

**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 - PRODUÇÃO DE METAIS**

**Ferro e Aço**



**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**  
*LUÍZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS*

**SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**  
*LUÍZ 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 E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

**RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA**

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS  
INDUSTRIAIS - PRODUÇÃO DE METAIS**

**Ferro e Aço**

**Elaborado por:**

Instituto Aço Brasil - IABr e suas associadas

**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](mailto: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](mailto: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 _____	12
1.1 <i>Panorama Internacional</i> _____	12
1.2 <i>Panorama Nacional</i> _____	14
2. Processo Siderúrgico _____	18
3. O Uso da Energia na Produção de Aço _____	25
4. A Eco-eficiência no Processo Siderúrgico _____	27
5. Emissões de CO <sub>2</sub> no Processo Siderúrgico _____	28
6. Metodologia _____	29
6.1 <i>Abrangência do Inventário Realizado</i> _____	31
6.2 <i>Insumos/Fontes Não Considerados</i> _____	31
6.3 <i>Ressalvas</i> _____	32
6.4 <i>Metodologia para Cálculo das Emissões de CO<sub>2</sub></i> _____	34
6.4.1 <i>Equações utilizadas no Cálculo de Emissão de CO<sub>2</sub></i> _____	34
6.4.2 <i>Fatores de Emissão de Carbono</i> _____	35
6.4.3 <i>Coleta dos dados</i> _____	36
6.4.4 <i>Dados</i> _____	36
6.4.5 <i>Tratamento dos Dados</i> _____	37
7. Resultados do Cálculo das Emissões de CO <sub>2</sub> da Indústria do Aço _____	37
8. Diferenças em relação ao Inventário Inicial _____	38
9. Referências Bibliográficas _____	39

## Lista de Tabelas

	<b>Página</b>
<i>Tabela 1 - Produção de Aço - Siderurgia Brasileira e Mundial</i> _____	12
<i>Tabela 2 - Produção de Aço Bruto da América Latina</i> _____	13
<i>Tabela 3 - Distribuição Regional da Produção de Aço Bruto – 2006</i> _____	14
<i>Tabela 4 - Produção de Aço Bruto por Empresa 1998 – 2006</i> _____	16
<i>Tabela 5 - Parque Siderúrgico Brasileiro – 2006</i> _____	16
<i>Tabela 6 - Produção Brasileira de Aço Bruto - 2006</i> _____	17
<i>Tabela 7 - Produção de Ferro-Gusa por Processo – 2006 (10<sup>3</sup> t)</i> _____	17
<i>Tabela 8 - Produção de Aço Bruto por Processo de Aciaria – 2006</i> _____	17
<i>Tabela 9 - Emissões de CO<sub>2</sub> do Processo de Produção de Sinter e de Ferro-gusa e Aço (t)</i> _____	37

## Lista de Figuras

	<b>Página</b>
<i>Figura 1 - Produção mundial total = 1.246,9 milhões toneladas</i> _____	13
<i>Figura 2 - Participação dos Países na Produção de Aço na América Latina</i> _____	14
<i>Figura 3 - Participação dos Estados na Produção de Aço Brasileira em 2006</i> _____	14
<i>Figura 4 - Parque Siderúrgico no Brasil</i> _____	15
<i>Figura 5 – Fluxograma de produção de aço</i> _____	18
<i>Figura 6 - Usinas Integradas</i> _____	20
<i>Figura 7 - Usinas Semi-Integradas (nos Elétrico a Arco)</i> _____	20
<i>Figura 8 - Siderurgia a Carvão Vegetal</i> _____	23
<i>Figura 9 - Consumo Médio de Energia por Tonelada de Aço Bruto (América do Norte, União Européia e Japão, de 1975 a 2004)</i> _____	25
<i>Figura 10 - Emissões de CO<sub>2</sub> no Processo</i> _____	28
<i>Figura 11 – Reaproveitamento dos Gases Siderúrgicos</i> _____	33
<i>Figura 12 – Emissões de CO<sub>2</sub> na sinterização</i> _____	34
<i>Figura 13 - Emissões de CO<sub>2</sub> na produção de ferro e aço</i> _____	34

## 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 um panorama econômico da indústria do aço brasileira, a caracterização do seu processo produtivo e a estimativa das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes do processo de produção do sinter, do ferro-gusa e do aço, para o período 1990-2006.

Na Tabela I são apresentados os dados das produções nacionais de sinter e aço.

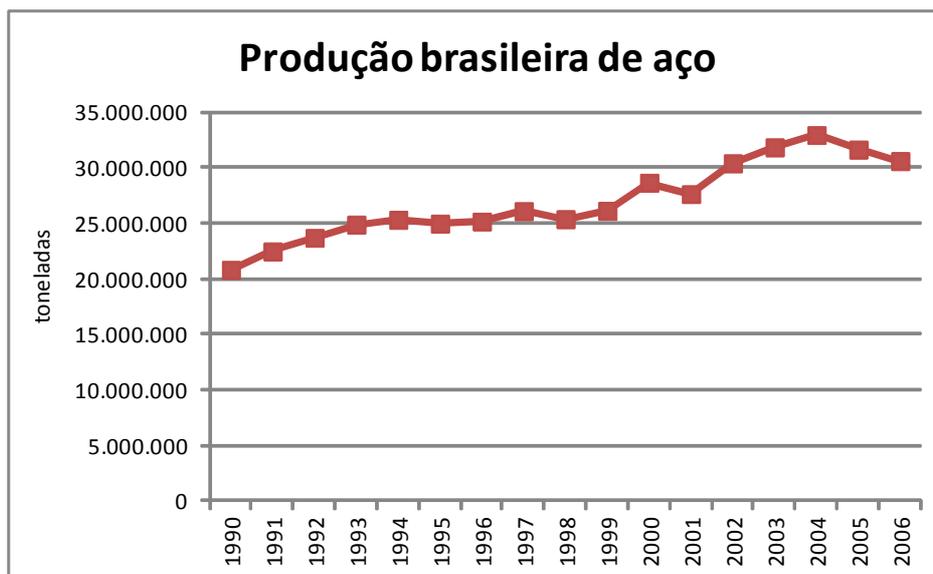
**Tabela I - Produção Nacional de Aço Bruto e Sinter (t)**

Ano	Produção de Aço	Produção de Sinter
1990	20.814.221	21.395.000
1991	22.472.004	23.903.000
1992	23.704.763	24.985.000
1993	24.889.490	24.671.000
1994	25.335.975	25.393.000
1995	24.975.197	25.652.000
1996	25.168.615	25.643.000
1997	26.111.407	25.414.000
1998	25.371.671	24.900.000
1999	26.141.475	22.466.000
2000	28.657.895	25.847.000
2001	27.634.017	25.034.000
2002	30.404.690	27.560.000
2003	31.844.293	28.494.000
2004	32.956.875	29.296.000
2005	31.650.203	28.937.000
2006	30.608.490	27.385.000
Varição 1990/2006	47%	28%

Fonte : IABr

O crescimento da economia brasileira e os grandes investimentos destinados à modernização e ampliação de capacidade do parque siderúrgico nacional impulsionaram o aumento da produção de aço bruto no país, que cresceu 47 % de 1990 a 2006 (Ver Figura I).

Figura I - Evolução da Produção de Aço (t)



Fonte : IABr

Basicamente, há duas rotas tecnológicas para produção de aço, com algumas possíveis variações ou combinações entre elas: produção primária de aço usando minério de ferro e sucata e produção secundária, que utiliza basicamente a sucata.

A produção de aço em uma usina integrada é realizada por meio de vários processos interligados, incluindo a produção de coque, sinter, ferro-gusa e aço, além da produção de cal. A produção de aço também pode ser realizada via forno elétrico a arco (EAF), utilizando sucata de aço como insumo, conhecida como rota semi-integrada.

Os dois tipos de rotas possuem operações de laminação e acabamento, geração de calor e eletricidade, além de manuseio e transporte de resíduos e produtos intermediários.

Este relatório cobre unicamente as emissões de CO<sub>2</sub> da indústria do aço referentes às etapas do processo de produção de sinter, ferro-gusa e aço bruto, de acordo com as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC. Embora as plantas de produção de coque e cal estejam, em geral, dentro das usinas as emissões oriundas destas plantas são computadas, respectivamente, no setor de energia e no setor de produção mineral. Da mesma forma, as emissões provenientes do uso de combustíveis para produção de energia (Centrais Termoeletricas), são consideradas no setor de energia.

