais detalhadas podem ser utilizadas, se forem justificadas e documentadas.

O setor cimenteiro brasileiro tem se empenhado na obtenção de informação detalhada necessária à aplicação da metodologia setorial da *Cement Sustainability Initiative, CSI*, uma iniciativa dos maiores grupos cimenteiros do mundo vinculada ao *World Business Council for Sustainable*

Development, WBCSD, com o objetivo de desenvolver uma série de ações de caráter ambiental, dentre as quais o controle e monitoramento das emissões de GEE. Essas informações são compatíveis com a abordagem Tier 3 das Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC (*Guidelines 2006*), que considera as composições das matérias primas (carbonatos) utilizadas, corrige as emissões pelo conteúdo de MgO e inclui outros parâmetros específicos como a correção da poeira do forno de cimento (*Cement Kiln Dust - CKD*), que é considerada como uma perda do sistema, e o carbono da matéria orgânica contido nas matérias primas.

Tendo em vista o objetivo de obtenção das estimativas mais acuradas possíveis optou-se neste relatório por utilizar a metodologia Tier 3 definida no *Guidelines 2006*, modificada a partir das informações disponíveis pela aplicação da metodologia *CSI*.

3.1 O processo de descarbonatação

Durante a produção de clínquer, o calcário, que é principalmente constituído de carbonato de cálcio (CaCO_3), é aquecido em fornos, junto com outras matérias primas, até produzir cal (CaO) e CO_2 como sub-produto, conforme demonstrado na Equação 1, no processo chamado de descarbonatação ou calcinação.



O CaO reage então com sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) para formar o clínquer.

Entretanto, existem outros carbonatos presentes na matéria-prima, em menor escala, que não o CaCO_3 . Calcários magnesianos [MgCO_3] e dolomíticos [$\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$] possuem magnésio em sua composição. Quando submetidos à elevada temperatura, estes carbonatos fracionam-se também liberando CO_2 , conforme a Equação 2 e a Equação 3.



3.2 Comparação entre a metodologia Tier 3 dos *Guidelines 2006* e a da *CSI*

Nos *Guidelines 2006* - Tier 3, basicamente, as emissões de CO_2 são calculadas tomando-se em conta a composição dos carbonatos consumidos durante o processo de descarbonatação do

calcário no forno de calcinação do clínquer. Já na CSI, as emissões são baseadas nos teores de CaO e MgO presentes no clínquer.

Em ambas as metodologias é feita a correção para a parcela de poeira emitida a partir dos fornos (CKD) e não calcinada e corrigidas eventuais quantidades relevantes de CaO e MgO no clínquer geradas por fontes não-carbonáceas, ou seja, que não foram originadas na descarbonatação no forno de clínquer - portanto sem emissões associadas no processo, como por exemplo silicatos de cálcio ou *fly ashes* (cinzas volantes) usados no forno, como corretivos químicos do cru, porém esta não é uma prática comum na indústria cimenteira brasileira, apenas algumas fábricas o fazem.

3.2.1 Tier 3 - Guidelines 2006

A Equação 4 abaixo, apresentada no Tier 3 *Guidelines 2006* é utilizada para calcular as emissões baseadas nos dados das matérias primas consumidas na produção do clínquer, com desconto das emissões de CKD não calcinadas (perdas do sistema) e considerando as emissões de matéria-prima não-energética que contenha carbono.

$$Emissões\ de\ CO_2 = \underbrace{\sum_i (FE_i \times M_i \times F_i)}_{Emissões\ dos\ Carbonatos} - \underbrace{M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times FE_d}_{Emissões\ de\ CKD\ não-calcinadas\ que\ não\ são\ reinjetadas\ no\ forno} + \underbrace{\sum_k (M_k \times X_k \times FE_k)}_{Emissões\ de\ materiais\ não-energéticos\ que\ contenham\ carbono}$$

Equação 4

- Primeiro termo - emissões dos carbonatos

Para cada carbonato serão necessários: a massa correspondente (M_i), o respectivo fator de emissão (FE_i) e a fração de calcinação (F_i) alcançada por cada substância. De acordo com os *Guidelines 2006*, o grau de calcinação atingido por todos os materiais é de 100% ($F_i = 1$), ou bem próximo desse valor, devido à alta temperatura e ao tempo de residência de tais materiais no forno.

