

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

**RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA**

**SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**Produção de Metais**

**TERCEIRO 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**

**Elaborado por:**

Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima (CGMC/SEPED/MCTI)

**Colaboração:**

Instituto Aço Brasil - IABr e suas associadas

Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

Associação Brasileira de Alumínio - ABAL

Rima Industrial S.A.

**Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação  
2015**

# Índice

	Página
Apresentação .....	8
Sumário Executivo .....	9
1. Produção de ferro e aço.....	17
1.1 Processo siderúrgico - usinas integradas e semi-integradas .....	18
1.2 Processo siderúrgico - usinas independentes .....	23
1.3 Metodologia para cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> - ferro-gusa e aço .....	24
1.4 Metodologia para cálculo das emissões dos gases não-CO <sub>2</sub> .....	25
1.5 Dados.....	26
1.6 Resultados da produção de ferro e aço.....	28
1.7 Diferenças em relação ao Segundo Inventário .....	29
2. Produção de ferroligas.....	30
2.1 Processo siderúrgico de ferroligas.....	30
2.2 Metodologia para cálculo das emissões da produção de ferroligas.....	31
2.3 Dados.....	31
2.4 Resultados da produção de ferroligas .....	32
2.5 Diferenças em relação ao Segundo Inventário .....	33
3. Produção de alumínio.....	34
3.1 Processo produtivo do alumínio.....	36
3.2 Metodologia para cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> - alumínio.....	39
3.3 Metodologia para Cálculo das Emissões de PFCs - Alumínio .....	43
3.4 Dados.....	45
3.4.1 Coleta dos dados .....	46
3.5 Resultados da produção de alumínio.....	49
3.6 Diferenças em relação ao Segundo Inventário .....	54
4. Produção de magnésio.....	55
4.1 Dados.....	55

4.2	<i>Resultados da produção de magnésio</i> .....	55
4.3	<i>Diferenças em relação ao Segundo Inventário</i> .....	55
5.	<i>Produção de outros metais não-ferrosos</i> .....	56
5.1	<i>Processo produtivo dos outros não ferrosos</i> .....	57
5.2	<i>Metodologia para cálculo das emissões da produção dos outros não ferrosos</i> .....	57
5.3	<i>Dados</i> .....	57
5.4	<i>Resultados da produção de outros não ferrosos</i> .....	59
5.5	<i>Diferenças em relação ao Segundo Inventário</i> .....	59
6.	<i>Referências bibliográficas</i> .....	60

## Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 - Produção de Aço Bruto por Empresa em 2010.....</i>	17
<i>Tabela 2 – Fatores de emissão para CO<sub>2</sub> e fração oxidada para os combustíveis usados.....</i>	25
<i>Tabela 3 – Fatores de emissão para gases não-CO<sub>2</sub> para os combustíveis usados em fornos no setor industrial.....</i>	26
<i>Tabela 4 – Consumo de combustíveis para ferro-gusa e aço no BEN.....</i>	27
<i>Tabela 5 – Fatores de conversão para tep médio.....</i>	27
<i>Tabela 6 – Produção nacional de ferro-gusa e aço.....</i>	28
<i>Tabela 7 - Emissões do processo de produção de ferro-gusa e aço.....</i>	29
<i>Tabela 8– Produção brasileira de ferroligas.....</i>	30
<i>Tabela 9 – Consumos de combustíveis redutores informados no Balanço Energético Nacional (BEN) para a produção de ferroligas.....</i>	32
<i>Tabela 10 - Emissões do processo de produção de ferroligas.....</i>	33
<i>Tabela 11 - Valores default para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode – Tier 2.....</i>	42
<i>Tabela 12 - Valores default para parâmetros da tecnologia Soderberg – Tier 2.....</i>	43
<i>Tabela 13 – Fatores de emissão default para CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> na produção de alumínio primário – Tier1.....</i>	44
<i>Tabela 14 – Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de CF<sub>4</sub> e relação C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> – Tier2.....</i>	45
<i>Tabela 15 - Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> e PFCs por planta para o período 1990-2007.....</i>	46
<i>Tabela 16 – Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia.....</i>	47
<i>Tabela 17 – Consumo de energéticos na produção do alumínio.....</i>	48
<i>Tabela 18 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	49
<i>Tabela 19 - FE implícito CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	50
<i>Tabela 20 - Emissões de CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	51
<i>Tabela 21 - FE implícito CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	52
<i>Tabela 22 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	53
<i>Tabela 23 - FE implícito C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.....</i>	54
<i>Tabela 24 – Cenário da produção mundial e brasileira de metais não-ferrosos em 2010 (exceto alumínio e magnésio).....</i>	56
<i>Tabela 25 – Combustíveis fósseis utilizados na produção de metais não ferrosos.....</i>	56
<i>Tabela 26 – Consumo de energéticos redutores informados no Balanço Energético Nacional para produção de todos não ferrosos.....</i>	58
<i>Tabela 27 – Emissões pela produção de metais não ferrosos (exceto CO<sub>2</sub> e PFCs do alumínio).....</i>	59

## Lista de Figuras

	<b>Página</b>
<i>Figura 1 – Fluxograma de produção de aço.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 - Usinas Integradas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 - Usinas Semi-Integradas (nos Elétrico a Arco).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 - Siderurgia a Carvão Vegetal.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 – Produção pela tecnologia Soderberg, por planta.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6 – Produção pela tecnologia Prebaked Anode, por planta.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7– Diagrama de uma célula de redução.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8 – Fluxograma do processo de produção de alumínio com cubas com anodos e tecnologia Soderberg</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9- Fluxograma do processo de produção de alumínio com a tecnologia de cubas com anodos pré-cozidos (Prebaked) .....</i>	<i>38</i>

## Lista de Equações

	<b>Página</b>
<i>Equação 1 – Emissões de CO<sub>2</sub> pela produção de ferro-gusa e aço.....</i>	24
<i>Equação 2 – Emissões de gás pelo uso do combustível redutor em cada processo de produção.....</i>	25
<i>Equação 3 - Transformação da alumina em alumínio metálico .....</i>	36
<i>Equação 4 – Emissões de CO<sub>2</sub> na produção de alumínio – Tier 1.....</i>	39
<i>Equação 5 – Emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo do anodo pré-cozido .....</i>	40
<i>Equação 6 - Emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão de voláteis no piche .....</i>	41
<i>Equação 7 - Emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento.....</i>	41
<i>Equação 8 - Emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de pasta .....</i>	42
<i>Equação 9 - Emissões de CF<sub>4</sub> pela produção de alumínio – Tier 1 .....</i>	43
<i>Equação 10 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> pela produção de alumínio – Tier 1 .....</i>	43
<i>Equação 11 - Emissões de CF<sub>4</sub> a partir da produção de alumínio – Tier 2 .....</i>	44
<i>Equação 12 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> pela produção de alumínio – Tier 2 .....</i>	45

## Apresentação

O Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros 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, por sua vez, é um dos principais compromissos de todos os países signatários da Convenção de Mudança do Clima.

A responsabilidade pela elaboração da Comunicação Nacional é do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por ser este Ministério o responsável pela coordenação da implementação da Convenção de Mudança do Clima no Brasil, conforme divisão de trabalho no âmbito do Governo Federal estabelecida em 1992. A Terceira 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 os anos de 2006 a 2010. Em relação aos anos de 1990 a 2005, o presente Inventário atualiza as informações apresentadas no Segundo Inventário.

Como diretriz técnica básica, foram utilizados os documentos elaborados pelo 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 o documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2006.

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

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

Todos os Relatórios de Referência foram submetidos a uma consulta pública, com amplo envolvimento de especialistas que não participaram diretamente na elaboração do Inventário, 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 as emissões de gases de efeito estufa (GEE) direto - dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e indireto - monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos voláteis não-metânicos (NMVOC) por produção de metais no Brasil, incluindo as indústrias de ferro-gusa e aço, ferroligas, alumínio, magnésio e outros não ferrosos. Não estão incluídas as emissões que se relacionam à calcinação do calcário e da dolomita, quando for o caso, pois essas são objeto de outro relatório<sup>1</sup>.

Para a produção da metalurgia são apresentadas estimativas das emissões provenientes dos combustíveis usados como redutores. Na produção de alumínio também são estimadas as emissões de perfluorcarbono (PFCs, perfluormetano - CF<sub>4</sub> e perfluoretano - C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), da redução eletrolítica durante o efeito anódico. Para a produção de magnésio são apresentadas as emissões de SF<sub>6</sub> provenientes do uso deste gás como “gás de cobertura”.

A indústria brasileira vem crescendo economicamente, mesmo sendo afetada pela crise internacional. Em 2010 o PIB do setor siderúrgico em relação ao ano anterior cresceu 20% (Tabela I), com participação no PIB brasileiro de 2,4%. A participação do setor no PIB industrial alcançou quase 9%.

**Tabela I - PIB da metalurgia, da indústria e do Brasil**

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2009	2010
<b>PIB da Metalurgia</b>	17,2	27,3	40,9	36,2	37,1	40,8	32,2	48,2	57,8
<b>PIB da Indústria</b>	189,8	321,3	455,2	448,8	487,7	507,3	470,0	601,3	667,2
<b>PIB do Brasil</b>	495,6	800,7	1.133,7	1.207,8	1.325,4	1.534,4	1.694,9	2.241,1	2.409,2
<b>Metalurgia (% da Indústria)</b>	9,1	8,5	9,0	8,1	7,6	8,0	6,9	8,0	8,7
<b>Metalurgia (% do Brasil)</b>	3,5	3,4	3,6	3,0	2,8	2,7	1,9	2,2	2,4

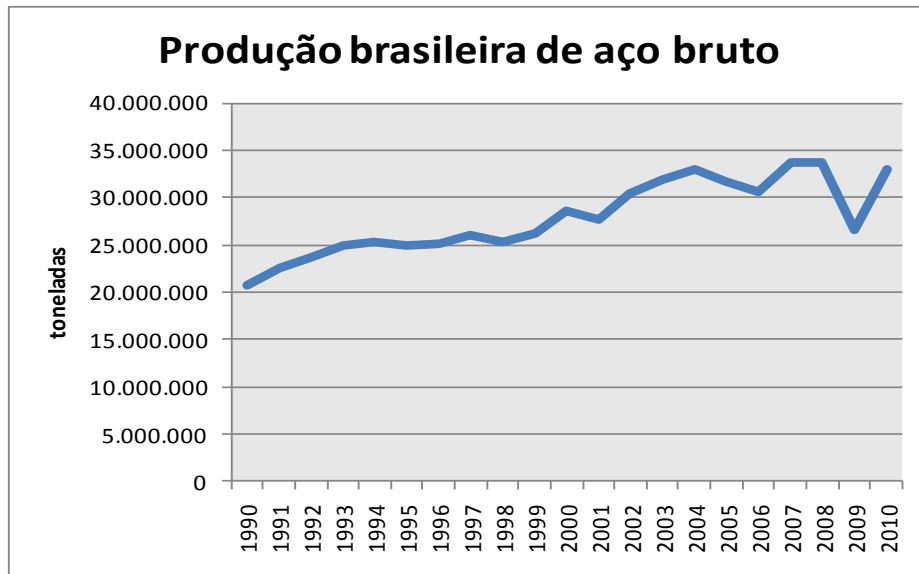
Unid: 10<sup>9</sup> US\$

Fonte: MME, 2012a

No cenário mundial, o Brasil é o 9º maior produtor de aço, ficando atrás de China, Japão, Estados Unidos, Índia, Rússia, Coreia do Sul, Alemanha e Ucrânia. Em 2010, o Brasil produziu 32,9 milhões de toneladas de aço, a maior produção da América Latina e 2,2% da produção mundial, que foi de 1.499 milhões de toneladas (MME, 2013). 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 58 % de 1990 a 2010, apesar da queda verificada na produção em 2009 por causa da crise internacional (Figura I).

<sup>1</sup> Relatório de Referência “Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais - Produtos Minerais”.