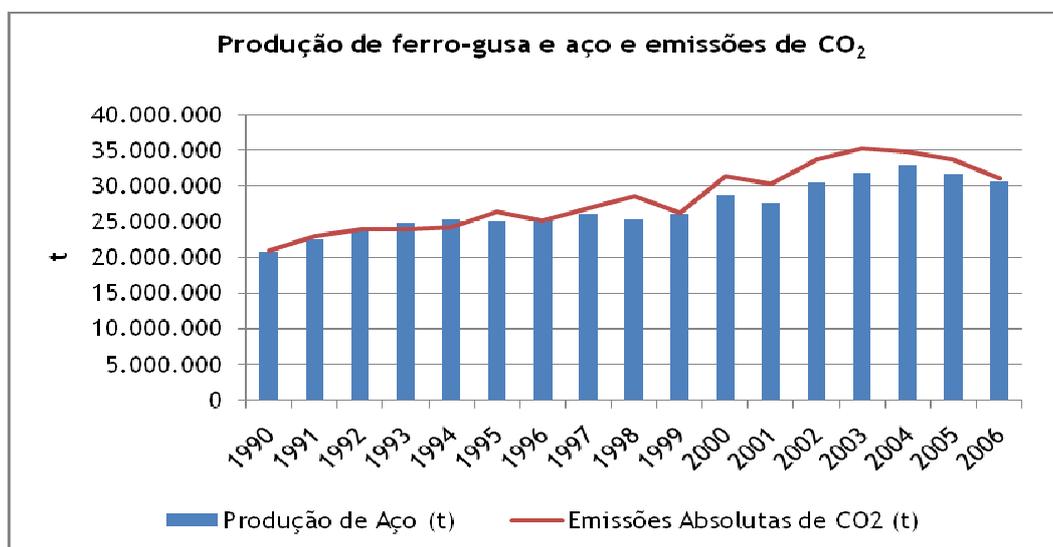
A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte é emitida na forma de CO<sub>2</sub>, seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a queima dos mesmos.

As emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção do sinter, do ferro-gusa e do aço foram estimadas, para o período de 1990 a 2006, utilizando-se a *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006, Guidelines 2006*, conforme apresentado na Tabela II e nas Figuras II e III abaixo.

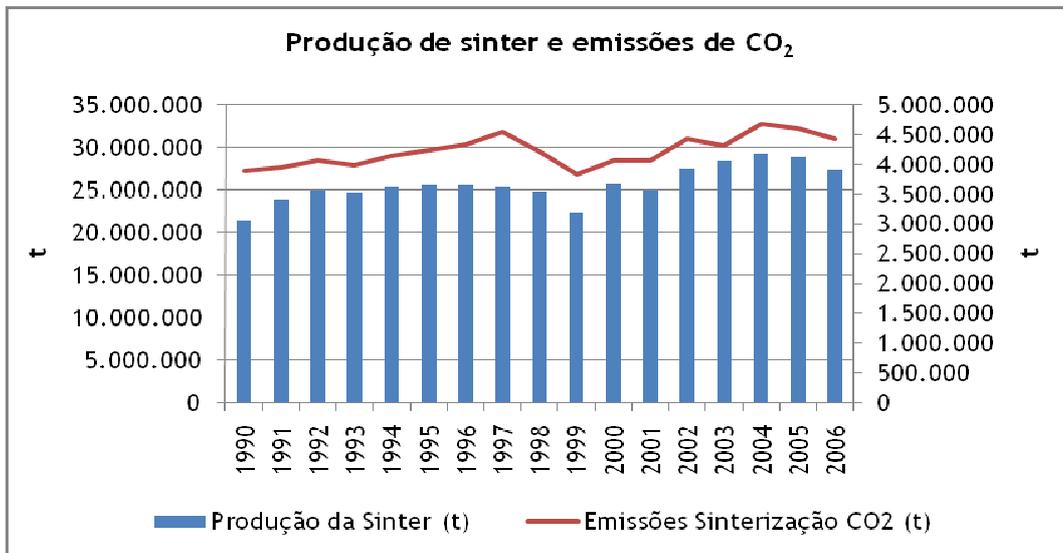
**Tabela II - Emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção de sinter, ferro-gusa e aço**

Processos	1990	1994	2000	2005	Varição 1990/2005
	Gg CO <sub>2</sub>				%
Sinterização	3.888	4.143	4.066	4.610	18,6
Ferro- Gusa e Aço	20.868	24.285	31.371	33.673	61,4
<b>Total siderurgia</b>	<b>24.756</b>	<b>28.428</b>	<b>35.437</b>	<b>38.283</b>	<b>54,6</b>

**Figura II - Evolução da Emissão de CO<sub>2</sub> da Produção de Ferro-gusa e Aço**



Fonte: IABr

Figura III - Evolução da Emissão de CO<sub>2</sub> da Produção de Sinter

Fonte: IABr

Observa-se que as emissões de CO<sub>2</sub> cresceram no período 1990 a 2006, acompanhando o crescimento da produção de aço e sinter no mesmo período.

## 1. Introdução

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de CO<sub>2</sub>, seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a queima dos mesmos.

Para a siderurgia, dentre os gases considerados com potencial de efeito estufa, destaca-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Os demais gases, metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) não são relevantes para esta tipologia industrial.

Até 75% das emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da fabricação de aço ocorrem durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. O percentual restante resulta do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor.

De acordo com as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas das plantas de produção de coque e cal devem ser computadas no setor de energia e no setor de produção mineral, respectivamente. Da mesma forma, as emissões provenientes do uso de combustíveis para produção de energia (Centrais Termoeletricas), são incluídas no setor de energia.

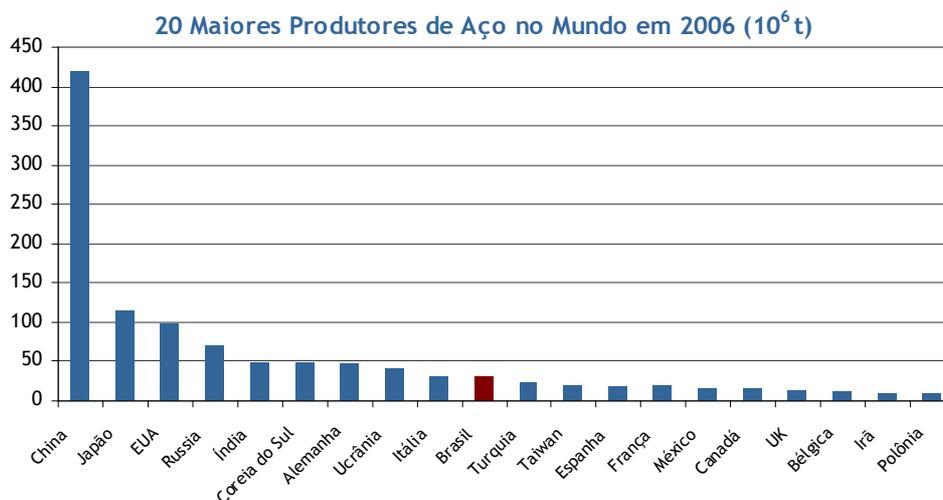
### 1.1 Panorama Internacional

O Brasil ocupou, em 2006, a décima posição no ranking da indústria de aço mundial, com uma produção de 30,9 milhões de toneladas, o que representou aproximadamente 2,5% da produção mundial de aço (ver Tabela 1 e Figura 1).

**Tabela 1 - Produção de Aço - Siderurgia Brasileira e Mundial**

Produção de Aço Bruto	Unidade: 10 <sup>6</sup> t					
	1970	1980	1990	2000	2005	2006
Mundial - (A)	595,4	715,6	770,5	848,9	1.144,3	1.246,9
América Latina - (B)	13,2	28,9	38,2	56,1	62,9	62,7
Brasil - (C)	5,4	15,3	20,8	28,7	31,6	30,9
C/A (%)	0,9	2,1	2,7	3,4	2,8	2,5
C/B (%)	40,9	52,9	54,5	51,1	50,2	49,3
Posição Relativa do Brasil no Mundo	18º	10º	9º	8º	9º	10º

Fonte: WSA/ILAFA/IABr

**Figura 1 - Produção mundial total = 1.246,9 milhões toneladas**

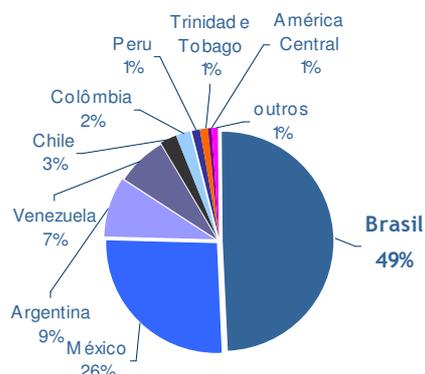
Fonte: WSA/ILAFA/IABr

O Brasil é o maior produtor de aço na América Latina (49,3% da produção total de aço bruto da região), seguido pelo México e Argentina, com 26 e 8,9 %, respectivamente (Tabela 2 e Figura 2).