- Segundo termo - correção do CKD

São necessárias a massa de poeira - CKD - não reciclada no forno (M_d), a fração de carbonato nessa massa (C_d), sua fração de calcinação (F_d) e respectivo fator de emissão (FE_d). Caso toda a poeira tenha sido calcinada, ou toda a poeira seja reciclada no forno, esse termo se anula. A parte do CKD não-calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada como uma fonte de falsa contagem de CO_2 , pois teria sido contabilizada junto com o total da matéria-prima calcinada, devendo, portanto, haver o desconto correspondente. Pelo *Good Practice Guidance 2000*, sugere-se apenas uma correção de 1,5% a 2% nas emissões calculadas para o clínquer, nas plantas modernas.

- Terceiro termo - emissões de matéria-prima não-energética adicional aos carbonatos que contenha carbono

São necessárias a massa dessa matéria prima não-energética que contenha carbono (M_k), a fração de carbono (X_k) e respectivo fator de emissão (FE_k). Isso significa uma emissão de CO_2 adicional à emissão resultante do processo de descarbonatação.

Segundo o IPCC, as emissões de CO_2 referentes a esse termo podem ser ignoradas se a contribuição desse carbono for menor que $< 5\%$ do calor total dos combustíveis.

3.2.2 Metodologia CSI

- Emissões dos Carbonatos

A partir do conhecimento das frações de CaO e MgO do clínquer, obtida por análises químicas em cada fábrica, chega-se ao fator de emissão relacionado ao processo de descarbonatação. Corresponde ao termo “Emissões dos Carbonatos” da Equação 4 acima e pode ser calculado como a soma dos dois fatores de emissão relacionados aos óxidos:

$$FE_{clínquer} = FE_{CaO} + FE_{MgO}$$

Equação 5

Onde,

$$FE_{CaO} = \underbrace{\text{teor } CaO}_{\text{das análises químicas}} \times \left(\frac{44,0 \text{ g / mol } CO_2}{\underbrace{56,1 \text{ g / mol } CaO}_{0,7843}} \right)$$

Equação 6

$$FE_{MgO} = \underbrace{\text{teor } MgO}_{\text{das análises químicas}} \times \left(\frac{44,0 \text{ g / mol } CO_2}{\underbrace{40,3 \text{ g / mol } MgO}_{1,0918}} \right)$$

Equação 7

Os teores de CaO e MgO são apresentados como fração adimensional.

Basicamente, as duas abordagens - CSI e Tier 3 do IPCC 2006 - convergem para os mesmos valores de emissões, pois são baseados na estequiometria do processo.

Para os casos das plantas que não possuíam dados específicos sobre os teores CaO e MgO contidos no clínquer foi aplicado o FE default recomendado pela metodologia CSI de 0,525 tCO₂/t clínquer, fator este que já possui a correção pelo conteúdo de MgO, sugerido tanto pela CSI (em torno de 2%) quanto pelos *Guidelines 2006* (entre 1 e 2%). Tal valor é semelhante ao do FE de referência utilizado pelo *Good Practice Guidance 2000* de 0,51 tCO₂/t clínquer, se a ele for acrescentada a correção relativa ao conteúdo de MgO (2% x 1,0918 = 0,022 t CO₂ / t clínquer). Em ambos os casos não há correção para CKD incluída.

- Emissões da poeira dos fornos (CKD)

A poeira emitida a partir dos fornos (CKD) é uma poeira que varia de não- calcinada a calcinada. Tal CKD pode ser parcialmente ou totalmente reciclada quando reinjetada no forno de calcinação. A parte do CKD calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada como fonte de emissão adicional de CO₂, pois não é contabilizada pela análise química do clínquer.

- Emissões do carbono orgânico contido na matéria prima

Em adição aos carbonatos, as matérias-primas utilizadas na produção de clínquer usualmente contêm uma pequena fração de carbono orgânico, o qual é convertido em CO₂ durante a queima em sua maior parte. Os teores de carbono orgânico total nas matérias-primas (TOC) podem variar substancialmente devido a diferenças de localização e matérias-primas utilizadas.

Dados compilados pelo CSI indicam valores típicos de carbono orgânico na farinha entre 0,1 - 0,3%. As emissões de CO₂ de carbono orgânico na farinha podem ser quantificadas e registradas pela fábrica. Entretanto, uma vez que sua contribuição no total de emissões é pequena, o default de 11 kg CO₂/t clínquer é sugerido, com base na multiplicação dos seguintes parâmetros da Equação 8 a seguir:

$$FE_{matéria\ orgânica} = Fator \text{ "farinha / clínquer" padrão} \times TOC \times relação \text{ pesos moleculares } CO_2 / C$$

Equação 8

onde,

Fator “farinha/clínquer” padrão: 1,55 t farinha / t clínquer

- TOC - teor de carbono orgânico na farinha: 2 kg TOC /t farinha

- Relação entre os pesos moleculares do CO₂ / C: 3,664 kg CO₂ / kg C

Essa multiplicação assume que todo carbono orgânico é convertido em CO₂.