Figura I - Evolução da produção de aço bruto de 1990 a 2010

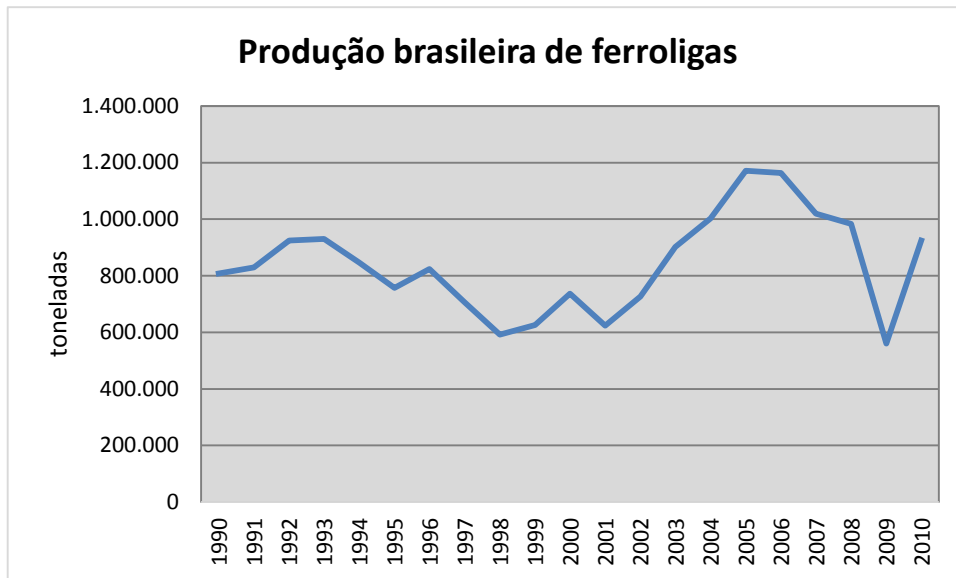


De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), em combinação com informações do setor, a produção de ferro-gusa e aço por usinas integradas e semi-integradas utiliza, como redutores, os combustíveis fósseis: coque de petróleo, carvão vapor com poder calorífico maior ou igual a 5900 kcal/kg, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral. A produção de ferro-gusa por usinas independentes utiliza, em quase sua totalidade, carvão vegetal. As emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção do ferro-gusa e do aço dessas usinas foram estimadas a partir do consumo desses combustíveis usados como aquecimento direto, informados pelo BEN e pelo balanço de energia útil (BEU), com o objetivo de evitar dupla contagem com o setor energia.

A produção de ferroligas também foi afetada pela crise, e os dados de 2010 já mostram o início do processo de recuperação do setor. Em 2010 foi constatado um crescimento de 65% da produção em relação ao ano anterior. A evolução da produção pode ser observada na Figura II.

No Brasil, a maior parte do combustível usado na produção de ferroligas é o carvão vegetal, que resulta em emissões de CO<sub>2</sub> que não são contabilizadas no inventário de Produção de Metais, por serem decorrentes do uso da biomassa, mas são consideradas no Relatório de Referência "Mudança do Uso da Terra e Florestas. De acordo com o BEN, consome-se uma pequena parcela de coque de petróleo, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral.

Figura II - Evolução da produção brasileira de ferroligas de 1990 a 2010.



Com relação à produção de alumínio, em 2013, o Brasil registrou o oitavo lugar, em função do grande potencial hidráulico para a produção de eletricidade, das condições geográficas favoráveis e da tradição industrial brasileira na área de metalurgia. A produção de alumínio primário no Brasil evoluiu no período analisado conforme a Tabela II, sendo esse fato a justificativa para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Já as emissões dos PFCs foram reduzidas significativamente mesmo com o aumento produtivo, devido principalmente às ações do setor para diminuição da frequência e duração do efeito anódico, fonte de geração dos gases CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.

Tabela II - Produção de alumínio primário por tipo de tecnologia

Tecnologia	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	t alumínio					%
<i>Soderberg</i>	369.803	390.171	438.744	573.261	649.383	13,3
<i>Prebaked Anode</i>	551.070	798.289	830.840	924.494	884.320	-4,3
<b>Total</b>	<b>920.873</b>	<b>1.188.460</b>	<b>1.269.584</b>	<b>1.497.755</b>	<b>1.533.703</b>	<b>2,4</b>

A indústria de magnésio, que tradicionalmente usava o hexafluoreto de enxofre SF<sub>6</sub>, deixou de fazê-lo a partir de 2010 devido a projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, que substituiu o uso desse gás por SO<sub>2</sub>.

O processo de produção de outros metais não ferrosos também usa combustíveis fósseis (coque de petróleo, carvão metalúrgico, coque de carvão mineral) e combustível de biomassa (carvão vegetal) em fornos. A Tabela III e Tabela IV resumem as emissões do setor de Produção de Metais.

Tabela III - Emissões derivadas de combustíveis usados nos processos de produção de metais

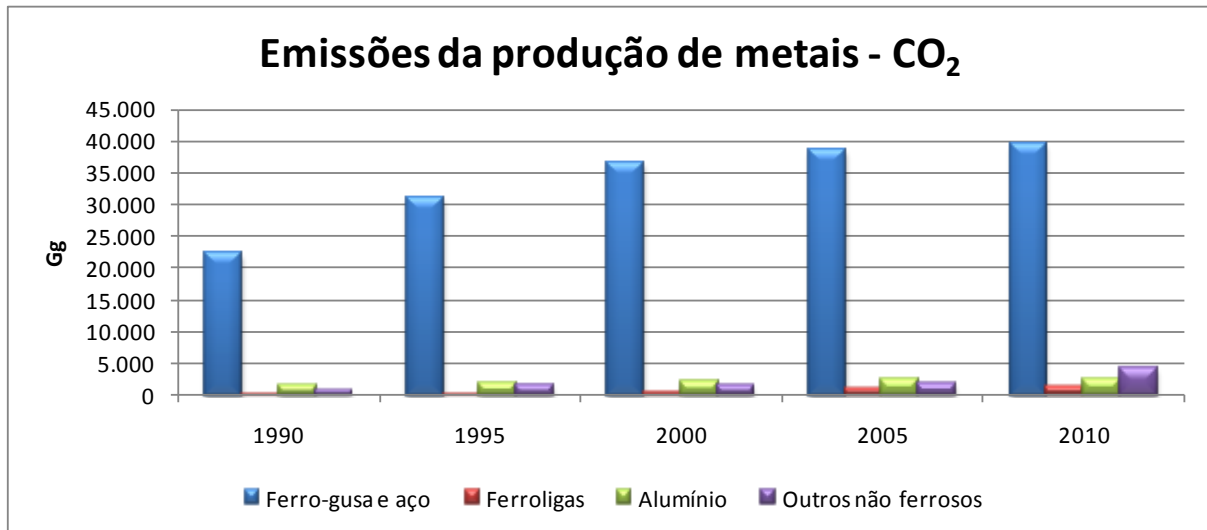
Gás	Tipo de combustível	Produção	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
			Gg					%
CO <sub>2</sub>	Combustíveis fósseis	Ferro-gusa e aço	22.364	31.046	36.603	38.670	39.568	2,3
		Ferroligas	116	215	545	932	1.195	28,2
		Alumínio	1.574	1.965	2.116	2.472	2.543	2,9
		Outros não ferrosos	897	1.762	1.606	1.855	4.332	133,6
		<b>Total fóssil</b>	<b>24.951</b>	<b>34.989</b>	<b>40.869</b>	<b>43.928</b>	<b>47.639</b>	<b>8,4</b>
	Biomassa*	Ferro-gusa e aço	18.758	15.200	15.490	20.026	14.321	-28,5
		Ferroligas	1.616	1.703	1.922	2.547	2.539	-0,3
		Alumínio	-	-	-	-	-	NA
		Outros não ferrosos	1.137	652	26	35	42	17,7
		<b>Total biomassa*</b>	<b>21.511</b>	<b>17.555</b>	<b>17.437</b>	<b>22.609</b>	<b>16.902</b>	<b>-25,2</b>
CH <sub>4</sub>	Todos	Ferro-gusa e aço	36,8	30,1	31,0	40,6	28,6	-29,5
		Ferroligas	3,0	3,2	3,6	4,8	4,8	-0,3
		Não ferrosos	2,1	1,3	0,1	0,1	0,1	11,8
		<b>Total</b>	<b>42,0</b>	<b>34,6</b>	<b>34,7</b>	<b>45,5</b>	<b>33,5</b>	<b>-26,4</b>
N <sub>2</sub> O	Todos	Ferro-gusa e aço	1,02	1,00	1,09	1,31	1,08	-17,8
		Ferroligas	3,03	3,19	3,61	4,78	4,77	-0,3
		Não ferrosos	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	-11,3
		<b>Total</b>	<b>4,11</b>	<b>4,24</b>	<b>4,73</b>	<b>6,12</b>	<b>5,87</b>	<b>-4,1</b>
CO	Todos	Ferro-gusa e aço	775,0	656,2	676,1	867,3	633,2	-27,0
		Ferroligas	60,8	64,2	72,5	96,7	96,7	0,0
		Alumínio	344,7	479,8	503,7	572,0	560,8	-2,0
		Outros não ferrosos	44,4	27,6	3,7	4,6	4,9	6,4
		<b>Total</b>	<b>1.224,9</b>	<b>1.227,7</b>	<b>1.256,0</b>	<b>1.540,7</b>	<b>1.295,6</b>	<b>-15,9</b>
NO <sub>x</sub>	Todos	Ferro-gusa e aço	25,5	30,8	66,4	90,8	60,1	-33,7
		Ferroligas	1,6	2,0	4,6	5,2	6,2	19,7
		Alumínio	2,0	2,6	2,7	3,2	3,3	2,4
		Outros não ferrosos	8,9	11,7	13,0	14,1	13,8	-2,5
		<b>Total</b>	<b>37,9</b>	<b>47,1</b>	<b>86,7</b>	<b>113,3</b>	<b>83,4</b>	<b>-26,4</b>
NMVOC	Todos	Ferro-gusa e aço	21,6	19,4	18,4	20,1	20,8	3,5
		Ferroligas	1,5	2,1	1,8	2,1	1,9	-12,6
		Não ferrosos	1,2	1,0	1,0	0,7	0,7	-1,3
		<b>Total</b>	<b>24,3</b>	<b>22,4</b>	<b>21,1</b>	<b>22,9</b>	<b>23,3</b>	<b>1,9</b>

\* Apenas para informação. Essas emissões estão incluídas no Relatório de Referência "Mudança do Uso da Terra e Florestas."

Tabela IV - Emissões dos processos de produção de metais, não relacionadas ao uso de combustíveis

Produção	Gás	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
		Gg					%
Alumínio	CF <sub>4</sub>	0,3022	0,306	0,1465	0,1239	0,0767	-38,1%
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0,0263	0,0264	0,0117	0,0104	0,0059	-43,3%
Magnésio	SF <sub>6</sub>	0,0058	0,0101	0,0103	0,0191	-	-100,0%

As figuras a seguir mostram a evolução dos gases de efeito estufa direto no setor de Produção de Metais. Lembrando que as emissões de CO<sub>2</sub> derivadas de biomassa não estão incluídas.

Figura III - Emissões de CO<sub>2</sub>

Nota-se a predominância do setor de siderurgia sobre os demais. As Figuras IV, V e VI a seguir apresentarão, respectivamente, os resultados relacionados à emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O na produção de metais, além das emissões de PFCs e SF<sub>6</sub> na produção de alumínio e magnésio.