**Tabela 2 - Produção de Aço Bruto da América Latina**

País	Unidade: 10 <sup>3</sup> t								
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Brasil	25.760	24.996	28.657	26.717	29.604	31.147	32.909	31.610	30.901
México	14.218	15.274	15.631	13.300	14.010	15.178	16.730	16.195	16.313
Argentina	4.216	3.805	4.479	4.113	4.364	5.043	5.133	5.380	5.572
Venezuela	3.553	3.261	3.835	3.813	4.164	3.930	4.561	4.907	4.693
Chile	1.171	1.291	1.352	1.247	1.279	1.377	1.579	1.540	1.607
Colômbia	636	534	660	638	664	669	806	1.007	1.211
Peru	631	559	751	690	611	669	726	790	901
Trinidad e Tobago	777	729	742	667	817	903	815	712	673
América Central	108	156	246	240	265	283	292	255	364
Cuba	283	303	336	270	269	210	193	245	257
Paraguai	56	56	77	71	80	91	116	101	103
Equador	46	53	58	60	69	80	72	82	86
Uruguai	52	45	38	31	34	41	58	64	57
<b>Total</b>	<b>51.507</b>	<b>51.062</b>	<b>56.862</b>	<b>51.857</b>	<b>56.230</b>	<b>59.621</b>	<b>63.990</b>	<b>62.888</b>	<b>62.738</b>

Fonte: WSA/ILAFA/IABr

**Figura 2 - Participação dos Países na Produção de Aço na América Latina**

Fonte: WSA/ILAFIA/IABr

## 1.2 Panorama Nacional

A siderurgia brasileira contribuiu, em 2006, com 1,3 % do produto interno bruto - PIB. Seu faturamento foi da ordem de US\$ 25 bilhões, tendo recolhido US\$ 4,8 bilhões em impostos. Contribuiu positivamente para a balança comercial com US\$ 5,5 bilhões/ano, além de ter gerado 111.557 empregos diretos.

Em 2006, o setor siderúrgico era constituído por 25 usinas, administradas por 13 empresas. Estava presente em 9 estados: Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Ceará.

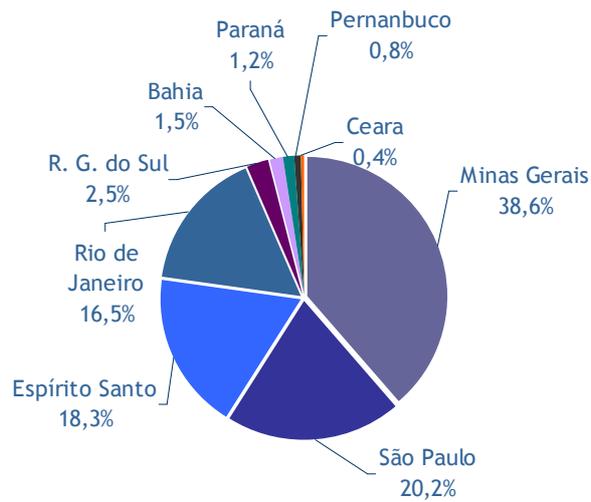
A Tabela 3 apresenta a produção de aço bruto por estado.

**Tabela 3 - Distribuição Regional da Produção de Aço Bruto - 2006**

Estado	10 <sup>3</sup> t	Participação
		(%)
Minas Gerais	11.918	38,6
São Paulo	6.234	20,2
Espírito Santo	5.648	18,3
Rio de Janeiro	5.091	16,5
Rio Grande do Sul	785	2,5
Bahia	475	1,5
Paraná	372	1,2
Pernambuco	252	0,8
Ceará	126	0,4
<b>Brasil</b>	<b>30.901</b>	<b>100,0</b>

Fonte: IABr

**Figura 3 - Participação dos Estados na Produção de Aço Brasileira em 2006**



Fonte: IABr

Figura 4 - Parque Siderúrgico no Brasil

Produção de aço bruto em 2006: 30,9 milhões de toneladas



Fonte: IABr

Apresenta-se, a seguir, na Tabela 4, a produção de aço bruto de cada uma dessas empresas.

**Tabela 4 - Produção de Aço Bruto por Empresa 1998 - 2006**

Empresa	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	Unidade: 10 <sup>3</sup> t								
Aços Villares	625	545	565	508	595	661	816	680	704
ArcelorMittal Aços Longos	2.229	2.300	2.571	2.668	2.827	2.889	3.250	3.272	3.569
ArcelorMittal Inox Brasil	687	786	856	786	709	749	835	753	810
ArcelorMittal Tubarão	3.818	4.414	4.752	4.784	4.904	4.812	4.958	4.850	5.136
CSN	4.708	4.851	4.782	4.048	5.107	5.318	5.518	5.201	3.499
Gerdau	5.294	5.614	6.116	5.826	5.999	6.976	7.284	6.889	6.994
Grupo Usiminas	7.542	5.573	7.184	7.080	8.447	8.621	8.951	8.661	8.770
V&M do Brasil	433	365	519	500	500	551	611	592	659
Villares Metals	(*)	87	95	94	105	113	122	133	122
Votorantim Siderurgia	346	390	393	392	387	421	564	579	638
<b>TOTAL</b>	<b>25.682</b>	<b>24.925</b>	<b>27.833</b>	<b>26.686</b>	<b>29.580</b>	<b>31.111</b>	<b>32.909</b>	<b>31.610</b>	<b>30.901</b>

Nota: Produção de aço em lingotes + produtos de lingotamento contínuo + aço para fundição.

Fonte: IABr

(\*) No ano de 1998 as estatísticas da Villares Metals estão incorporadas às da Aços Villares.

O parque produtor brasileiro conta com 11 usinas integradas e 14 semi-integradas, conforme apresentado na Tabela 5, a seguir.

**Tabela 5 - Parque Siderúrgico Brasileiro - 2006**

Tipo	Produto	Usinas Siderúrgicas
USINAS INTEGRADAS	LAMINADOS PLANOS	ArcelorMittal Inox Brasil (Timóteo/MG), ArcelorMittal Tubarão (Serra /ES), CSN (Volta Redonda /RJ), Grupo Usiminas (Ipatinga /MG e Cubatão /SP)
	LAMINADOS LONGOS	ArcelorMittal Aços Longos (Monlevade/MG), Gerdau Açominas (Ouro Branco/MG), Gerdau Aços Longos (Barão de Cocais/MG, Divinópolis/MG, Usiba/BA), V&M do Brasil (Belo Horizonte /MG)
USINAS SEMI-INTEGRADAS	LAMINADOS LONGOS	Aços Villares (Pindamonhangaba/SP, Mogi das Cruzes/SP), Votorantim Metais (Barra Mansa /RJ), ArcelorMittal Aços Longos (Piracicaba/SP, Cariacica/ES, Juiz de Fora/MG), Gerdau Aços Longos (Açonorte/PE, Cearense/CE, Cosigua/RJ, Guaiá/PR, São Paulo/SP, Riograndense/RS), Gerdau Aços Especiais (Piratini/RS), Villares Metals (SP)

Fonte: IABr

A produção brasileira de aço bruto por grau de integração é mostrada na Tabela 6 a seguir. Na Tabela 7 e na Tabela 8 a produção brasileira está apresentada por tipo de processamento de ferro gusa e por tipo de aciaria, respectivamente.

**Tabela 6 - Produção Brasileira de Aço Bruto - 2006**

Configuração Técnica	10 <sup>3</sup> t	Participação
		(%)
Integradas	24.280	78,6
Semi-Integradas	6.621	21,4
<b>TOTAL</b>	<b>30.901</b>	<b>100,0</b>