Ou seja, pela metodologia do CSI, as emissões de CO₂ do carbono contido na matéria prima são calculadas com as informações das próprias fábricas, ou é aplicado o *default* de 11 kg CO₂ / t clínquer conforme a Equação 8 acima.

Neste relatório foi usado o default recomendado pela metodologia CSI e também aqui, as duas abordagens são equivalentes.

3.2.3 Conclusão da comparação entre a metodologia da CSI e a dos *Guidelines 2006*

Do exposto acima, verifica-se que as estimativas de emissões calculadas com as duas metodologias são compatíveis entre si. Quando não se dispuser de dados completos para sua aplicação, será utilizado o FE de 0,536 tCO₂/t clínquer considerando-se o carbono orgânico contido na matéria prima.

4 Dados

Foi feito um esforço para obtenção das séries históricas específicas das plantas para este Segundo Inventário Nacional. Tais dados foram obtidos de forma que as estimativas das emissões pudessem ser calculadas pelo método mais acurado possível.

Os dados coletados compreenderam:

- Os teores de CaO e MgO que compõem a produção do clínquer por planta, por ano¹;
- A quantidade de clínquer produzida, adquirida e vendida por planta, por ano;
- A quantidade de cimento produzida por tipo; e
- As quantidades dos compostos minerais como gesso, calcário, escória, *fly ash*, pozolanas e CKD utilizados para produção do cimento.

Segundo o levantamento, a grande maioria das plantas brasileiras reinjeta o CKD novamente no forno de clínquer, ou seja, não há perdas do sistema e, portanto, não se faz necessária qualquer correção por CKD.

¹ As análises químicas que deram origem aos registros dos teores dos óxidos de cálcio e magnésio no clínquer foram realizadas com diferentes periodicidades, dependendo da planta.

Algumas poucas empresas direcionam o CKD previamente calcinado para misturá-lo ao cimento e fazer um cimento especial com baixo teor de álcalis, prática pouco comum no Brasil. Nesses casos, porém, o fator de emissão do CKD foi considerado no cálculo das emissões nacionais, alcançando um percentual médio variando entre 0,4% e 1,1% das emissões da produção de clínquer, conforme as informações providas pelas plantas que realizam tal mensuração.

4.1 Coleta dos dados

A coleta dos dados foi realizada através de uma consulta do SNIC junto a seus associados na forma de uma planilha utilizada pela metodologia CSI ao longo do período de 1990 a 2005. Foram obtidas séries históricas anuais dos dados já descritos acima para cada planta.

Por motivos de sigilo industrial só serão abertos nesta seção os dados consolidados de produção de clínquer, cimento e o respectivo conteúdo de clínquer no cimento a nível nacional.

Na Tabela 1 são apresentados os dados das produções nacionais de cimento e clínquer.

Tabela 1 - Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento

Ano	Produto		Conteúdo de clínquer no cimento
	Clínquer	Cimento	
	1.000t		t clínquer/t cimento
1990	20.161	25.848	0,780
1991	21.458	27.490	0,781
1992	17.748	23.903	0,742
1993	18.407	24.843	0,741
1994	18.412	25.230	0,730
1995	21.071	28.256	0,746
1996	25.346	34.597	0,733
1997	27.971	38.096	0,734
1998	29.684	39.942	0,743
1999	29.941	40.234	0,744
2000	29.227	39.901	0,732
2001	27.791	39.454	0,704
2002	26.178	38.927	0,672
2003	23.681	35.122	0,674
2004	23.945	35.983	0,665
2005	26.307	38.706	0,680
Varição 1990/2005	30,5%	49,7%	-12,9%

Fonte: SNIC

Na Tabela 2, a seguir, são apresentados os pesos moleculares das substâncias químicas envolvidas no processo de descarbonatação.