Figura IV - Emissões de CH<sub>4</sub>

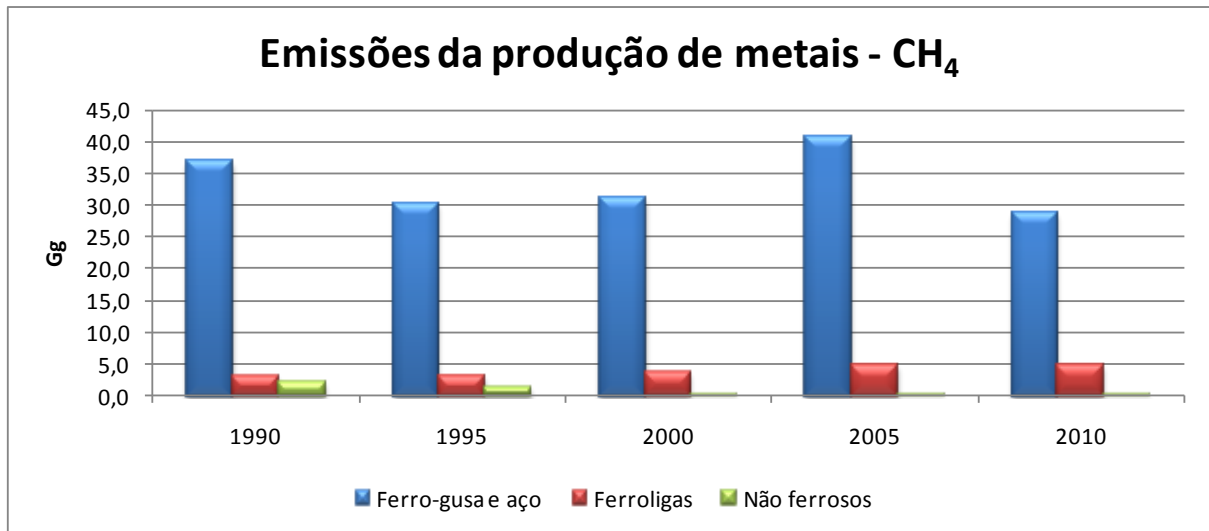


Figura V - Emissões de N<sub>2</sub>O

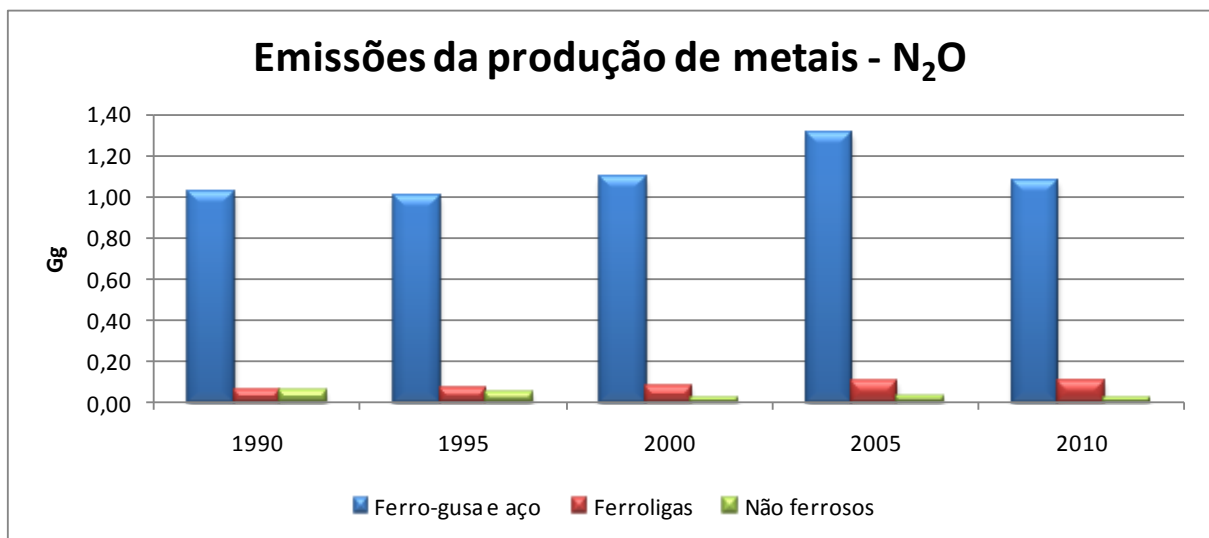
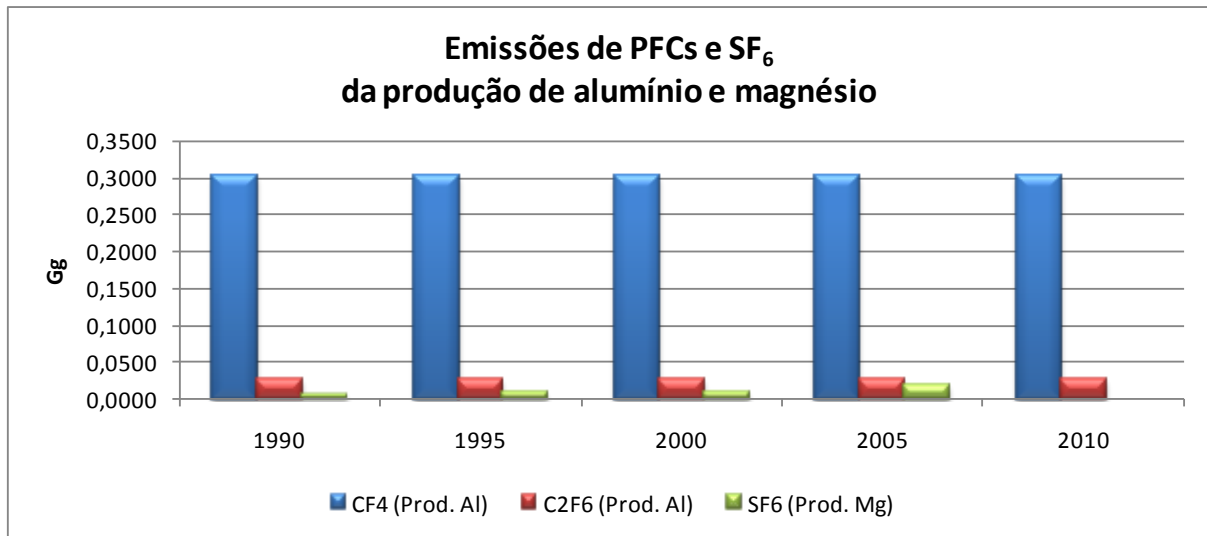


Figura VI - Emissões de PFCs e SF<sub>6</sub> da produção de alumínio (Al) e magnésio (Mg)

A Figura VII e a Figura VIII mostram a evolução por setor e por gás, em unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq), usando-se a equivalência do GWP do Segundo Relatório de Avaliação do IPCC - SAR. Verifica-se que o CO<sub>2</sub> é o gás mais importante, com 93,6% do peso do total em 2010.

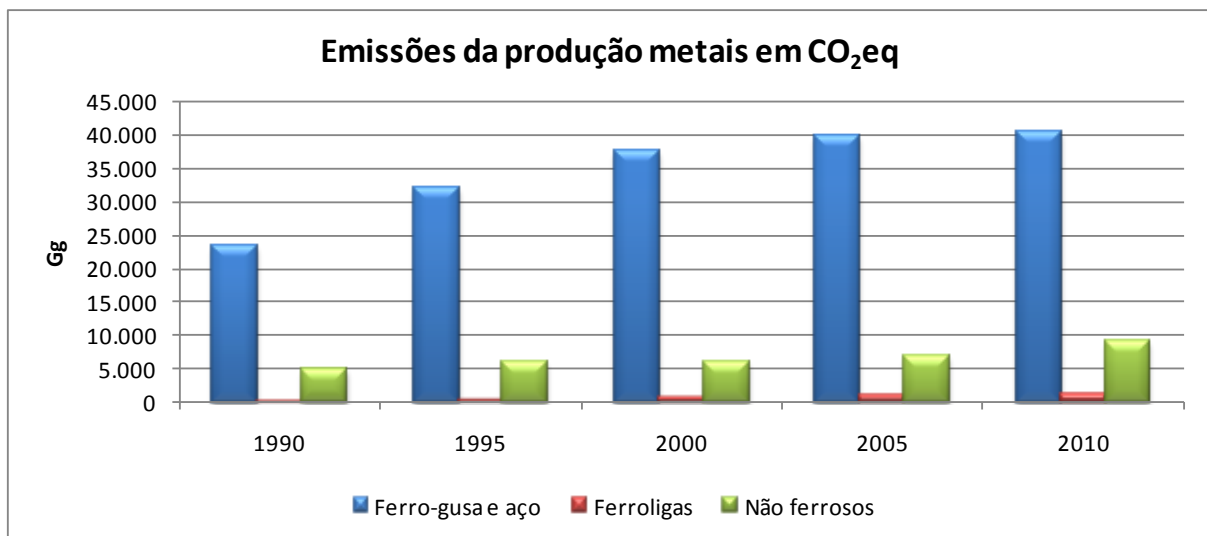
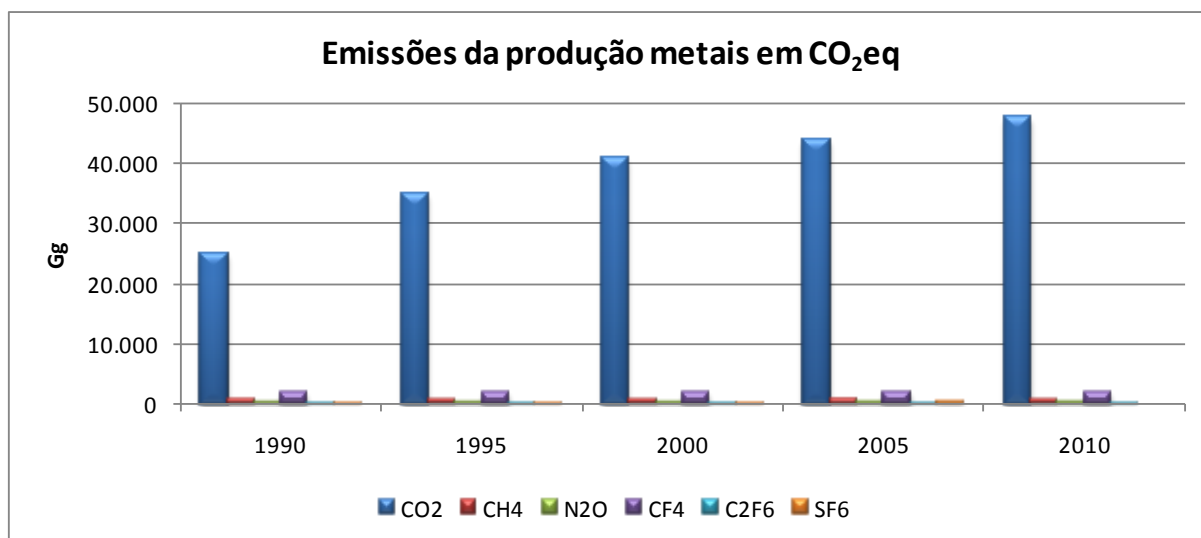
Figura VII - Evolução das emissões por setor, em CO<sub>2</sub>eq

Figura VIII - Evolução das emissões por gás, em CO<sub>2</sub>eq





## 1. Produção de ferro e aço

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro. Uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a queima dos mesmos.

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. As emissões apresentadas neste relatório contemplam somente o processo de produção, excluindo a geração de energia elétrica e transporte.

Em 2010, a produção brasileira de ferro-gusa foi de 30,8 Mt, apresentando um crescimento de 23%, em relação ao ano anterior. A produção das usinas integradas foi 25,8 Mt, enquanto os produtores independentes (gusa de mercado) produziram de 5,1 Mt. Desta forma os produtores independentes representaram apenas 16,4% da produção total (MME, 2011).

Em 2010, o Brasil produziu 32,9 milhões de toneladas de aço, a maior produção da América Latina e 2,2% da produção mundial, que foi de 1.498,9 milhões de toneladas (MME, 2011).

A Tabela 1 apresenta produção de aço por empresa.

**Tabela 1 - Produção de Aço Bruto por Empresa em 2010**

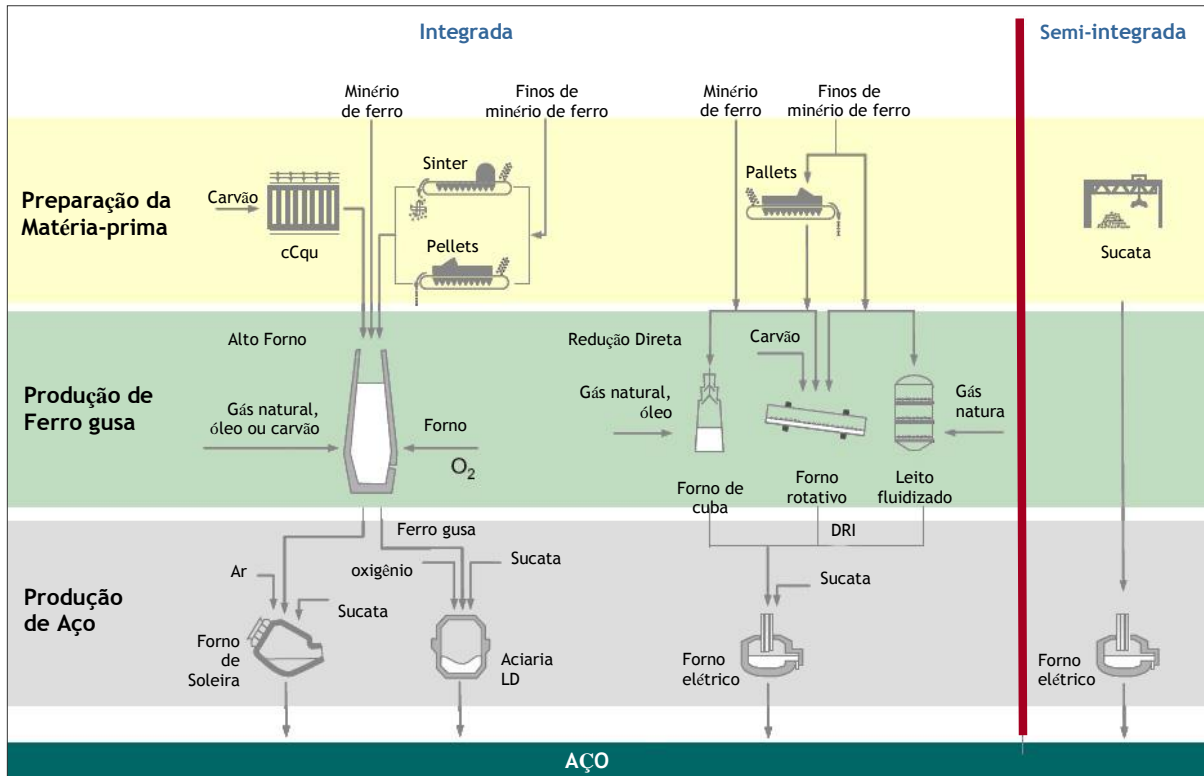
Empresa	2010
	Unidade: 10 <sup>3</sup> t
Aperam	771
ArcelorMittal Aços Longos	3.394
ArcelorMittal Tubarão	5.956
CSA	478
CSN	4.902
Gerdau	8.177
Sinobras	239
Usiminas	7.298
V&M do Brasil	573
Villares Metals	119
Votorantim Siderurgia	1.041
<b>TOTAL</b>	<b>32.948</b>

Fonte: MME, 2011

## 1.1 Processo siderúrgico - usinas integradas e semi-integradas

O fluxograma simplificado de produção de aço via rotas integradas e semi-integradas é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - 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). 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.