Fonte: IABr

**Tabela 7 - Produção de Ferro-Gusa por Processo - 2006 (10<sup>3</sup> t)**

Ano	Alto-forno		Total
	Coque	Carvão Vegetal	
2006	21.276	11.176	32.452

Fonte: IABr

**Tabela 8 - Produção de Aço Bruto por Processo de Aciaria - 2006**

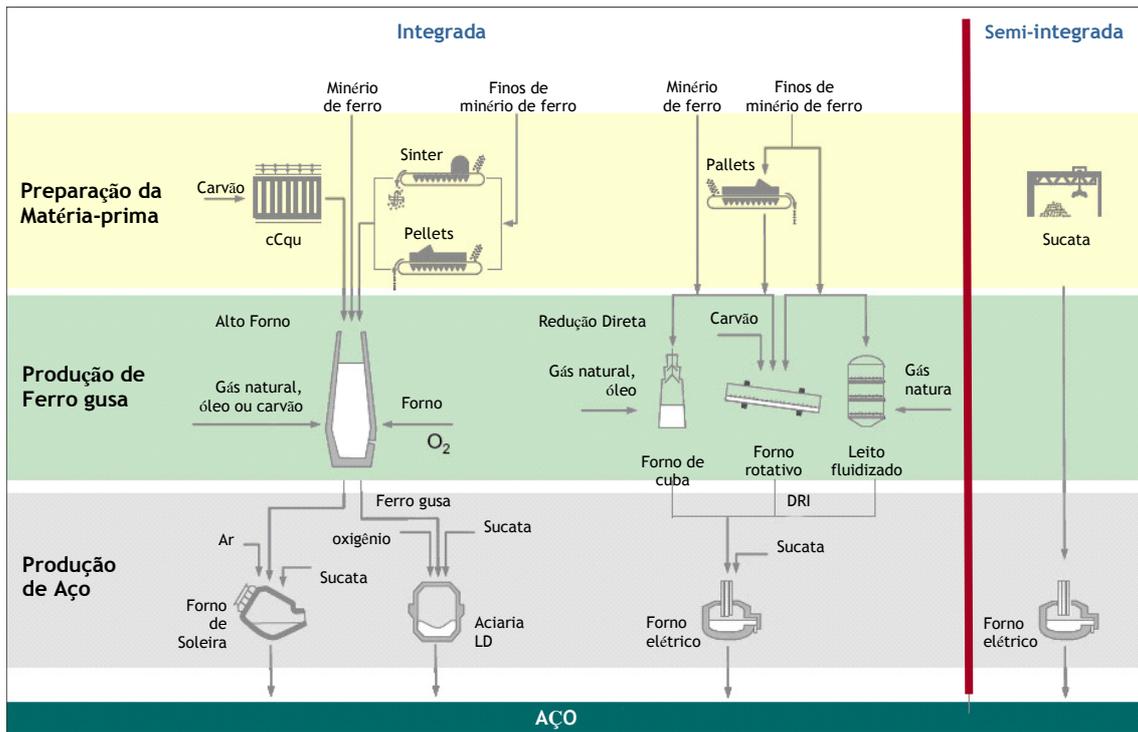
Processo de Aciaria	10 <sup>3</sup> t	Participação
		(%)
Sopro de Oxigênio (BOF)	22.821	73,9
Arco Elétrico (EAF)	7.541	24,4
EOF	539	1,7
<b>TOTAL</b>	<b>30.901</b>	<b>100,0</b>

Fonte: IABr

## 2. Processo Siderúrgico

O fluxograma simplificado de produção de aço via rotas integradas e semi-integradas é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de produção de aço



Fonte: IABr

A produção de aço via rota integrada é atualmente responsável por aproximadamente 75% da produção mundial de aço e consiste basicamente na redução de óxido de ferro a ferro-gusa e posterior refino para reduzir o teor de carbono transformando em aço propriamente dito. Os principais insumos são o minério de ferro, carvão, calcário e aço reciclado (sucata ferrosa). As principais rotas de produção primária no mundo são:

- Alto-forno + Aciaria LD: 66%
- Alto-forno + Forno de Soleira Aberta (*forno Siemens-Martin*): 3%
- Redução direta (DR) + Forno Elétrico à Arco (EAF): 6%
- Forno Elétrico à Arco com base em sucata (EAF): 25%

A produção via rota semi-integrada é obtida por meio da reciclagem do aço em forno elétrico a arco (EAF). Os principais insumos são sucata e eletricidade. A produção de aço via rota semi-integrada depende diretamente da disponibilidade de sucata e esta, por sua vez, está diretamente relacionada ao consumo de aço de cada país.

A produção de aço por meio da rota tecnológica de Forno de Soleira Aberta (OHF) é bastante pequena e estes tipos de plantas estão sendo eliminadas devido às suas desvantagens ambientais e econômicas. No Brasil esta rota não é mais utilizada.

O setor fabrica uma grande variedade de produtos, como por exemplo, placas, lingotes, chapas, bobinas, fio máquina, vergalhão, e folhas de metálicas, os quais são posteriormente utilizados por diversos setores consumidores como o automotivo, linha branca, construção civil, naval, etc.

No Brasil são empregadas as seguintes rotas tecnológicas para produção de aço:

- Integradas: Alto-forno + Aciaria LD
- Redução direta: Redução direta + Forno a arco elétrico (EAF)
- Semi- Integradas: Forno a arco elétrico (EAF)

Em termos gerais o processo siderúrgico pode ser agrupado em quatro grandes etapas:

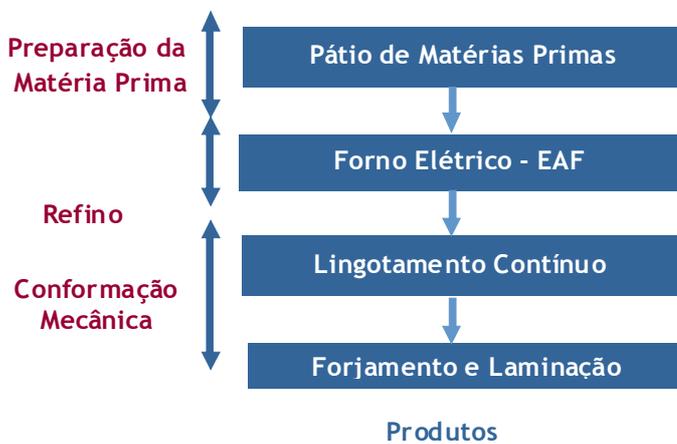
- Preparação do Minério de Ferro e do Carvão
- Redução do Minério de Ferro
- Refino
- Conformação Mecânica

Os fluxos de produção de usinas siderúrgicas, com as principais etapas, encontram-se apresentados na Figura 6 e na Figura 7.

Figura 6 - Usinas Integradas



Figura 7 - Usinas Semi-Integradas (nos Elétrico a Arco)



Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada uma destas quatro etapas:

- **Preparação do Minério de Ferro e do Carvão**

Os finos de minério de ferro passam por um processo de aglomeração em plantas de sinterização ou pelletização, originando o sinter ou as pelotas que são posteriormente utilizados na carga do alto-forno.

O carvão mineral contém compostos voláteis indesejáveis ao processo produção do aço. Para retirada destes voláteis, o carvão é aquecido nos fornos da coqueria e após ter sido convertido em coque é utilizado no alto-forno como redutor do minério de ferro.

A coqueificação gera o gás de coqueria que posteriormente é usado como combustível para aquecimento da própria coqueria, sendo ainda utilizado como insumo energético nos altos-fornos e fornos de reaquecimento. A partir do gás de coqueria algumas usinas extraem alcatrão, óleo BTX, amônia, etc.

Para a produção do carvão vegetal, da mesma forma que o carvão mineral, a madeira passa por um processo de carbonização em fornos de alvenaria para retirada de compostos indesejáveis. Todo esse processo resulta na formação do carvão vegetal como termo-redutor.

- **Redução do Minério de Ferro**

É nessa fase em que se dá a remoção do oxigênio contido no óxido de ferro, através de um agente redutor, seja o coque, ou o carvão vegetal, ou o gás natural, dependendo da rota utilizada. Esta remoção ocorre nos altos-fornos a coque ou carvão vegetal dependendo do tipo de carvão empregado ou fornos de redução direta quando se utiliza o gás natural.

O produto resultante dessa etapa é ferro-gusa (liga de ferro e carbono) que ainda contém algumas impurezas que necessitam ser retiradas, tais como fósforo, enxofre e sílica. No caso da redução direta, com gás natural, o produto resultante é o ferro esponja.

#### *Altos-fornos a coque*

Nos altos-fornos ocorre a redução do minério de ferro, por meio da gaseificação do coque, que age como agente redutor ao mesmo tempo em que fornece a energia

necessária ao processo. Resulta desta etapa o ferro-gusa que é uma mistura de ferro, carbono e manganês, além de pequenas quantidades de silício, potássio e enxofre. Há também a geração de subprodutos, tais como: escórias (óxidos de cálcio, silício e magnésio) e gás de alto-forno.

O gás de alto-forno cujo poder calorífico pode ser reaproveitado é empregado no pré-aquecimento do ar a ser injetado pelas ventaneiras do alto-forno e como combustível em outras etapas do processo.

Este gás também pode ser utilizado para geração de energia elétrica através da conversão da energia física do gás com alta pressão utilizando uma turbina de expansão (Turbina de Topo).

No alto-forno também são utilizados outros insumos energéticos auxiliares, tais como: óleos combustíveis, alcatrão e poder calorífico inferior - PCI (finos de carvão), etc.