Tabela 2 - Massas moleculares

Massas moleculares	g/mol
Carbonato de cálcio - CaCO_3	100,1
Carbonato de magnésio - MgCO_3	84,3
Óxido de cálcio - CaO	56,1
Óxido de magnésio - MgO	40,3
Dióxido de carbono - CO_2	44

Fonte: CSI / WBCSD, 2005

4.2 Tratamento dos dados

Os registros da composição dos óxidos MgO e CaO no clínquer começaram a ser arquivados com maior frequência no Brasil apenas após os anos 2000, quando começou a ser aplicada a metodologia setorial CSI. Assim, as empresas utilizaram os dados obtidos nessas análises mais atualizadas também para os outros anos.

Todos os dados básicos e emissões das plantas individuais foram agregados para apresentação neste Segundo Inventário Nacional.

5 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das emissões de CO₂ provenientes do processo de produção do cimento, que ocorrem dentro do forno de calcinação do clínquer. Tais emissões compreendem o período de 1990 a 2005, conforme a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Emissões de CO₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento

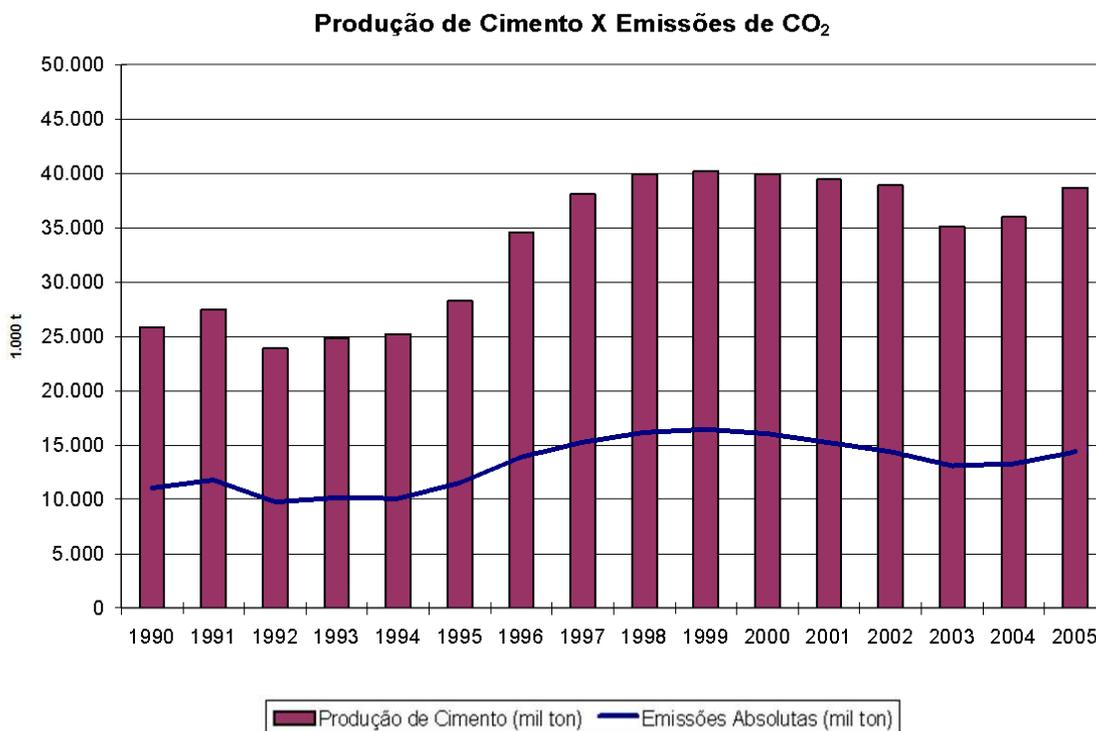
Ano	Emissões de CO ₂	Fator de Emissão Implícito	
		Clínquer	Cimento
	Gg	t CO ₂ / t produto	
1990	11.062	0,549	0,428
1991	11.776	0,549	0,428
1992	9.770	0,550	0,409
1993	10.164	0,552	0,409
1994	10.086	0,548	0,400
1995	11.528	0,547	0,408
1996	13.884	0,548	0,401
1997	15.267	0,546	0,401
1998	16.175	0,545	0,405
1999	16.439	0,549	0,409
2000	16.047	0,549	0,402
2001	15.227	0,548	0,386
2002	14.390	0,550	0,370
2003	13.096	0,553	0,373
2004	13.273	0,554	0,369
2005	14.349	0,545	0,371
Varição 1990-2005	29,7%	-0,6%	-13,4%

Fonte: SNIC

Pela Tabela 3 acima podemos concluir que o fator implícito de emissão de CO₂ para o clínquer pouco variou durante o período analisado, indicando a estabilidade do processo. Já para o cimento, a queda no fator implícito de emissão de CO₂ reflete um uso cada vez menor de clínquer na sua produção, com a substituição de parte do clínquer por adições de outros materiais alternativos. A Figura 13 apresenta as emissões de CO₂ e a produção de cimento no Brasil e a Figura 14 ilustra o uso do clínquer no cimento ao longo dos anos.