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:

- a) Preparação do Minério de Ferro e do Carvão
- b) Redução do Minério de Ferro
- c) Refino
- d) Conformação Mecânica

Os fluxos de produção de usinas siderúrgicas, com as principais etapas, encontram-se apresentados na Figura 2 e na Figura 3.

Figura 2 - Usinas Integradas

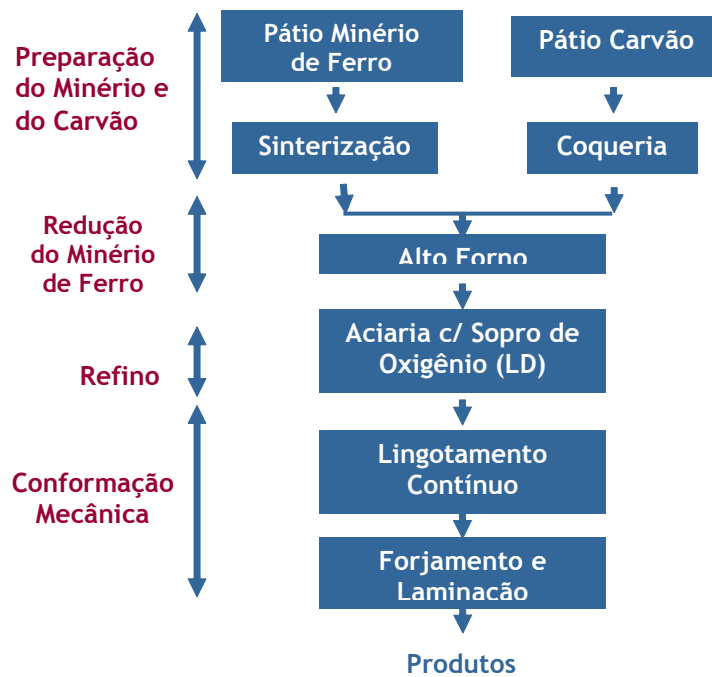
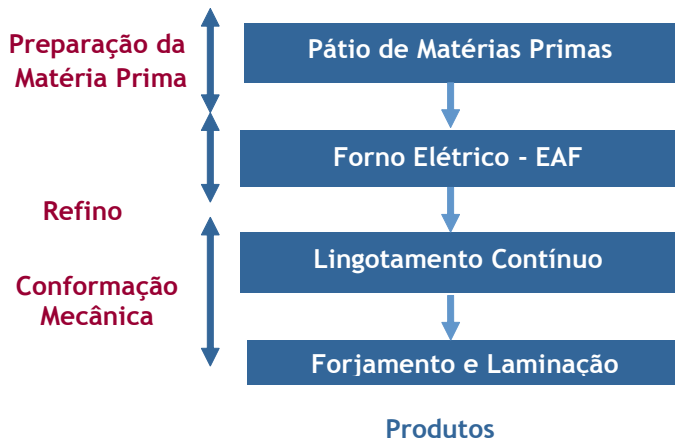


Figura 3 - Usinas Semi-Integradas (nos Elétrico a Arco)



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

#### a) 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.

#### b) 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.

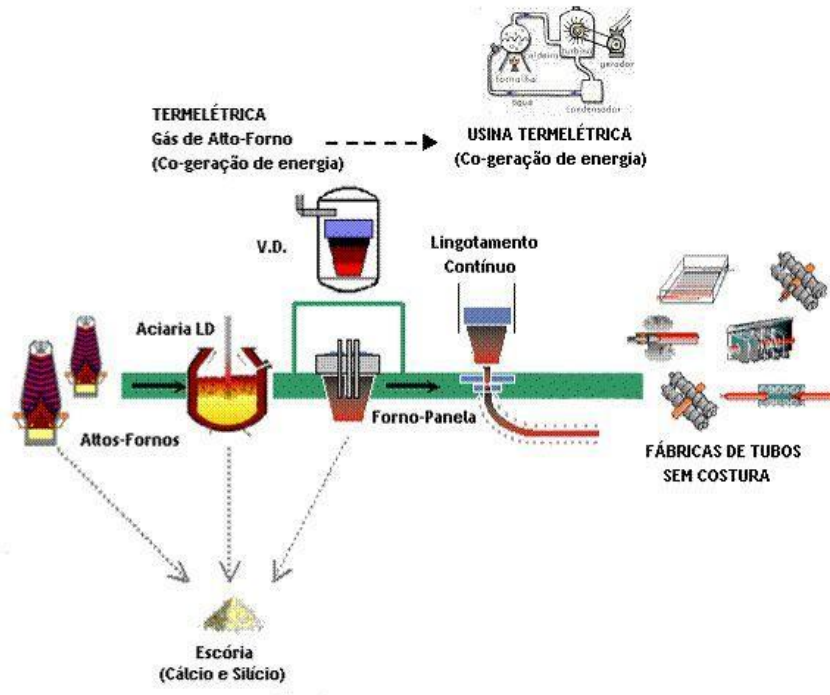
#### *Altos-fornos a carvão vegetal*

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 4).

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 4 - 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.

### c) 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.

#### d) **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.

## **1.2 Processo siderúrgico - usinas independentes**

O ferro-gusa é considerado o ferro de primeira fusão e é produzido nas primeiras etapas de preparação e redução do minério de ferro. A indústria de ferro-gusa independente (de mercado) produz o ferro-gusa de fundição e o ferro-gusa de aciaria. O de fundição é utilizado pelas indústrias de autopeças em forjados, já o de aciaria é predominantemente exportado. Para a produção de ferro-gusa são consumidos aproximadamente 1,68 tonelada de minério de ferro e em torno de 3 m<sup>3</sup> de carvão vegetal

por tonelada de gusa produzido. No Brasil, a produção de ferro-gusa por usinas independentes utiliza somente carvão vegetal e o processo inicial contempla as mesmas etapas da produção de gusa pelas usinas integradas/semi-integradas.

### 1.3 Metodologia para cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> - ferro-gusa e aço

No Brasil, a produção de ferro-gusa e aço por usinas integradas/semi-integradas utiliza coque de petróleo, carvão vapor de poder calorífico maior ou igual a 5900 kcal/kg, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral como principais combustíveis redutores. Já a produção de ferro-gusa por usinas independentes utiliza carvão vegetal.

Buscando uma uniformidade com as emissões do setor energia e evitando desta forma qualquer tipo de dupla-contagem de emissões para a indústria de ferro e aço, as emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção do ferro-gusa e aço foram estimadas a partir do consumo dos combustíveis discriminados acima e usados como aquecimento direto. A informação do tipo de uso é proveniente do Balanço de Energia Útil (BEU), enquanto que as quantidades consumidas, do Balanço Energético Nacional (BEN). Segundo o BEU, desses combustíveis, todos são usados 100% para aquecimento direto, exceto o carvão CV 5900, cujo uso para aquecimento direto é de 88,8%. As emissões calculadas através do consumo desses combustíveis incluem as emissões de sinter.

Desta forma, as emissões de CO<sub>2</sub> do processo produtivo foram estimadas considerando a queima total dos combustíveis informados de acordo com a Equação 1:

#### Equação 1 - Emissões de CO<sub>2</sub> pela produção de ferro-gusa e aço

$$E_{CO_2} = \sum_i \left( \text{Combustível redutor}_i * FE_i * F_{ox} * 44/12 - C_{prod} * \frac{44}{12} \right) / 10^3$$

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> (Gg)

$\text{Consumo redutor}_i$  = consumo do combustível redutor do tipo  $i$  informado no BEU para aquecimento direto (TJ)

$FE_i$  = fator de emissão do redutor do tipo  $i$  (tC / TJ)

$F_{ox}$  = fator de oxidação

$C_{prod}$  = carbono contido no produto (t) ou percentual médio de carbono no aço/gusa multiplicado pela produção em toneladas

Os fatores de emissão e oxidação utilizados são listados abaixo:



Tabela 2 - Fatores de emissão para CO<sub>2</sub> e fração oxidada para os combustíveis usados

Redutor	Fator de emissão	Fração oxidada
	(t C / TJ)	
<i>Coque de petróleo</i>	27,5	1
<i>Carvão</i>	25,8	1
<i>Coque de carvão mineral</i>	29,5	1
<i>Carvão vegetal</i>	29,1	1

#### 1.4 Metodologia para cálculo das emissões dos gases não-CO<sub>2</sub>

As emissões dos gases não-CO<sub>2</sub> foram calculadas de acordo com os mesmos fatores de emissão usados no Segundo Inventário para o setor Energia<sup>2</sup>, considerando-se a aplicação no setor industrial - fornos, pois essas emissões ocorrem em fornos abertos ou semi-abertos usados para a produção de sinter e aço. Foram estimadas as emissões através da Equação 2.

Equação 2 - Emissões de gás pelo uso do combustível redutor em cada processo de produção

$$E_{gás} = \sum_i (\text{Combustível redutor}_i * FE_{i-gás} * F_{ox}) / 10^6$$

Onde:

$E_{gás}$  = Emissões de cada gás (Gg)

Combustível redutor<sub>i</sub> = quantidade usada na produção (TJ)

i = tipo de combustível redutor

$FE_{i-gás}$  = fator de emissão para o combustível *i* referente ao gás (kg/TJ)

$F_{ox}$  = fator de oxidação

O fator de oxidação utilizado foi de 1, recomendado no IPCC 2006 e usado neste Inventário e, igualmente, no setor Energia.

Os fatores de emissão estão informados na Tabela 3 - Fatores de emissão para gases não-CO<sub>2</sub> para os combustíveis usados em fornos:

<sup>2</sup> MCTI, Relatório de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0228/228959.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228959.pdf)>.

**Tabela 3 - Fatores de emissão para gases não-CO<sub>2</sub> para os combustíveis usados em fornos no setor industrial**

Redutor	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC
	(kg / TJ)				
<i>Coque de petróleo</i>	1	0,6	79	527	5
<i>Carvão</i>	1	1,4	79	527	20
<i>Coque de carvão mineral</i>	1	1,4	211	35	16
<i>Carvão vegetal</i>	200	4	4000	100	100

Fonte: MCT (2010)

## 1.5 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.

Foram utilizados dados do BEN destinados para aquecimento direto pelo BEU dos seguintes combustíveis:

Usinas integradas/semi-integradas - combustíveis fósseis

- Coque de petróleo
- Carvão vapor 5900 kcal/kg e 6000 kcal/kg
- Carvão metalúrgico (nacional e importado)
- Coque de carvão mineral

Usinas independentes - combustível renovável

- Carvão vegetal

Para o conteúdo de carbono, tomou-se a média de 1% do aço, segundo informações do Instituto Aço Brasil - IABr e de 4% para o ferro gusa das produtoras independentes.