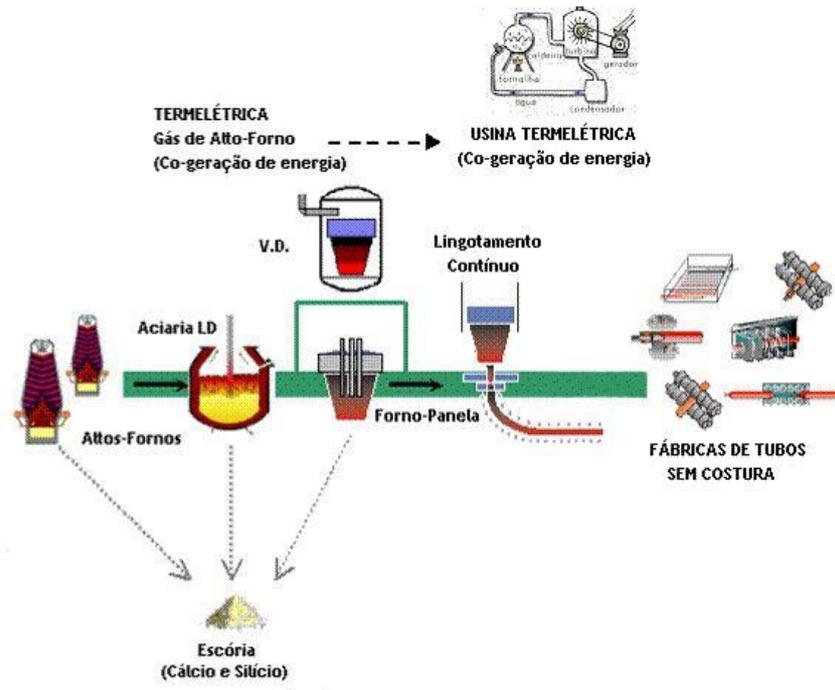
#### *Altos-fornos a carvão vegetal*

No Brasil o carvão vegetal é utilizado como agente redutor em substituição ao carvão mineral. No restante do mundo este redutor é muito pouco utilizado. (Ver Figura 8)

Nas usinas integradas com esta rota, as coquearias são substituídas por uma planta de carvoejamento que usa madeira para a produção de carvão.

Os altos-fornos que utilizam carvão vegetal têm menor capacidade de produção que aqueles que usam coque. As características dos altos-fornos a carvão vegetal ainda são fatores limitantes a uma maior utilização desta rota no país.

Figura 8 - Siderurgia a Carvão Vegetal



Fonte : VM Tubes

### Redução direta

No processo de redução direta os minérios de ferro empregados são basicamente: hematita e magnetita. Esses óxidos metálicos sofrem redução no estado sólido e o produto desse processo é o ferro esponja. O ferro esponja é o minério de ferro do qual foi retirado, em grande parte, o oxigênio combinado.

Nesta rota alternativa os redutores utilizados são o hidrogênio, o monóxido de carbono, certas misturas desses dois gases e o carbono. A viabilidade desta rota depende da disponibilidade de gás natural e do seu preço.

- **Refino**

É nas aciarias que o gusa é transformado em aço. As tecnologias de refino mais empregadas são os conversores a oxigênio (BOF - Basic Oxygen Furnace), sendo o mais utilizado o da tecnologia LD (Linz-Donawitz) e o arco elétrico (Fornos Elétricos à Arco - FEA). Esta etapa visa à diminuição do teor de carbono e das impurezas do ferro-gusa até os valores desejados para os diferentes tipos de aço a ser produzido.

Os subprodutos da produção do aço são: a escória e gás de aciaria. O gás de aciaria, assim como os outros gases siderúrgicos também pode ser reaproveitado em outras etapas do processo.

O consumo energético da aciaria é insignificante quando comparado com as necessidades de todo o processo de produção de aço, ficando em torno de 3,5% do consumo total de energia.

- **Conformação Mecânica**

O aço produzido nas aciarias vaza em lingoteiras, solidificando-se na forma de lingotes ou em máquinas de lingotamento contínuo, onde é cortado já na forma de produtos semi-acabados (placas ou tarugos).

Os produtos resultantes do lingotamento convencional ou contínuo são transformados mecanicamente, através da laminação, forjamento e outros processos mecânicos, em grande variedade de produtos tais como: bobinas, barras, chapas, vergalhões, fio-máquinas, perfis, etc.

O aço líquido, depois de solidificado, precisa ser reaquecido em fornos para serem posteriormente laminados. O aquecimento é realizado em fornos de reaquecimento que podem utilizar gases siderúrgicos, ou óleo combustível ou gás natural como combustível.

Os lingotes, placas ou tarugos após terem sido aquecidos uniformemente sem provocar superaquecimento são enviados para a laminação.

Na laminação ocorre o processo de transformação mecânica que consiste na passagem do material metálico entre dois cilindros giratórios, com redução progressiva da espessura ou transformação do material no perfil desejado por efeito do esforço de compressão exercido pelos cilindros. Esta operação tem um consumo energético baixo, pois há apenas a conformação mecânica do produto.

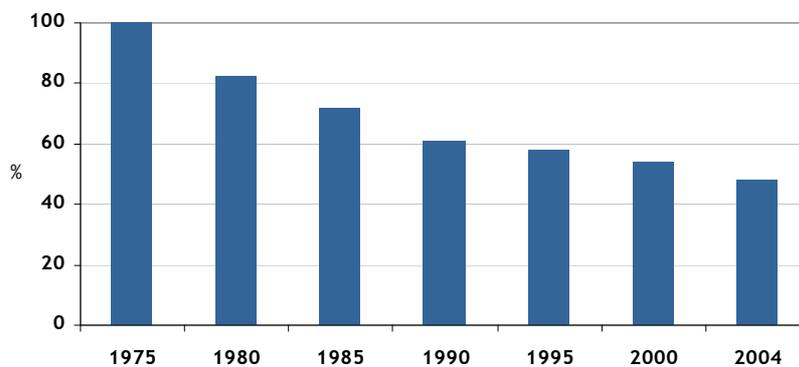
Os produtos laminados a frio são geralmente recozidos antes das etapas finais do processamento ou embarque.

Os fornos de recozimento são equipamentos que normalmente utilizam gases siderúrgicos (gás de coqueria e alto-forno), óleo combustível e gás natural como energético.

### 3. O Uso da Energia na Produção de Aço

A produção de aço é intensiva em energia. No entanto, as tecnologias de controle de processo garantem o uso eficiente de energia e sua recuperação para posterior reutilização, sempre que possível. Melhorias em eficiência energética levaram a uma redução de cerca de 50% da energia necessária para produzir uma tonelada de aço bruto, de 1975 aos dias atuais, conforme pode ser observado na Figura 9.

**Figura 9** - Consumo Médio de Energia por Tonelada de Aço Bruto (America do Norte, União Européia e Japão, de 1975 a 2004)



Fonte: WSA

#### Energia e Custos

O consumo de energia constitui parcela significativa do custo de produção de aço, de 20% a 40% dependendo do país.

Portanto, a melhoria na eficiência energética leva a uma redução dos custos de produção e, conseqüentemente, melhoria da competitividade das empresas.

A eficiência energética em usinas siderúrgicas pode variar em função da rota de produção, do tipo de minério de ferro e do carvão utilizado, do mix de produtos siderúrgicos produzidos, da tecnologia empregada, das condições de operação e da eficiência no consumo de matérias primas.

A energia é também consumida nas etapas de mineração, preparação e transporte das matérias primas representando cerca de 8% da energia necessária para produzir aço.

Aproximadamente 95% da energia necessária para operação de uma usina siderúrgica integrada é proveniente de combustíveis sólidos (principalmente carvão), 3 a 4% de combustíveis gasosos e 1 a 2% de combustíveis líquidos.

## **Medidas adotadas pela siderurgia para melhorar a eficiência energética**

Muitas empresas siderúrgicas no mundo e, especialmente, no Brasil, já estão operando próximo aos menores níveis de emissões de CO<sub>2</sub> possíveis com a atual tecnologia.

Mesmo assim, a indústria do aço tem sido cada vez mais pró-ativa e vem permanentemente realizando ações visando à redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Algumas destas iniciativas estão descritas a seguir:

### **1. Pesquisa e desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para reduzir radicalmente os níveis das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera**

Com os esforços coordenados pela WSA - *World Steel Association*, empresas siderúrgicas e associações siderúrgicas no mundo todo estão financiando pesquisas em cooperação com universidades, institutos de pesquisa e outras indústrias para identificar e desenvolver novas abordagens para a produção do aço e estocagem de CO<sub>2</sub>. Os objetivos são bastante ambiciosos, porém de longo prazo. Novas tecnologias somente estarão disponíveis daqui a 20 anos.

### **2. Otimização e maximização da reciclagem da sucata de aço**

O aço é o material mais reciclado no mundo, em termos de quantidade. Porém, muito mais pode ser feito para assegurar que todo o aço ao fim da sua vida útil (*end-of-life*) seja reciclado. Isto depende da colaboração dos governos locais para coleta e segregação e incentivos econômicos.