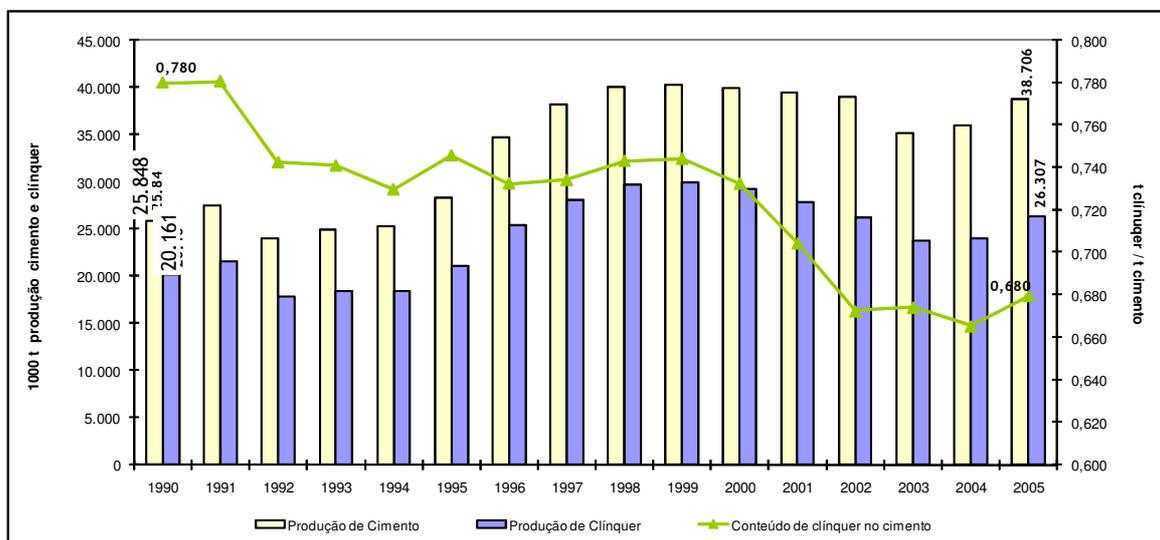
Pela Tabela 3 também pode-se comparar FE CO₂ implícito para clínquer com o fator *default* do *Good Practice Guidance 2000*, de 0,51 tCO₂/t clínquer, que não estima a quantidade de MgO no clínquer, e com o dos *Guidelines 2006*, de 0,532 tCO₂/t clínquer, que inclui essa consideração.