Tabela 4 - Consumo de combustíveis para ferro-gusa e aço no BEN

Ano	Coque de Petróleo	Carvão Vapor 5900 kcal	Carvão Vapor 6000 kcal	Carvão Metalúrgico Nacional	Carvão Metalúrgico Importado	Coque de Carvão Mineral	Carvão Vegetal
	<i>mil m<sup>3</sup></i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>
1990	0	0	0	0	0	7.157	6.760
1991	0	0	0	0	0	8.622	5.700
1992	0	0	0	0	0	8.732	5.314
1993	0	0	0	0	235	9.098	5.825
1994	2	6	0	0	354	9.365	6.012
1995	16	0	0	0	363	9.576	5.517
1996	6	0	0	0	664	9.543	4.786
1997	102	0	0	0	0	9.528	5.012
1998	188	0	0	0	0	9.281	4.597
1999	233	0	0	0	0	8.266	5.249
2000	277	0	0	0	0	9.298	5.668
2001	379	0	0	0	0	9.020	5.325
2002	350	0	0	0	0	9.543	5.515
2003	521	0	0	0	0	9.377	6.280
2004	416	0	0	0	0	9.527	7.588
2005	487	0	0	0	0	8.792	7.436
2006	477	0	10	0	0	8.352	7.176
2007	567	0	0	0	0	9.159	7.391
2008	560	0	0	101	0	9.115	7.243
2009	560	0	0	0	0	7.201	4.216
2010	45	0	3.104	0	0	10.367	5.220

Fonte: MME (2013).

Do BEN têm-se ainda os fatores de conversão de unidades naturais informadas para toneladas equivalentes de petróleo (tep). Para a conversão de tep para terajoule (TJ), usa-se o fator de 41,868. Tais fatores são os mesmos usados no setor Energia.

Tabela 5 - Fatores de conversão para tep médio

Coque de petróleo	Carvão Vapor 5900 kcal	Carvão Vapor 6000 kcal	Carvão Metalúrgico Nacional	Carvão Metalúrgico Importado	Coque de carvão mineral	Carvão vegetal
<i>m<sup>3</sup> para tep</i>	<i>t para tep</i>	<i>t para tep</i>	<i>t para tep</i>	<i>t para tep</i>	<i>t para tep</i>	<i>t para tep</i>
0,873	0,56	0,57	0,64197	0,74	0,69	0,646

Fonte: MME (2013)

Tabela 6 - Produção nacional de ferro-gusa e aço

Ano	Produção de aço	Produção de ferro-gusa (usinas independentes)
	(kt)	
1990	20.814	5.121
1991	22.472	4.488
1992	23.705	4.132
1993	24.889	4.572
1994	25.336	5.247
1995	24.975	4.919
1996	25.169	4.156
1997	26.111	4.564
1998	25.372	4.732
1999	26.141	5.169
2000	28.658	5.916
2001	27.634	6.278
2002	30.405	6.555
2003	31.844	7.889
2004	32.957	9.657
2005	31.650	9.774
2006	30.608	9.467
2007	33.782	9.628
2008	33.716	8.342
2009	26.506	4.273
2010	32.948	5.061

Fonte: até 2006, IABr; após 2006, Anuário do Setor Metalúrgico (MME, 2010, 2013).

## 1.6 Resultados da produção de ferro e aço

A Tabela 7 a seguir apresenta os resultados das emissões estimadas provenientes do processo de produção de ferro e aço para o período de 1990 a 2010. Ressalta-se que esses resultados não incluem emissões do uso de energia e de uso de calcário e dolomita.

Tabela 7 - Emissões do processo de produção de ferro-gusa e aço

Ano	CO <sub>2</sub> (fóssil)	CO <sub>2</sub> (biomassa)	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
	Gg						
1990	21.601	18.758	36,8	1,02	775,0	25,5	21,6
1991	26.118	15.791	31,1	0,97	669,2	24,1	19,4
1992	26.417	14.730	29,0	0,93	628,1	23,2	18,4
1993	28.206	16.140	31,8	1,01	686,2	28,8	20,1
1994	29.392	16.580	32,8	1,04	708,4	31,6	20,8
1995	30.130	15.200	30,1	1,00	656,2	30,8	19,6
1996	30.866	13.202	26,2	0,93	577,6	33,6	17,8
1997	32.521	13.795	27,4	0,98	603,4	43,7	18,7
1998	33.319	12.572	25,2	0,94	558,3	50,8	17,7
1999	31.680	14.390	28,7	1,00	623,9	60,2	19,3
2000	35.552	15.490	31,0	1,09	676,1	66,4	21,1
2001	34.845	14.447	29,1	1,04	637,4	65,8	20,0
2002	37.516	14.954	30,2	1,10	662,1	73,2	21,0
2003	38.683	16.966	34,4	1,20	745,3	84,6	23,2
2004	39.805	20.482	41,4	1,36	888,3	92,3	27,1
2005	37.509	20.026	40,6	1,31	867,3	90,8	26,3
2006	36.051	19.320	39,2	1,26	836,4	88,9	25,3
2007	39.422	19.918	40,4	1,33	865,4	95,6	26,4
2008	39.825	19.680	39,6	1,32	849,6	98,2	26,1
2009	31.690	11.541	23,1	0,88	508,4	74,6	16,5
2010	38.360	14.321	28,6	1,08	633,2	60,1	20,2

## 1.7 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

Neste inventário as emissões de CO<sub>2</sub> dos processos de produção do ferro-gusa e aço foram estimadas a partir do consumo dos combustíveis identificados como redutores, cruzando-se informações do setor, do Balanço de Energia Útil (BEU) - que informa o uso como aquecimento direto, e do Balanço Energético Nacional (BEN) - que informa as quantidades do setor. Aprimorou-se a separação dos combustíveis informados no setor Energia e neste setor em Processos Industriais.

Os recálculos representaram uma diminuição média de 0,4% no período de 1990-2005.

## 2. Produção de ferroligas

Ferroligas é um termo usado para descrever ligas concentradas de ferro e um ou mais metais, tais como silício, manganês, cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio. As ferroligas a base de manganês são utilizadas na fabricação de aço e ferro fundido; o ferro-silício atua como desoxidante e é destinado a produção de aços comuns; as ligas de níquel e cromo têm como aplicação principal a fabricação de aço inoxidável; ligas especiais, como a liga de nióbio, são usadas em aços especiais para aplicações aeronáuticas, opto-eletrônicas e super-condutores.

As fábricas de ferroligas produzem compostos concentrados que são despachados para as aciarias para serem incorporados às diversas ligas de aço. A produção de ferroligas envolve o processo metalúrgico de redução, que resulta em emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>).

No Brasil, a maior parte do combustível usado na produção de ferroligas é carvão vegetal. Uma pequena parcela de coque de petróleo, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral é consumida de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN). Neste relatório, então, são apresentadas as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do uso de combustíveis fosseis separadas das emissões relativas ao consumo de carvão vegetal, estas incluídas no Relatório de Referência “Mudança do Uso da Terra e Florestas. Já as emissões de gases não-CO<sub>2</sub> são aqui apresentadas para todos os combustíveis.

Em 2002, o setor de ferroligas, não incluindo o silício metálico, era composto de 14 empresas e operado por 20 plantas, distribuídas nos estados de: Minas Gerais (13), Bahia (2), Goiás (2), Pará (1), São Paulo (1) e Mato Grosso (1). A produção de ferroligas também foi afetada pela crise, contudo, os dados de 2010 já mostram o início do processo de recuperação do setor. Em 2010 foi constatado um crescimento de 65% da produção em relação ao ano anterior. A síntese da produção total de ferroligas é observada na Tabela 8.

**Tabela 8- Produção brasileira de ferroligas**

1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
toneladas					%
807.663	756.625	736.672	1.171.583	924.749	-21

Fonte: até 1997, Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico - ABRAFE; após 1998, Anuários Estatísticos do Setor Metalúrgico (MME, 2000; 2005; 2010; 2013).

### 2.1 Processo siderúrgico de ferroligas

Na produção de ferroligas, o minério é derretido junto com combustíveis com carbono e escória sob alta temperatura. Durante a fusão das ferroligas, a reação de redução ocorre em alta temperatura.

Os redutores carbonados são geralmente carvão e coque, mas também é comumente utilizado o carvão vegetal como fonte de carbono primária ou secundária de carbono.

Na produção de ferroligas o calor é produzido por arcos elétricos em fornos abertos, semi-cobertos ou cobertos. A tecnologia utilizada é o forno elétrico a arco (EAF), onde a redução de carbono dos óxidos metálicos ocorre quando ambos, coque e eletrodos de grafite, são consumidos. O carbono nos eletrodos captura o oxigênio dos óxidos metálicos para formar  $\text{CO}_2$ , enquanto que os minerais são reduzidos a metais básicos derretidos e então combinados a solução.

Emissões primárias em fornos de arco coberto consistem quase inteiramente de monóxido de carbono (CO) devido ao forte ambiente redutor. Este CO, geralmente, é utilizado para a produção de energia em caldeiras dentro da própria fábrica, sendo então queimado e convertido em  $\text{CO}_2$  emitido. O gás CO produzido em fornos abertos ou semi-fechados é queimado para  $\text{CO}_2$  acima do nível de carga. Apesar do  $\text{CO}_2$  ser o principal gás estufa emitido na produção de ferroligas, uma pesquisa recente mostrou que o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) representam até 5% das emissões de  $\text{CO}_2$  nas produções de ferro-silício (FeSi) e silício metálico (Si-metal).

## 2.2 Metodologia para cálculo das emissões da produção de ferroligas

No Brasil, a produção de ferroligas utiliza carvão vegetal predominantemente. Outros combustíveis (coque de petróleo, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral) tiveram sua utilização aumentada a partir de 1998. A metodologia para o cálculo das emissões de  $\text{CO}_2$  e dos gases não- $\text{CO}_2$  segue o informado nos itens 1.3 e 1.4 para ferro-gusa e aço. No caso de ferroligas, 100% do consumo de combustíveis apresentados no BEN são considerados como aplicação em aquecimento direto pelo BEU. Além disso, por falta de maiores informações e conforme recomendado no *Good Practice Guidance 2000*, o carbono contido nas ferroligas não foi considerado.

Os fatores de emissão e oxidação utilizados são os mesmos listados na seção anterior para ferro-gusa e aço.

## 2.3 Dados

Para o cálculo das emissões de  $\text{CO}_2$  foram usados os consumos de combustível informados pelo BEN conforme Tabela 9.

**Tabela 9 - Consumos de combustíveis redutores informados no Balanço Energético Nacional (BEN) para a produção de ferroligas**

Ano	Coque de Petróleo	Carvão Metalúrgico Importado	Coque de Carvão Mineral	Carvão vegetal
	<i>mil m<sup>3</sup></i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>
1990	0	0	37	560
1991	0	0	38	755
1992	0	0	63	640
1993	0	0	61	775
1994	0	0	57	677
1995	0	19	51	590
1996	0	20	57	895
1997	0	6	49	600
1998	144	0	10	503
1999	89	46	6	559
2000	102	49	8	666
2001	103	49	27	408
2002	100	59	10	518
2003	140	22	114	823
2004	124	0	154	864
2005	140	0	134	883
2006	141	0	135	891
2007	165	0	151	953
2008	164	0	172	972
2009	164	0	133	751
2010	192	0	156	880

Fonte: MME (2013)

## 2.4 Resultados da produção de ferroligas

As emissões da produção de ferroligas são apresentadas na Tabela 10.



Tabela 10 - Emissões do processo de produção de ferroligas

Ano	CO <sub>2</sub> (fóssil)	CO <sub>2</sub> (biomassa)	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC
	Gg						
1990	116	1.616	3,0	0,06	60,8	1,6	1,5
1991	119	2.179	4,1	0,08	81,9	2,1	2,1
1992	197	1.847	3,5	0,07	69,6	1,8	1,8
1993	191	2.237	4,2	0,09	84,2	2,2	2,1
1994	178	1.954	3,7	0,08	73,6	1,9	1,9
1995	215	1.703	3,2	0,07	64,2	2,0	1,6
1996	237	2.583	4,8	0,10	97,2	2,8	2,5
1997	171	1.732	3,2	0,07	65,2	1,8	1,6
1998	562	1.452	2,7	0,06	54,9	4,1	1,4
1999	482	1.613	3,0	0,06	60,9	4,0	1,6
2000	545	1.922	3,6	0,08	72,5	4,6	1,9
2001	608	1.177	2,2	0,05	44,7	3,9	1,2
2002	573	1.495	2,8	0,06	56,6	4,3	1,5
2003	937	2.375	4,5	0,10	90,2	5,4	2,3
2004	938	2.493	4,7	0,10	94,8	4,9	2,4
2005	932	2.547	4,8	0,10	96,7	5,2	2,5
2006	942	2.570	4,8	0,10	97,6	5,3	2,5
2007	1.080	2.750	5,2	0,11	104,5	5,9	2,7
2008	1.142	2.805	5,3	0,12	106,7	6,0	2,7
2009	1.018	2.167	4,1	0,09	82,5	5,3	2,1
2010	1.195	2.539	4,8	0,11	96,7	6,2	2,5

## 2.5 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

No Segundo Inventário Nacional as emissões referentes aos combustíveis usados como redutores no processo de produção de ferroligas foram consideradas no setor Energia, mas com a mesma metodologia.