### **3. Maximizando o valor dos subprodutos da indústria do aço**

O uso dos subprodutos da indústria do aço, como por exemplo, a escória, pode economizar energia e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em outros processos. A escória, que no passado era desperdiçada, agora é amplamente usada na indústria cimenteira, reduzindo assim dramaticamente as emissões de CO<sub>2</sub> na produção de cimento.

Igualmente, as escórias de aciaria quando utilizadas na construção civil possuem vantagens sobre matérias primas naturais como brita e argila.

### **4. O uso da nova geração de aços melhora a eficiência energética dos produtos em aço**

A indústria siderúrgica continua a desenvolver novos tipos de aço para diversas aplicações. Por exemplo, novos aços elétricos foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a eficiência

energética dos motores elétricos. Da mesma forma, novos aços automotivos, com alta resistência, permitiram grandes reduções no peso dos carros, sem, no entanto comprometer sua segurança. Novos produtos de aço continuam sendo desenvolvidos para aplicações que contribuem para redução total das emissões de CO<sub>2</sub> demonstrando que o aço é parte inerente da solução.

#### **4. A Eco-eficiência no Processo Siderúrgico**

Os avanços tecnológicos incorporados ao parque produtor trouxeram aprimoramento à qualidade do aço e contribuíram expressivamente para a melhoria da ecoeficiência do setor.

Os novos processos produtivos destacam-se por minimizar a geração de efluentes e de emissões em cada linha de produção, ao mesmo tempo em que reduzem a demanda por recursos naturais não renováveis, como o minério de ferro, os combustíveis fósseis e a água.

A energia elétrica tem sensível repercussão na estrutura de custos do aço e, portanto, a auto-geração e redução de consumo são indicadores de eficiência relevantes na operação das usinas. Como decorrência desta preocupação, a siderurgia tem, em 2006, uma capacidade de auto-geração de 479 MW.

A eficiência do uso de energia é objeto de continuada atenção dos processos e aprimoramento tecnológico, tais como: o lingotamento contínuo, injeção de finos de carvão, aproveitamento dos gases, troca de combustíveis, pré-aquecimento de sucata e uso de gusa líquido nos fornos elétricos.

O consumo específico de energia (MWh/t) reduziu de 0,594 MWh/t em 1990 para 0,482 MWh/t em 2006. Esta redução, tomando-se como base o ano de 2006, representou uma economia de 2.699.302 MWh.

Há vários exemplos de processos e medidas ecoeficientes que vêm sendo adotados pelo setor:

- O consumo de óleo combustível no processo caiu de 18 kg/t em 1990 para 4,3 kg/t no ano de 2006;

Os finos de carvão, anteriormente pouco utilizados, hoje contribuem progressivamente para redução do consumo de coque. Em 1996 empregavam-se 96 kg de finos por tonelada de gusa, nível que se elevou, no ano de 2006, para 115 kg por tonelada.

## 5. Emissões de CO<sub>2</sub> no Processo Siderúrgico

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Posteriormente uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte é emitida na forma de CO<sub>2</sub>.

Segundo o *World Steel Association*, o processo de produção de ferro-gusa (coqueria, sinterização e alto-forno) consome de 60 a 70% do total da energia consumida em usinas integradas, sendo este consumo devido principalmente ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro-gusa.

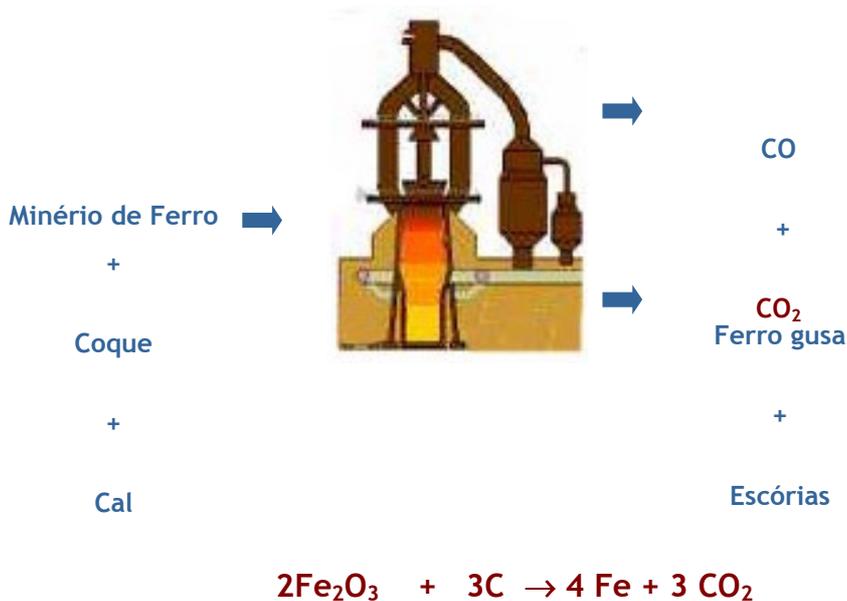
No processo siderúrgico as outras fontes de carbono, além do carvão/coque, podem ser óleo diesel, óleo combustível, GLP e gás natural.

As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução e, conseqüentemente, consomem carbono basicamente para fins de ajustes metalúrgicos e energéticos.

Segundo o WSA, o carbono consumido em usinas integradas é de cerca de 550 kg/tab (toneladas de aço bruto) enquanto que o consumo de carbono em usinas a forno elétrico a arco é de cerca de 130 kg/tab, ou seja, cerca de 1/4 do carbono consumido nas usinas integradas.

A maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> em uma usina siderúrgica integrada resulta da produção de ferro-gusa no alto-forno (Ver Figura 10)

**Figura 10** - Emissões de CO<sub>2</sub> no Processo



O consumo energético das usinas siderúrgicas brasileiras situa-se em torno de 21 GJ/t aço. Este número está próximo à média mundial e nos coloca ao nível das usinas siderúrgicas da Europa e do Japão. (Fonte: IABr e WSA).

### **Gases Siderúrgicos (Subproduto)**

Os gases produzidos nos fornos de coque (GOC), no alto-forno (GAF) e na aciaria (forno a oxigênio - BOF) (LDG) podem ser reutilizados em outras etapas do processo, substituindo combustíveis fósseis ou produzindo energia elétrica para uso interno ou externo. Eles fornecem grande parte da energia necessária para a produção de aço.

## **6. Metodologia**

As Diretrizes para Preparação de Comunicações Nacionais de Países Não Incluídos no Anexo I da Convenção sobre Mudança do Clima 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*).

Segundo ainda estas diretrizes os países são encorajados a utilizar o Guia de Boas Práticas publicado pelo IPCC (*Good Practice Guidance 2000*).

O "Inventário de Gases de Efeito Estufa do Setor Siderúrgico Brasileiro referente ao Período de 1990 a 2006" foi baseado na metodologia descrita no *IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (GNGGI).

As metodologias de cálculo adotadas neste inventário basearam-se nos seguintes documentos:

- *IPCC (2000) Good Practice Guidance and Uncertainly Management in National Greenhouse Gas Inventories*
- *IPCC (2006) - Volume 3 - Industrial Processes and Product Use (IPPU), Chapter 4 - Metal Industry Emissions*

O *Guidelines 1996* e o *Good Practice Guidance 2000* apresentam três abordagens metodológicas (*Tier 1, 2 e 3*) para cálculo das emissões de gases de efeito estufa que variam em função do nível de complexidade e detalhamento (existência de dados), são eles:

- *Tier 1*: Abordagem de fatores de emissão médios com base na produção;
- *Tier 2*: Abordagem do balanço de massa e

- *Tier 3*: Uso de fatores de emissão medidos nas empresas

O emprego de metodologias mais ou menos complexas está condicionado ao tipo e à existência de dados representativos e específicos da atividade objeto do inventário. Para as estimativas das emissões de uma determinada atividade industrial, segundo o nível de menor precisão (*Tier 1*) utilizam-se dados de produção da atividade e fatores de emissão *default* estabelecidos pelo IPCC, enquanto para o nível de maior precisão (*Tier 3*) empregam-se dados de medição de CO<sub>2</sub> específicos de cada atividade.

Os *Tiers 2* e *3* são os métodos considerados mais acurados. Para este inventário utilizou-se a metodologia do *Tier 2*. Cabe ainda mencionar que este inventário foi apoiado, em alguns casos, pela metodologia setorial da indústria do aço, elaborado pelo WSA - *Worldsteel Association*.

De acordo com o IPCC (2006), as emissões geradas durante o processo industrial ou durante a utilização dos seus produtos, ou ainda aquela gerada no uso não energético de combustíveis fósseis, são enquadradas no setor conhecido como processos industriais e usos de produtos (IPPU).