Figura 13 - Produção de cimento e emissões de CO₂ no Brasil



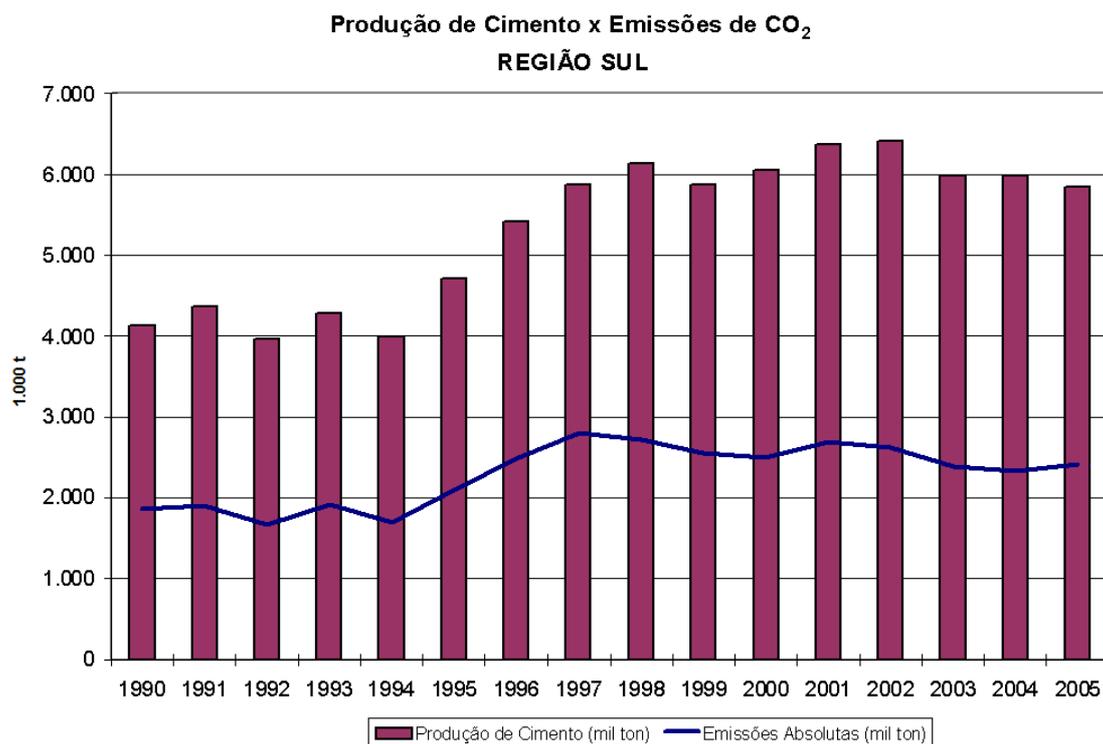
Fonte: SNIC, 2009

Figura 14 - Produção cimento X clínquer e conteúdo de clínquer no cimento



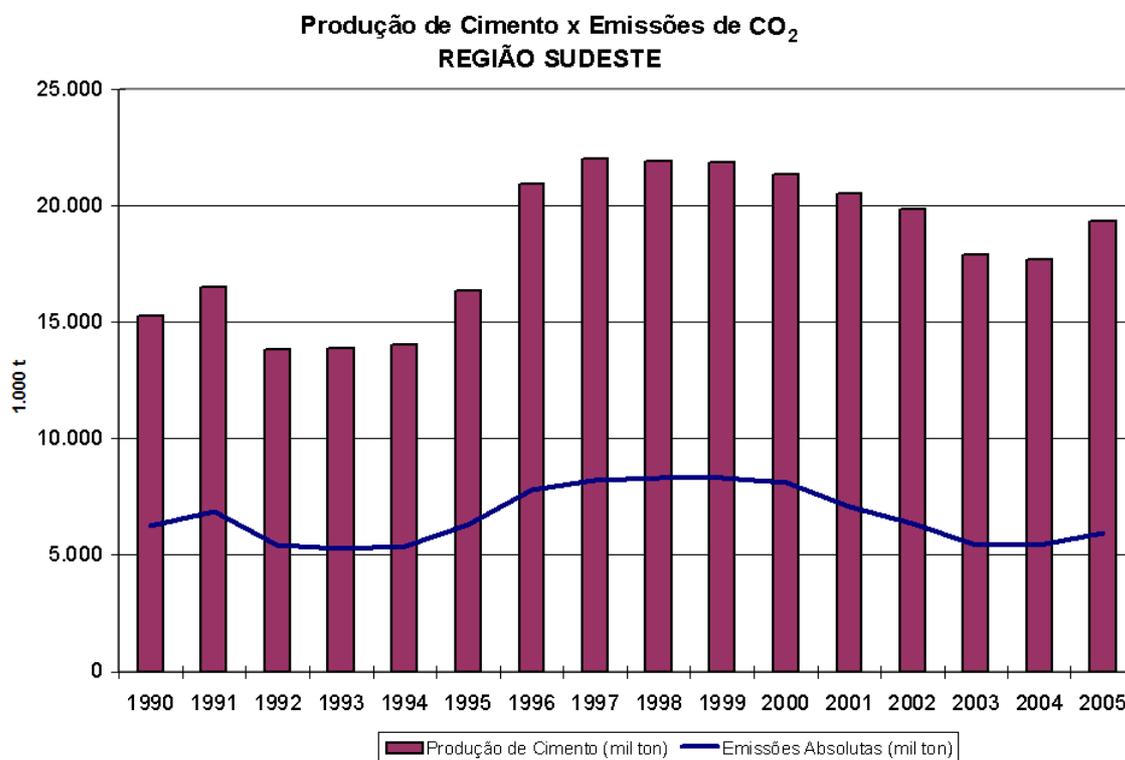
Da Figura 15 até a Figura 18 apresentam-se a evolução da produção de cimento e a das emissões de CO₂ para as diferentes regiões.