### 3. Produção de alumínio

Este relatório apresenta a caracterização do processo produtivo do alumínio primário com as estimativas de emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) provenientes do consumo dos anodos e das emissões de perfluorcarbono (PFCs) da redução eletrolítica. Os gases PFCs abordados neste relatório compreendem o perfluormetano ( $\text{CF}_4$ ) e o perfluoretano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ), cujas emissões ocorrem durante o efeito anódico.

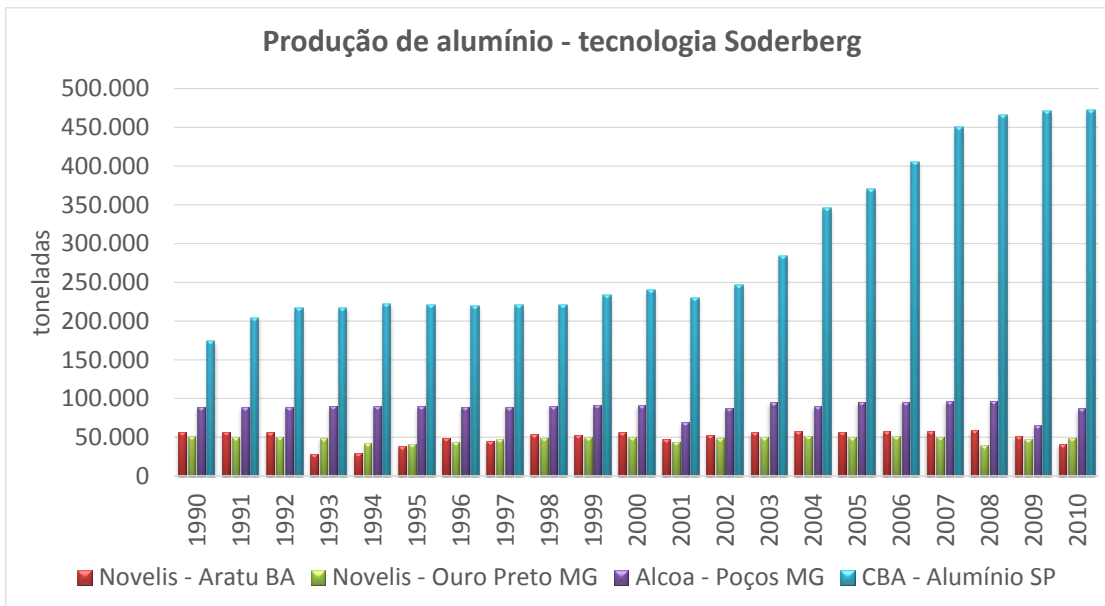
O alumínio primário é obtido através da mineração de bauxita, mineral encontrado na crosta terrestre. Em 2012, as reservas mundiais de bauxita somaram 28 bilhões de toneladas, e o Brasil detém 9,3% desse total, sendo cerca de 95% de bauxita tipo metalúrgico e 5% do tipo refratário. As reservas brasileiras mais expressivas (95%) estão localizadas na região Norte (Estado do Pará), as quais têm como principais concessionárias as empresas Alcoa Alumínio S.A., Norsk Hydro Brasil Ltda, Mineração rio do Norte S.A. e Votorantim Metais - Companhia Brasileira de Alumínio.

A produção mundial de alumínio primário atingiu 46 Mt em 2012 e representando o 8º lugar no ranking mundial, a produção brasileira do metal foi de 1,4 Mt no ano. O parque industrial de alumínio brasileiro conta com sete plantas, que são apresentadas abaixo de acordo com a rota tecnológica empregada. São elas:

a) Rota Soderberg com anodo em pasta (Figura 5):

- Novelis em Aratu (BA), com VSS e HSS Sodeberg;
- Novelis em Ouro Preto (MG), com HSS Soderberg;
- Alcoa em Poços de Caldas (MG), com VSS Soderberg; e
- Votorantim Metais - CBA em Alumínio (SP), com VSS Soderberg.

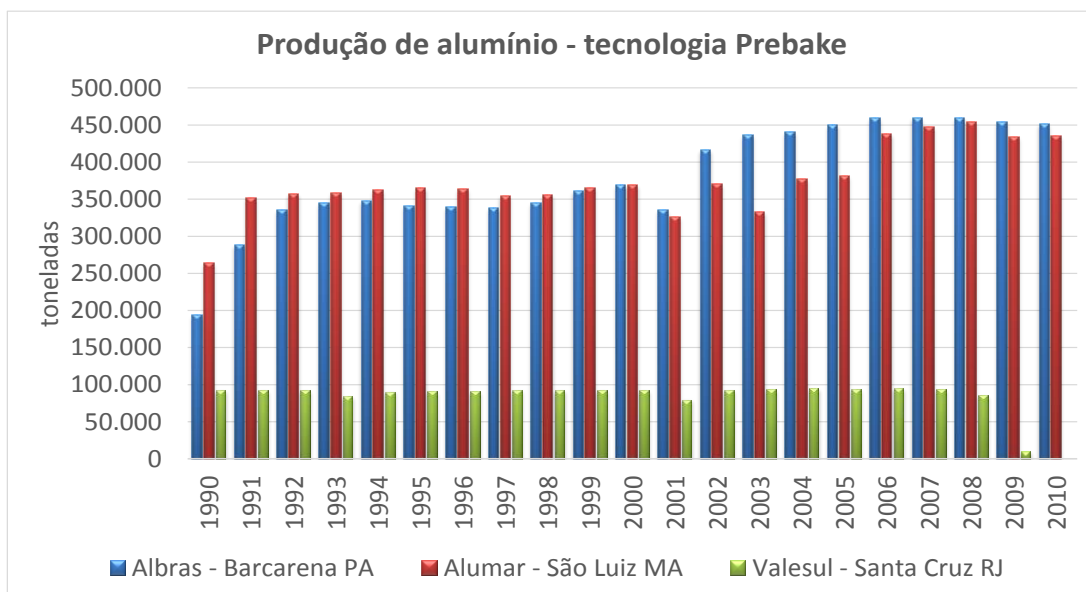
Figura 5 - Produção pela tecnologia Soderberg, por planta



b) Rota Prebaked Anode com anodo pré-cozido, todas com a tecnologia Centre Worked Prebaked Anode - CWPB (Figura 6):

- Albras em Barcarena (PA);
- Consórcio Alumar em São Luís (MA);
- Valesul em Santa Cruz (RJ)

Figura 6 - Produção pela tecnologia Prebaked Anode, por planta



### 3.1 Processo produtivo do alumínio

O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução.

#### a) Mineração

O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre. Sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao estado em que o vemos normalmente. O processo de mineração da bauxita, que origina o alumínio, pode ser exemplificado da seguinte maneira: Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico; Retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas); Beneficiamento (Inicia-se na britagem, para redução de tamanho; Lavagem do minério com água para reduzir - quando necessário - o teor de sílica contida na parcela mais fina; secagem)

#### b) Refino

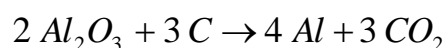
A refinaria, através do Processo Bayer, transforma a bauxita em alumina calcinada através das etapas: dissolução da alumina em soda cáustica; filtração da alumina para separar o material sólido; concentração do filtrado para a cristalização da alumina; secagem e calcinação dos cristais para eliminar a água.

#### c) Redução

O pó branco de alumina pura é enviado à redução. Na redução, ocorre o processo conhecido como *Hall-Héroult*, por meio da eletrólise, para obtenção do alumínio. As etapas que ocorrem nesta parte do processo são: a alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio; o oxigênio se combina com o ânodo de carbono, desprendendo-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, que se precipita no fundo da cuba eletrolítica; o metal líquido (já alumínio primário) é transferido para a refusão através de cadinhos; e são produzidos os lingotes, as placas e os tarugos (alumínio primário).

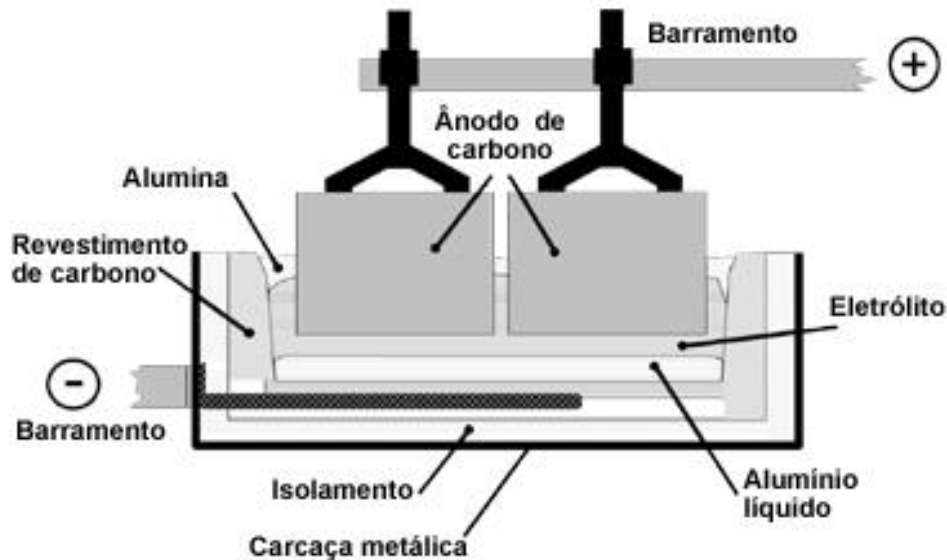
A redução do alumínio é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico conforme a Equação 3 a seguir, que mostra também a origem do CO<sub>2</sub> emitido pelo processo. Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o Processo de Redução são alumina, energia elétrica, criolita, fluoreto de alumínio, coque de petróleo, piche e óleo combustível.

#### Equação 3 - Transformação da alumina em alumínio metálico



Basicamente, são necessárias cerca de 5 t de bauxita para produzir 2 t de alumina e 2 t de alumina para produzir 1 t de alumínio pelo processo de Redução. Na Figura 7 é ilustrado o diagrama de uma célula de redução.

Figura 7- Diagrama de uma célula de redução

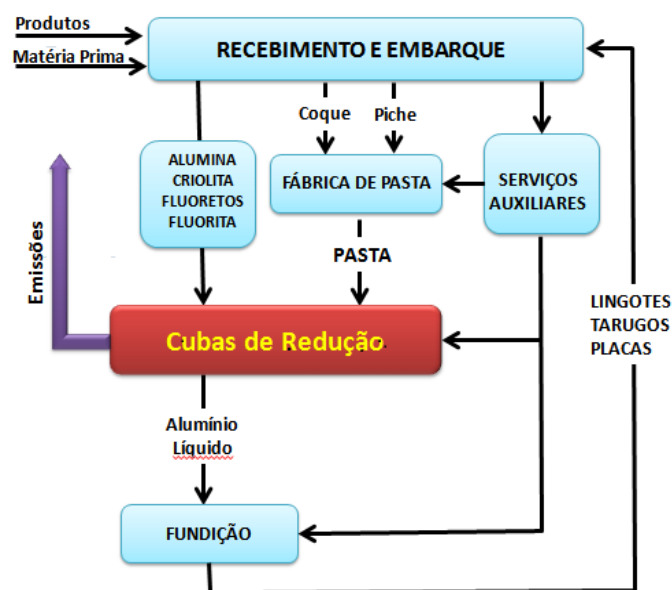


Fonte: ABAL

As Figura 8 a Fonte: ABAL

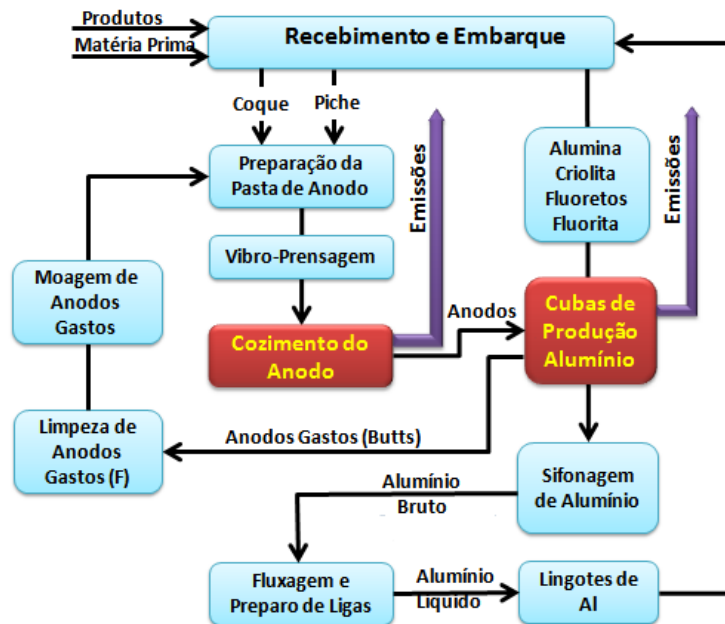
Figura 9 apresentam os fluxogramas dos processos de produção de alumínio.