Já as emissões oriundas de equipamentos de geração de energia elétrica ou dos equipamentos que fornecem calor para um determinado processo industrial são contabilizadas no setor de Energia.

Este inventário foi realizado segundo as diretrizes sugeridas pelo IPCC e com base nas seguintes premissas, no sentido de evitar a dupla contagem:

- ***Processo de Fabricação do Sinter e do Ferro e Aço - Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)***

Emissões que ocorrem durante o consumo de carbono necessário ao processo de produção do ferro e aço (agente redutor na oxidação de ferro), ou seja, emissões dos seguintes processos da indústria siderúrgica: sinterização, altos-fornos e aciarias.

- ***Processo de Fabricação da Cal - Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)***

Emissões que ocorrem durante a calcinação do calcário não foram incluídas, pois são contabilizadas no setor mineral.

- ***Geração de Energia Térmica e Elétrica - Setor de Energia***

Emissões provenientes de processos de combustão para geração de energia térmica e elétrica para uso na própria indústria. Inclui: o consumo de combustíveis em caldeiras, aquecedores, queimadores, centrais termelétricas e fornos de reaquecimento e tratamento térmico.

Não foram incluídas, pois são contabilizadas no setor energia:

- ***Produção do Coque - Setor de Energia***

Emissões provenientes da produção de coque não foram incluídas, pois são contabilizadas no setor energia.

## **6.1 Abrangência do Inventário Realizado**

O inventário contemplou exclusivamente as informações referentes às usinas produtoras de aço associadas ao Instituto Aço Brasil, correspondendo a quase 100% do total da produção de aço do país no período solicitado. Não foram consideradas as empresas CBAço e MWL Brasil, pois estas usinas já não pertencem mais ao quadro de associadas deste Instituto.

O inventário abrangeu os processos de produção de aço, via rota integrada (coque e carvão vegetal), rota semi-integrada e redução direta.

## **6.2 Insumos/Fontes Não Considerados**

Não foram consideradas para este inventário as seguintes fontes de emissões:

- **Carvão Vegetal**

As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da biomassa não foram contabilizadas como formadoras do efeito estufa (o CO<sub>2</sub> é extraído da atmosfera na forma de fotossíntese pelas florestas plantadas para produção de carvão).

- **Gusa**

As emissões provenientes da matéria prima gusa comprada pela siderúrgica não foram contabilizadas pois não consta na metodologia utilizada.

- **Pelotização**

A pelletização é uma etapa alternativa à sinterização e visa à aglomeração do minério de ferro na forma de pelotas.

A fabricação de sinter ocorre na própria planta que produz ferro e aço, mas as pelotas são produzidas pela indústria de processamento mineral. Portanto, a energia consumida na produção de pelotas é contabilizada por esta indústria.

- **Outras Fontes após a Aciaria Elétrica (Downstream)**

Em função do *mix* de produto produzido pelas usinas siderúrgicas, as empresas apresentam diversidade em seus processos produtivos downstream (após a etapa da aciaria).

De forma a evitar distorções e homogeneizar os conceitos, mantendo as diretrizes da metodologia do IPCC para siderurgia, optou-se por incluir os insumos/matérias primas utilizados até a aciaria.

Cabe ressaltar que, as emissões que ocorrem nas etapas subsequentes à aciaria são consideradas insignificantes perante as emissões do processo produtivo apresentados neste relatório.

Por esta razão foram excluídos os insumos / combustíveis usados na:

- Preparação de produtos semi-acabados;
- Preparação de produtos acabados;
- Manuseio e transporte de matérias primas, produtos intermediários e resíduos.

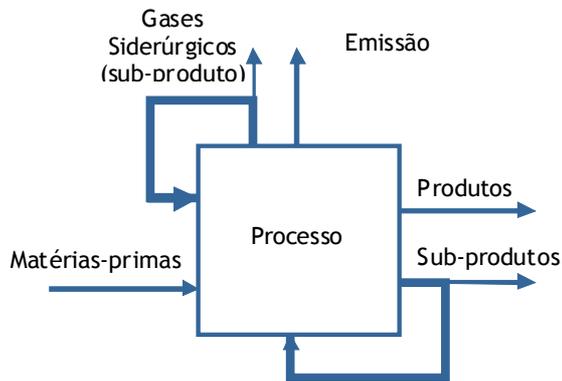
- **Eletricidade - Suprimento Externo**

As emissões indiretas oriundas da eletricidade adquirida de concessionárias também não foram computadas, pois estas são computadas no setor de energia.

## 6.3 Ressalvas

### Reaproveitamento dos Gases Siderúrgicos

Os gases siderúrgicos (BFG, COG e LDG) têm seu poder calorífico aproveitado nas diversas unidades de uma siderúrgica integrada, sendo consumidos para fornecer calor aos fornos ou para a produção de vapor e geração de energia elétrica a partir das centrais termelétricas das usinas, como mostra a Figura 11.

**Figura 11** - Reaproveitamento dos Gases Siderúrgicos

A produção de energia elétrica a partir da combustão dos gases siderúrgicos evita a sua queima em *flares* e permite melhor aproveitamento dos recursos naturais, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis em várias etapas do processo siderúrgico.

As emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da combustão de gases siderúrgicos não foram consideradas pois constitui dupla contagem. O carbono contido nestes gases já foi contabilizado durante a entrada de matérias primas.

### Reciclagem de Subprodutos Siderúrgicos

Todas as indústrias produtoras de aço investem em iniciativas para reduzir as emissões de gases causadores de efeito estufa, dentre elas, a reciclagem e uso de resíduos e subprodutos, interna e externamente às empresas.

A metodologia IPPC não inclui créditos com venda de subprodutos siderúrgicos como exemplo a escória de alto-forno para a indústria de cimento.

## 6.4 Metodologia para Cálculo das Emissões de CO<sub>2</sub>

### 6.4.1 Equações utilizadas no Cálculo de Emissão de CO<sub>2</sub>

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> da sinterização e da produção de ferro e aço foram adotadas as equações oferecidas pela metodologia do IPCC (2006) apresentadas na Figura 12 e na Figura 13 respectivamente.

**Figura 12 - Emissões de CO<sub>2</sub> na sinterização**

**EQUATION 4.10**  
**CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM SINTER PRODUCTION (TIER 2)**

$$E_{CO_2, non-energy} = \left[ CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BG \cdot C_{BG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - SOG \cdot C_{SOG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

E <sub>CO<sub>2</sub>, não energia</sub>	Emissões de CO <sub>2</sub> a serem relatadas no setor de Processos Industriais, em toneladas
CBR	Quantidade de coque fino adquirida ou produzida no local usada para a sinterização, em toneladas
COG	Quantidade de gás de coqueria consumido na sinterização, m <sup>3</sup> (ou outra unidade, como toneladas ou GJ. A conversão da unidade deve ser coerente com o Volume 2: Energia)
BG	Quantidade de gás de altos-fornos consumido na sinterização, m <sup>3</sup> (ou outra unidade, como toneladas ou GJ. A conversão da unidade deve ser coerente com o Volume 2: Energia)
PM <sub>a</sub>	Quantidade de outros insumos que não aqueles listados como termos distintos, tais como gás natural e óleo combustível consumidos para a produção de coque e sinter na produção integrada de coque e em instalações de produção de ferro e aço, em toneladas
SOG	Quantidade de gás puro oriundo de processo da sinterização transferido externamente para instalações de produção de ferro e aço ou outras instalações, m <sup>3</sup> (ou outra unidade, tais como toneladas ou GJ. A conversão da unidade deve ser coerente com o Volume 2: Energia)
Cx	Teor de carbono do insumo ou produto x, em toneladas C/(unidade de material x) [por exemplo, toneladas C/tonelada]

**Figura 13 - Emissões de CO<sub>2</sub> na produção de ferro e aço**

**EQUATION 4.9**  
**CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM IRON & STEEL PRODUCTION (TIER 2)**

$$E_{CO_2, non-energy} = \left[ PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE} + \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BG \cdot C_{BG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

E <sub>CO<sub>2</sub>, não energia</sub>	Emissões de CO <sub>2</sub> a serem relatadas no setor de Processos Industriais, em toneladas
PC	Quantidade de coque consumida na produção de ferro e aço (não incluindo a produção de sinter), em toneladas

COB <sub>a</sub>	Quantidade de co-produto <i>a</i> da coqueria na própria unidade consumida nos altos-fornos, em toneladas
CI	Quantidade de carvão mineral injetado diretamente no alto-forno, em toneladas
L	Quantidade de calcário consumido na produção de ferro e aço, em toneladas
D	Quantidade de dolomita consumida na produção de ferro e aço, em toneladas
CE	Quantidade de eletrodos de carbono consumidos em EAFs, em toneladas
Ob	Quantidade de outro carbonato ou insumo <i>b</i> , consumido na produção de ferro e aço, como sinter ou resíduo de plástico, em toneladas
COG	Quantidade de gás de coqueria consumida em altos-fornos na produção de ferro e aço, m <sup>3</sup> (ou outra unidade, como toneladas ou GJ. A conversão da unidade deve ser coerente com o Volume 2: Energia)
S	Quantidade de aço produzido, em toneladas
IP	Quantidade da produção de ferro não convertida em aço, em toneladas
BG	Quantidade de gás de alto-forno transferido para local externo, m <sup>3</sup> (ou outra unidade, como toneladas ou GJ. A conversão da unidade deve ser coerente com o Volume 2: Energia)
C <sub>x</sub>	Teor de carbono do insumo ou produto <i>x</i> , em toneladas C/(unidade de material <i>x</i> ) [por exemplo, toneladas C/tonelada]

#### 6.4.2 Fatores de Emissão de Carbono

Os fatores de emissão de carbono utilizados, em geral, neste inventário foram os recomendados pelo WSA - *World Steel Association* e expressam a quantidade de carbono por unidade de massa ou energia do insumo, a fim de se ter a mesma base para toda a siderurgia, garantindo a similaridade com os valores médios mundiais avaliados pelas entidades setoriais.