Figura 15 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Região Sul



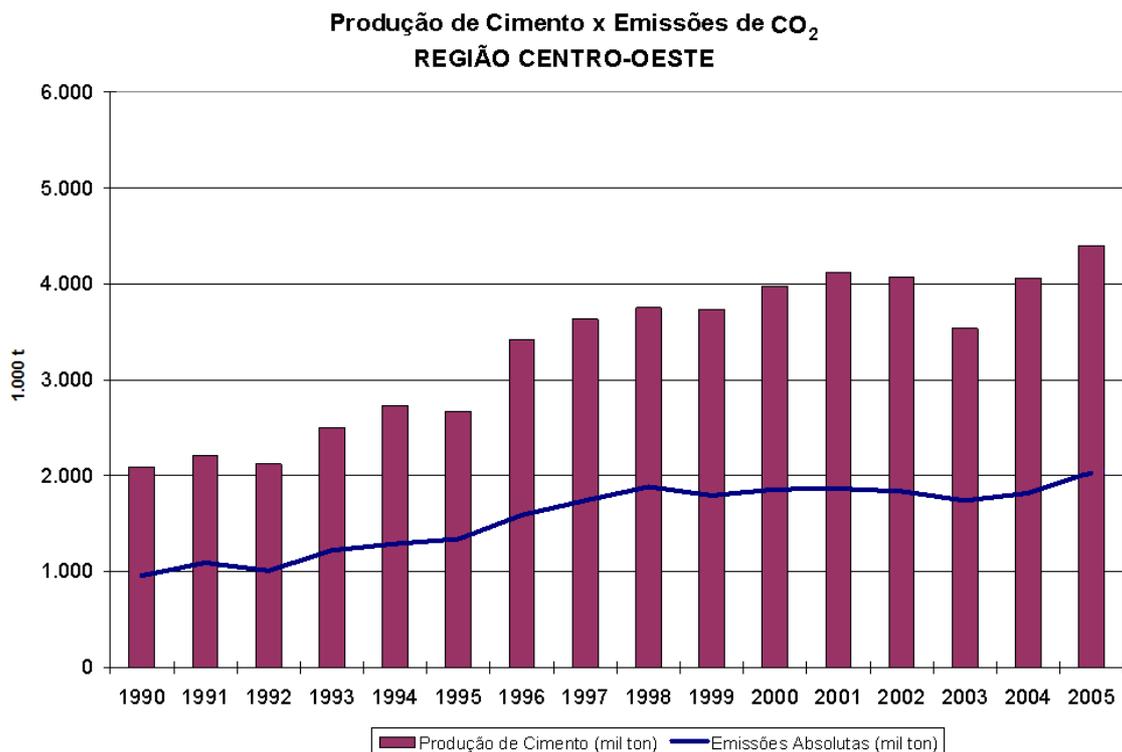
Fonte: SNIC

Figura 16 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Região Sudeste



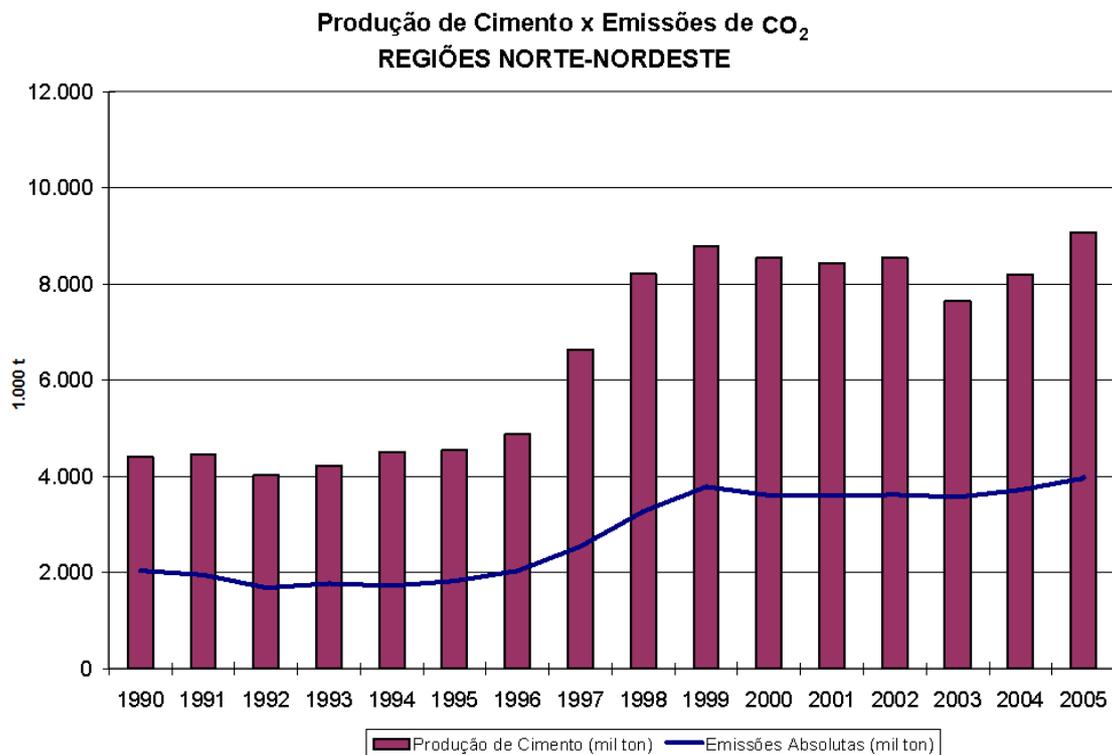
Fonte: SNIC

Figura 17 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Centro-Oeste



Fonte: SNIC

Figura 18 - Produção de Cimento X Emissões de CO₂ Regiões Norte e Nordeste



Fonte: SNIC

6 Diferenças em relação ao Inventário Inicial

No presente inventário foi utilizada uma metodologia mais detalhada, a partir de estudos realizados desde 2001 com base numa metodologia setorial adotada pela *Cement Sustainability Initiative*, CSI e compatível com a abordagem Tier 3 dos *Guidelines 2006*. O trabalho de obtenção dos dados envolveu as diversas plantas nacionais, permitindo um detalhamento pioneiro e, conseqüentemente, emissões melhor estimadas.

7 Referências Bibliográficas

ABCP, 2009. Coprocessamento - Contribuição Efetiva da Indústria do Cimento para a Sustentabilidade. ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT, 1991. NBR 11578 - EB-2138. Cimento Portland Composto - CP II. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT, 1991. NBR 5732 - EB-1. Cimento Portland Comum - CP I. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT, 1991. NBR 5733 - EB-2. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CP V - ARI. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT, 1991. NBR 5735 - EB-208. Cimento Portland de Alto Forno - CP III. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT, 1991. NBR 5736 - EB-758. Cimento Portland Pozolânico - CP IV. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT, 1993. NBR 12989. Cimento Portland Branco. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BATTELLE / WBCSD, 2002. Toward a Sustainable Cement Industry - Substudy 8: Climate Change. Battelle - The Business of Innovation. WBCSD - World Business Council for Sustainable Development.

BEN, 2007. BEN - Balanço Energético Nacional - 2007. EPE - Empresa de Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia.