Figura 8 - Fluxograma do processo de produção de alumínio com cubas com anodos e tecnologia Soderberg



Fonte: ABAL

Figura 9- Fluxograma do processo de produção de alumínio com a tecnologia de cubas com anodos pré-cozidos (*Prebaked*)



Fonte: ABAL

Outros gases emitidos na fabricação do alumínio primário são os perfluorcarbonos ou PFCs, gases de efeito estufa que têm uma vida atmosférica muito longa. Os PFCs emitidos pela indústria de alumínio ocorrem ocasionalmente durante o processo de redução eletrolítica, em eventos chamados de efeitos anódicos. Os efeitos anódicos são causados quando uma quantidade insuficiente de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) está dissolvida no banho eletrolítico contido nos fornos de uma linha de redução de alumínio, implicando em maior resistência elétrica e, já que o circuito tende a manter a corrente de processo constante, ocasionando também um aumento de voltagem, acima de determinada faixa de operação normal. Essa situação resulta na emissão de gases contendo o tetrafluoreto de metano ou perfluormetano ( $\text{CF}_4$ ) e o hexafluoreto de etano ou perfluoretano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ).

Esses efeitos são indesejados por também implicarem em perda de eficiência no processo e aumento de consumo de energia. Tradicionalmente a indústria mede a sua ocorrência em termos de frequência e duração. A quantidade de PFCs emitidos por uma planta de redução de alumínio é razão direta da frequência e da duração dos efeitos anódicos.

No processo de redução de alumínio, existem algumas tecnologias e controles operacionais que contribuem positivamente para a redução de emissões atmosféricas, tais como:

- ⇒ Controle do nível de banho eletrolítico
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para controle dos efeitos anódicos
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para predição e supressão dos efeitos anódicos

- ⇒ Tecnologia e procedimentos de adição de alumina nas cubas eletrolíticas
- ⇒ Formulação dos insumos componentes do anodo
- ⇒ Tecnologia e procedimentos para colocação e remoção de pinos no anodo
- ⇒ Eficiência do sistema de exaustão das cubas eletrolíticas

Ao longo dos anos a indústria brasileira vem investindo na modernização tecnológica dos aspectos acima, com a introdução ou aprimoramento de sistemas eletrônicos para medir, antecipar e suprimir a ocorrência dos efeitos anódicos.

Também foi fundamental a introdução e reforço no cumprimento de práticas operacionais mais robustas, no intuito de manter a estabilidade do processo e possibilitar aos operadores agirem com maior rapidez para a supressão dos efeitos anódicos.

### 3.2 Metodologia para cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> - alumínio

A abordagem metodológica pode ser de três níveis - *Tier 1*, 2 ou 3 - na ordem de complexidade, conforme o detalhamento possível para os dados necessários aos cálculos.

#### ***Tier 1***

O método Tier 1 para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> usa apenas a classificação ampla da tecnologia Prebaked Anode ou Soderberg, com utilização de fatores de emissão default aplicados à produção, conforme a Equação 4:

**Equação 4 - Emissões de CO<sub>2</sub> na produção de alumínio - Tier 1**

$$E_{CO_2} = FE_P \cdot Q_P + FE_S \cdot Q_S$$

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> do consumo do anodo e/ou consumo de pasta (t CO<sub>2</sub>)

$FE_P$  = fator de emissão específico para a tecnologia Prebaked Anode<sup>3\*</sup> (t CO<sub>2</sub>/t Al)

<sup>3</sup>O  $FE_P$  inclui as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão de voláteis no piche e CO<sub>2</sub> proveniente do material de empacotamento do forno de cozimento.

$Q_p$  = quantidade de alumínio produzida a partir do processo Prebaked Anode (t Al)

$FE_s$  = fator de emissão específico para a tecnologia Soderberg (t CO<sub>2</sub>/t Al)

$Q_s$  = quantidade de alumínio produzida a partir do processo Soderberg (t Al)

O IPCC 2006 apresenta os valores default de 1,6 t CO<sub>2</sub>/t Al para Prebaked Anode e 1,7 t CO<sub>2</sub>/t Al para Soderberg.

## Tier 2

No método Tier 2, considera-se que o conteúdo de carbono no consumo do anodo (tecnologia Prebaked Anode) ou da pasta (tecnologia Soderberg) é totalmente convertido em CO<sub>2</sub>. Valores típicos da indústria para impurezas são aplicados nos dois casos.

### ➤ Tecnologia Prebaked Anode

**Equação 5 - Emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo do anodo pré-cozido**

$$E_{CO_2} = CLA \cdot Q_p \cdot \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo do anodo pré-cozido (t CO<sub>2</sub>)

$Q_p$  = quantidade de alumínio produzida pelo processo Prebaked Anode (t Al)

$CLA$  = consumo líquido de anodo pré-cozido por tonelada de alumínio (t C / t Al)

$S_a$  = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)

$Ash_a$  = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)

44/12 = relação das massas moleculares CO<sub>2</sub>/C (adimensional).

As emissões da queima de combustíveis fósseis usados na produção dos anodos cozidos estão cobertas no Setor Energia. Entretanto, duas outras fontes de emissões de CO<sub>2</sub> estão associadas com os fornos de cozimento de anodos - a combustão de voláteis no piche (Equação 6) e do material de empacotamento do forno de cozimento (Equação 7).



**Equação 6 - Emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão de voláteis no piche**

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão de voláteis no piche (t CO<sub>2</sub>)

GA = peso original dos anodos antes do cozimento (t)

$H_w$  = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)

BA = produção de anodo cozido (t)

WT = resíduo de alcatrão coletado (t)

44/12 = relação das massas moleculares CO<sub>2</sub>/C (adimensional).

**Equação 7 - Emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento**

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento (t CO<sub>2</sub>)

PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA)

BA = produção de anodo cozido (t)

$S_{pc}$  = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)

$Ash_{pc}$  = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)

44/12 = relação das massas moleculares CO<sub>2</sub>/C (adimensional).

O IPCC 2006 apresenta valores default para a tecnologia Prebaked Anode, conforme a tabela a seguir.

Tabela 11 - Valores *default* para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode - Tier 2

Tecnologia Prebaked Anode	
Fator (Tier 2)	CWPB/SWPB
S <sub>a</sub> = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)	2
Ash <sub>a</sub> = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)	0,4
H <sub>w</sub> = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)	0,005*GA <sup>1</sup>
WT = resíduo de alcatrão coletado (t)	0,005*GA para fornos Riedhammer; 0 para outros
PCC = consumo de material de empacotamento (t/t BA)	0,015
S <sub>pc</sub> = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)	2
Ash <sub>pc</sub> = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)	2,5

<sup>1</sup> GA = peso original dos anodos antes do cozimento (t)  
Fonte: IPCC 2006

### ➤ Tecnologia Soderberg

#### Equação 8 - Emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de pasta

$$E_{CO_2} = \left( CP \cdot Q_s - \frac{CSM \cdot Q_s}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot Q_s \cdot \frac{S_p + Ash_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot Q_s \cdot \frac{S_c + Ash_c}{100} - Q_s \cdot C_{cp} \right) \cdot \frac{44}{12}$$

onde,

$E_{CO_2}$  = emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de pasta (t CO<sub>2</sub>)

$Q_s$  = quantidade de alumínio produzida no processo Soderberg (t Al)

CP = consumo de pasta por tonelada de alumínio (t C / t Al)

CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel por tonelada de alumínio (kg / tAl)

BC = conteúdo do ligante na pasta (%)

S<sub>p</sub> = conteúdo de enxofre no piche (%)

Ash<sub>p</sub> = conteúdo de cinza no piche (%)

H<sub>p</sub> = conteúdo de hidrogênio no piche (%)

S<sub>c</sub> = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)

Ash<sub>c</sub> = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)

C<sub>cp</sub> = carbono na poeira sobrenadante das cubas Soderberg (%)

44/12 = relação das massas moleculares CO<sub>2</sub>/C (adimensional).

O IPCC 2006 apresenta valores default para a tecnologia Soderberg, conforme a Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 - Valores default para parâmetros da tecnologia Soderberg - Tier 2

Tecnologia Soderberg		
Fator (Tier 2)	VSS	HSS
CSM = emissões de matéria de ciclohexano solúvel (kg / t Al)	0,5	4,0
BC = conteúdo do ligante na pasta (%) pasta seca (úmida)	24,0 (27,0)	24,0 (27,0)
S <sub>p</sub> = conteúdo de enxofre no piche (%)	0,6	0,6
Ash <sub>p</sub> = conteúdo de cinza no piche (%)	0,2	0,2
H <sub>p</sub> = conteúdo de hidrogênio no piche (%)	3,3	3,3
S <sub>c</sub> = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)	1,9	1,9
Ash <sub>c</sub> = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)	0,2	0,2
C <sub>CP</sub> = carbono na poeira sobrenadante das cubas Soderberg (t C / t Al)	0,01	0,01

Fonte: IPCC 2006

### Tier 3

No método Tier 3, usa-se o mesmo raciocínio do Tier 2, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 11 e na Tabela 12 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

## 3.3 Metodologia para Cálculo das Emissões de PFCs - Alumínio

### Tier 1

O método Tier 1 para calcular as emissões de CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> usa as sub-divisões das tecnologias Prebaked Anode (CWPB ou SWPB) e Soderberg (VSS ou HSS), com fatores de emissão default Tabela 13 aplicados à produção, em cada um dos casos, conforme a Equação 9 e Equação 10 a seguir.

Equação 9 - Emissões de CF<sub>4</sub> pela produção de alumínio - Tier 1

$$E_{CF_4} = \sum_i (FE_{CF_4,i} \cdot Q_i)$$

onde,

$E_{CF_4}$  = emissões de CF<sub>4</sub> pela produção de alumínio (kg CF<sub>4</sub>)

$FE_{CF_4}$  = fator de emissão default por tipo de tecnologia i para CF<sub>4</sub> (kg CF<sub>4</sub>/ t Al)

$Q_i$  = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t Al).

Equação 10 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> pela produção de alumínio - Tier 1

$$E_{C_2F_6} = \sum_i (FE_{C_2F_6,i} \cdot Q_i)$$

onde,

$E_{C_2F_6}$  = emissões de  $C_2F_6$  pela produção de alumínio (kg  $C_2F_6$ )

$FE_{C_2F_6}$  = fator de emissão default por tipo de tecnologia  $i$  para  $C_2F_6$  (kg  $C_2F_6$ / t Al)

$Q_i$  = quantidade de alumínio produzida por tipo de tecnologia (t Al)

A Tabela 13 apresenta os valores default para  $FE_{CF_4}$  e  $FE_{C_2F_6}$  na metodologia Tier1.

Tabela 13 - Fatores de emissão default para  $CF_4$  e  $C_2F_6$  na produção de alumínio primário - Tier1

Tecnologia	$FE_{CF_4}$	$FE_{C_2F_6}$
	kg $CF_4$ /t Al	kg $C_2F_6$ /t Al
Prebaked Anode - CWPB	0,4	0,04
Prebaked Anode - SWPB	1,6	0,4
Soderberg - VSS	0,8	0,04
Soderberg - HSS	0,4	0,03

Fonte: IPCC (2006)

## Tier 2

Há dois métodos Tier 2 para calcular as emissões de  $CF_4$ : o da inclinação (*slope method* - Equação 11) e o da sobretensão (*overvoltage method*), cada um com uma fórmula associada. Já as estimativas de  $C_2F_6$  são calculadas como uma fração das emissões de  $CF_4$  (Equação 12). Abaixo são apresentadas as equações referentes ao método da inclinação, único aplicado para as estimativas de emissões dos PFCs da indústria brasileira de alumínio.

### Equação 11 - Emissões de $CF_4$ a partir da produção de alumínio - Tier 2

$$E_{CF_4} = I_{CF_4} \cdot MEA \cdot Q$$

onde,

$E_{CF_4}$  = emissões de  $CF_4$  a partir da produção de alumínio, kg  $CF_4$

$I_{CF_4}$  = coeficiente de inclinação para  $CF_4$ , (kg  $CF_4$ /t Al)/(min-EA/célula-dia)

MEA = minutos de efeito anódico por célula-dia, min-EA/célula-dia

Q = quantidade de alumínio produzida, t Al.