Quanto ao cálculo para a rota semi-integrada, optou-se por utilizar o valor recomendado pelo IPCC para sucata, para evitar distorções no resultado, geradas pelo uso fator de emissão do WSA na fórmula.

Isto porque a metodologia do IPCC não prevê a matéria prima gusa, parte integrante da carga metálica das aciarias elétricas instaladas no Brasil. Ao não considerar esta componente do cálculo pode-se chegar a resultados negativos quando se utiliza o fator de emissão do WSA, significativamente mais baixo que o estabelecido pelo IPCC.

Entretanto, a manutenção do fator de emissão do IPCC na rota semi integrada não altera significativamente a emissão total da siderurgia.

### **6.4.3 Coleta dos dados**

A elaboração do inventário de emissões de CO<sub>2</sub> do setor siderúrgico teve início com a definição de premissas, ou seja, princípios e critérios que garantissem maior uniformidade e consistência no inventário.

Algumas terminologias usadas pelas empresas siderúrgicas variam de empresa para empresa, especialmente nos subprodutos e resíduos. Por isso para o *input* e *output* das planilhas de coleta de dados foi necessário adotar uma terminologia padrão de forma a evitar variações regionais ou entre grupos empresariais na coleta de dados.

A fim de permitir a comparação de resultados o IABr desenvolveu um modelo de planilha padrão para coleta de dados de cada sub-sistema do processo siderúrgico.

Cada subsistema contém uma lista de *input* e *output*, previamente validada por um grupo de especialistas da siderurgia e do Ministério de Ciência e Tecnologia.

### **6.4.4 Dados**

Conforme a metodologia adotada, as emissões de CO<sub>2</sub> de fontes da produção de ferro e aço foram calculadas utilizando dados da atividade (dados de consumo) e fatores de emissão adequados.

Foram utilizados dados obtidos diretamente das empresas para os seguintes insumos/ matérias primas / produtos:

- Quantidade de aço e sinter produzido
- Quantidade de fundentes consumidos
- Quantidade de agente redutor consumido
- Quantidade de subprodutos produzidos
- Quantidade de sucata consumida

Sempre que possível, buscou-se utilizar os dados de consumo de matérias primas/insumos. Nos casos em que a informação não estava disponível, foram utilizados os dados de aquisição destes materiais. Adotou-se este critério a fim de se eliminar variação de estoque e/ou de alterações de processos, como por exemplo, paradas acidentais e variações em função dos cenários econômicos. No entanto, na ausência dos dados efetivos destas matérias primas/insumos,

utilizaram-se fatores de específicos médios derivados de seus processos ou extrapolação de anos adjacentes.

#### 6.4.5 Tratamento dos Dados

Por motivos de sigilo industrial e para facilitar a análise dos dados são apresentados os valores de emissões consolidados setorialmente.

## 7. Resultados do Cálculo das Emissões de CO<sub>2</sub> da Indústria do Aço

Em relação ao o período de 1990 a 2006, a Tabela 9 a seguir, apresenta os resultados das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do processo de produção do sinter e da produção de ferro e aço. Ressalta-se que esses resultados não incluem emissões do uso de energia e de uso de calcário e dolomita.

**Tabela 9 - Emissões de CO<sub>2</sub> do Processo de Produção de Sinter e de Ferro-gusa e Aço (t)**

Ano	Sinter	Ferro-gusa e Aço
1990	3.888.406	20.867.727
1991	3.954.746	23.018.875
1992	4.062.722	23.833.499
1993	3.984.399	23.831.450
1994	4.142.544	24.285.373
1995	4.253.044	26.433.027
1996	4.335.440	25.078.731
1997	4.555.847	26.810.054
1998	4.217.416	28.549.654
1999	3.844.902	26.239.587
2000	4.065.893	31.370.903
2001	4.074.159	30.208.974
2002	4.435.168	33.780.399
2003	4.325.327	35.236.406
2004	4.680.937	34.864.163
2005	4.609.902	33.672.710
2006	4.433.614	31.027.009
<b>Variação 1990/2006</b>	<b>14%</b>	<b>49%</b>

Observa-se que as emissões de CO<sub>2</sub> cresceram no período 1990 a 2006, acompanhando o crescimento da produção de aço e sinter no mesmo período.

## **8. Diferenças em relação ao Inventário Inicial**

É importante ressaltar as particularidades e premissas adotadas na elaboração deste inventário de fontes de emissão de CO<sub>2</sub> em relação ao anterior (período de 1990 a 1994), uma vez que as metodologias utilizadas foram revisadas ao longo dos últimos anos, como forma de tratar a questão o mais próximo possível da realidade.

A metodologia de 2006, utilizada neste inventário, é mais abrangente, pois inclui algumas fontes de carbono que não haviam sido consideradas no inventário anterior.

Conseqüentemente, como resultado final, os valores estimados para as emissões de CO<sub>2</sub> são superiores àqueles apresentados no Primeiro Inventário.

## 9. Referências Bibliográficas

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. **Principles for a Steel Industry Methodology for Reporting Carbon-Related Energy Sources and Raw Materials.** [s.l.], 2006.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Energia no Setor Siderúrgico.** Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **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.** Brasília, 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol Core Module Guidance, Direct Emissions from Iron & Steel Production.** [s.l.], 2003.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade.** Rio de Janeiro, 2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **História da Siderurgia: a Siderurgia no Brasil.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Processo Siderúrgico.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Sustentabilidade.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico.** Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico.** Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico.** Rio de Janeiro, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.** [s.l.: s.n.], 2000

\_\_\_\_\_. **Metal Industry Emissions.** IN:\_\_\_\_\_. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** .[s.l.:s.n.], 2006. V.3, cap.4.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Indicators for Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions: A Technology Perspective.** [s.l.], 2007

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. **Carbon dioxide and the steel industry.** Belgica, 1993.

Modesto, Marcelo. **Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: Setor Siderúrgico.** Brasília: CNI, 2009.

NATURAL RESOURCES CANADA. **Benchmarking Energy Intensity in the Canadian Steel Industry.** Canadá, 2007.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **An Initial View on Methodologies for Emission Baselines: Iron And Steel Case Study.** [s.l.], 2006.

\_\_\_\_\_. **Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions.** [s.l.], 2006.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 1991, Ipatinga. **Anais....** São Paulo: ABM, 1991.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 1992, Belo Horizonte. **Anais....** São Paulo: ABM, 1992.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 1993, Serra (ES). **Anais....** São Paulo: ABM, 1993.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 16.,1994, São Paulo. **Anais....** São Paulo: ABM, 1994.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 17.,1995, Volta Redonda(RJ). **Anais....** São Paulo: ABM, 1995.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 18.,1996, São Paulo. **Anais....** São Paulo: ABM, 1996.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 19.,1997, Belo Horizonte. **Anais....** São Paulo: ABM, 1997.

SEMINÁRIO BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 20.,1997, São Paulo. **Anais....** São Paulo: ABM, 1998.

SILVEIRA, I.L. **A Emissão de GEE na Siderurgia Brasileira e de Minas Gerais.** Belo Horizonte: ATMA,[ s.d.]

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Calculating Greenhouse Gas Emissions from Iron and Steel Production.** [s.l.], 2008.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Sustainability Report: Of the World Steel Industry.** Bélgica, 2008.

\_\_\_\_\_. **A Policy to Reduce Steel-related Greenhouse Gas Emissions.** Belgica, 2008.

\_\_\_\_\_. **Fact Sheet - Energy.** Belgica, 2008.

\_\_\_\_\_. **CO<sub>2</sub> Emissions Data Collection - User Guide.** Belgica, 2008.