CEMBUREAU / OFICEMEN, 2008. Producción Sostenible de Cemento - La Recuperación de Residuos como Combustibles y Materias Primas Alternativas en la Industria Cementera. CEMBUREAU - The European Cement Association. Oficemen - Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.

Cembureau, 2009. World Statistical Review 1996-2008 - Cement Production, Trade, Consumption Data

CSI / WBCSD, 2005. CO2 Accounting and Reporting Standards for the Cement Industry - The Cement CO2 Protocol - Version 2.0. CSI - Cement Sustainability Initiative. WBCSD - World Business Council for Sustainable Development.

IEA, 2009. Energy Technology Transitions for Industry. IEA - International Energy Agency.

IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2000. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

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

MCT, 2002. Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais e por Uso de Solventes - Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia.

SÉRGIO L. CENTURIONE, 1993. Influência das Características das Matérias Primas no Processo de Sinterização do Clínquer Portland - Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo.

SNIC, 2005 - Perfil da Indústria do Cimento no Brasil - 2005. SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

SNIC, 2007 - Coprocessamento de Resíduos Industriais (Vídeo) - 2007. SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

SNIC, 2007 - Processo Produtivo do Cimento (Vídeo). Versão 2.0 - 2007. SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

SNIC, 2008 - Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - 2008. SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

VAGNER MARÍNGOLO, 2001. Clínquer Coprocessado: Produto de Tecnologia Integrada para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria do Cimento - Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.

WBCSD / IEA , 2009. Cement Technology Roadmap 2009 - Carbon Emissions Reductions Up To 2050

YUSHIRO KIHARA / SÉRGIO. L. CENTURIONE, 2005. CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. V1, 295 - 322 - Cap. 10 - O Cimento Portland.