#### Equação 12 - Emissões de $C_2F_6$ pela produção de alumínio - Tier 2

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

onde,

$E_{C_2F_6}$  = emissões de  $C_2F_6$  da produção de alumínio, kg  $C_2F_6$

$E_{CF_4}$  = emissões de  $CF_4$  a partir da produção de alumínio, kg  $CF_4$

$F_{C_2F_6/CF_4}$  = relação  $C_2F_6/CF_4$  (kg  $C_2F_6$ /kg  $CF_4$ ).

A tabela a seguir mostra os valores default para o coeficiente de inclinação e a relação  $C_2F_6/CF_4$ , por tecnologia, nesta abordagem Tier 2.

Tabela 14 - Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de  $CF_4$  e relação  $C_2F_6/CF_4$  - Tier2

Tecnologia	Coeficiente de inclinação	$F_{C_2F_6/CF_4}$ = relação $C_2F_6/CF_4$
	(kg $CF_4$ /t Al)/(min-EA/célula-dia)	kg $C_2F_6$ /kg $CF_4$
Prebaked Anode - CWPB	0,143	0,121
Prebaked Anode - SWPB	0,272	0,252
Soderberg - VSS	0,092	0,053
Soderberg - HSS	0,099	0,085

Fonte: IPCC (2006)

### Tier 3

No método Tier 3, usa-se o mesmo raciocínio do Tier 2, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 14 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

### 3.4 Dados

As emissões de  $CO_2$  e de PFCs foram estimadas para o período 1990 a 2010. Os resultados refletem a consolidação das medições realizadas pelas empresas em determinados períodos, e quando não foi possível usar a medição, foram aplicados valores *default* do IPCC (2006).

Cada planta utilizou a melhor abordagem (Tier) possível para o cálculo das emissões de seus processos de acordo com a Tabela 15. Por falta de informações específicas de cada planta, a partir de 2008 foram usados fatores de emissão implícitos de 2007.

**Tabela 15 - Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> e PFCs por planta para o período 1990-2007**

Rota tecnológica		Planta	CO <sub>2</sub>	PFCs
Tipo	Sub-divisão			
<i>Soderberg</i>	VSS e HSS	Novelis (BA)	Tier 2	Tier 2
	HSS	Novelis (MG)	Tier 2	Tier 2
	VSS	Alcoa (MG)	Tier 2	Tier 3
	VSS	CBA (SP)	Tier 3	Tier 3
<i>Prebaked Anode</i>	CWPB	Albras (PA)	Tier 1	Tier 1 (1990-1996) Tier 3 (1997-2007)
	CWPB	Alumar (MA)	Tier 3	Tier 2
	CWPB	Valesul (RJ)	Tier 2	Tier 1

Os dados coletados para as estimativas de emissões de PFCs compreenderam:

- o As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das próprias empresas produtoras primárias.
- o Os dados sobre duração e frequência dos efeitos anódicos das empresas Novelis, Alcoa, Votorantim Metais - CBA, Albras e Alumar. Para a empresa Valesul as estimativas de emissões foram realizadas com o Tier 1.

Já os dados para as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> foram:

- o As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das empresas.
- o Os dados de consumo dos anodos de cada planta Novelis, Alcoa, VMetals - CBA e Alumar. As emissões relativas à empresa Albras foram estimadas com o Tier 1.

### 3.4.1 Coleta dos dados

A coleta dos dados foi realizada com a colaboração das empresas produtoras de alumínio, referente ao período de 1990 a 2007, para cada planta. A partir de 2008 os dados foram obtidos junto a ABAL (Associação Brasileira do Alumínio).

Na Tabela 16 são apresentados resumidamente os dados das produções nacionais de alumínio por tipo de tecnologia.

Tabela 16 - Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia

Detalhe	Produção brasileira de alumínio (toneladas)									
	Tecnologia Soderberg					Tecnologia Prebaked Anode				
Fábrica	Novelis	Novelis	Alcoa	CBA	Total Soderberg	Albras	Alumar	Valesul	Total Prebaked Anode	Total
Tipo tecn.	VSS+HSS	HSS	VSS	VSS		CWPB	CWPB	CWPB		
Localidade	Aratu - BA	Ouro Preto - MG	Poços de Caldas - MG	Alumínio - SP	Barcarena - MG	São Luís - MA	Santa Cruz - RJ			
1990	56.382	50.896	88.512	174.013	369.803	193.997	264.324	92.749	551.070	920.873
1991	56.826	49.900	89.438	204.328	400.492	287.995	352.173	92.181	732.349	1.132.841
1992	56.533	50.615	89.646	216.431	413.225	335.192	357.386	93.014	785.592	1.198.817
1993	28.910	48.938	89.821	216.883	384.552	345.017	358.669	85.169	788.855	1.173.407
1994	29.890	42.580	90.401	221.804	384.675	347.419	362.630	90.696	800.745	1.185.420
1995	38.427	41.516	89.766	220.462	390.171	341.129	365.269	91.891	798.289	1.188.460
1996	49.033	44.369	88.761	220.007	402.170	339.661	363.579	91.581	794.821	1.196.991
1997	45.604	47.666	89.690	220.972	403.932	337.983	353.921	92.333	784.237	1.188.170
1998	53.648	48.869	90.922	221.047	414.486	344.697	355.296	92.859	792.852	1.207.338
1999	52.660	49.707	91.261	233.883	427.511	361.242	365.623	93.074	819.939	1.247.449
2000	56.631	50.302	91.733	240.078	438.744	369.209	369.059	92.572	830.840	1.269.584
2001	47.607	44.438	69.637	230.375	392.056	334.782	325.674	79.845	740.301	1.132.357
2002	52.210	49.575	87.220	246.435	435.440	416.140	370.520	92.883	879.543	1.314.983
2003	56.265	50.173	95.014	284.273	485.725	435.922	333.066	94.613	863.601	1.349.326
2004	57.823	50.950	90.693	345.365	544.831	440.458	377.084	95.361	912.903	1.457.734
2005	57.033	50.593	95.267	370.368	573.261	449.520	380.967	94.007	924.494	1.497.755
2006	58.442	51.439	96.120	404.922	610.922	459.886	437.596	95.845	993.327	1.604.250
2007	58.503	49.790	96.482	450.872	655.647	458.896	447.155	93.768	999.819	1.655.466
2008	58.704	44.778	97.203	465.743	666.429	459.289	451.628	85.724	996.641	1.663.070
2009	52.138	48.752	65.253	471.354	637.497	453.781	434.121	10.241	898.143	1.535.640
2010	40.870	48.168	88.327	472.018	649.383	451.117	433.203	0	884.320	1.533.703

Do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 1995; 2000; 2005; 2010; e 2013) tem-se também o consumo de coque de petróleo e piche usados na produção de alumínio no Brasil, na constituição dos anodos. Tais dados não foram usados diretamente no cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, conforme a metodologia exposta acima, mas serão úteis no cálculo das emissões de gases não-CO<sub>2</sub> dos metais não ferrosos, na seção 5.

**Tabela 17 - Consumo de energéticos na produção do alumínio**

Ano	<i>Piche</i>	<i>Coque de Petróleo</i>
	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>
1990	122	370
1991	138	439
1992	141	434
1993	135	415
1994	131	490
1995	149	442
1996	133	445
1997	132	433
1998	138	442
1999	141	461
2000	141	473
2001	131	422
2002	152	497
2003	162	531
2004	167	545
2005	173	556
2006	184	602
2007	190	603
2008	187	599
2009	166	533
2010	172	551

Fonte: Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 1995; 2000; 2005; 2010 e 2013)



### 3.5 Resultados da produção de alumínio

A Tabela 18 a seguir apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> do consumo e preparo dos anodos por tipo de tecnologia.

Tabela 18 - Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de CO <sub>2</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	Gg CO <sub>2</sub>		
1990	672	902	1.574
1991	726	1.175	1.901
1992	756	1.256	2.012
1993	698	1.248	1.946
1994	692	1.264	1.956
1995	707	1.258	1.965
1996	722	1.259	1.981
1997	720	1.255	1.975
1998	741	1.266	2.007
1999	773	1.306	2.079
2000	791	1.325	2.116
2001	701	1.178	1.879
2002	771	1.405	2.176
2003	818	1.380	2.198
2004	957	1.451	2.408
2005	1.002	1.471	2.473
2006	1.072	1.574	2.646
2007	1.154	1.585	2.739
2008	1.173	1.580	2.753
2009	1.122	1.423	2.545
2010	1.143	1.401	2.544

A Tabela 19 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CO<sub>2</sub>.

**Tabela 19 - FE implícito CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia**

Ano	FE implícito de CO <sub>2</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CO <sub>2</sub> / t Al		
1990	1,817	1,637	1,709
1991	1,813	1,605	1,678
1992	1,829	1,598	1,678
1993	1,816	1,582	1,659
1994	1,798	1,578	1,650
1995	1,812	1,576	1,654
1996	1,795	1,584	1,655
1997	1,782	1,600	1,662
1998	1,787	1,597	1,662
1999	1,808	1,593	1,666
2000	1,802	1,595	1,667
2001	1,787	1,592	1,659
2002	1,771	1,597	1,655
2003	1,684	1,598	1,629
2004	1,757	1,589	1,652
2005	1,747	1,591	1,651
2006	1,755	1,584	1,649
2007	1,760	1,586	1,655
2008	1,760	1,586	1,655
2009	1,760	1,586	1,655
2010	1,760	1,586	1,655

A Tabela 20 a seguir apresenta as emissões de CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia.

**Tabela 20 - Emissões de CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia**

Ano	Emissões de CF <sub>4</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CF <sub>4</sub>		
1990	140,7	161,5	302,2
1991	153,3	183,3	336,6
1992	150,6	205,9	356,5
1993	138,2	196,7	334,9
1994	131,6	191,6	323,2
1995	125,3	180,7	306,0
1996	114,3	183,3	297,6
1997	89,5	113,3	202,8
1998	93,2	134,5	227,7
1999	102,1	99,2	201,3
2000	74,3	72,2	146,5
2001	52,1	62,6	114,7
2002	52,4	82,7	135,1
2003	61,1	75,1	136,2
2004	58,3	65,8	124,1
2005	63,6	60,3	123,9
2006	61,3	60,5	121,8
2007	62,5	54,9	117,4
2008	62,7	51,8	114,5
2009	61,1	21,2	82,3
2010	59,7	17,0	76,7

A Tabela 21 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CF<sub>4</sub>.

**Tabela 21 - FE implícito CF<sub>4</sub> por tipo de tecnologia**

Ano	FE implícito de CF <sub>4</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg CF <sub>4</sub> / t Al		
1990	0,381	0,293	0,328
1991	0,383	0,250	0,297
1992	0,364	0,262	0,297
1993	0,359	0,249	0,285
1994	0,342	0,239	0,273
1995	0,321	0,226	0,258
1996	0,284	0,231	0,249
1997	0,221	0,144	0,171
1998	0,225	0,170	0,189
1999	0,239	0,121	0,161
2000	0,169	0,087	0,115
2001	0,133	0,085	0,101
2002	0,120	0,094	0,103
2003	0,126	0,087	0,101
2004	0,107	0,072	0,085
2005	0,111	0,065	0,083
2006	0,100	0,061	0,076
2007	0,095	0,055	0,071
2008	0,094	0,052	0,069
2009	0,096	0,024	0,054
2010	0,092	0,019	0,050

A Tabela 22 a seguir apresenta as emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.

**Tabela 22 - Emissões de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia**

Ano	Emissões de C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
1990	9,2	17,1	26,3
1991	10,1	19,0	29,1
1992	9,8	21,3	31,1
1993	8,8	20,2	29,0
1994	8,4	19,5	27,9
1995	8,1	18,2	26,3
1996	7,5	18,6	26,1
1997	5,7	10,0	15,7
1998	5,9	11,3	17,2
1999	6,6	8,7	15,3
2000	5,1	6,6	11,7
2001	3,4	5,8	9,2
2002	3,3	8,4	11,7
2003	4,0	7,5	11,5
2004	3,9	6,1	10,0
2005	4,2	6,1	10,3
2006	4,2	6,2	10,4
2007	4,3	5,6	9,9
2008	4,3	5,3	9,6
2009	4,2	2,2	6,4
2010	4,1	1,8	5,9

A Tabela 23 abaixo exibe os fatores de emissão implícitos do gás C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia.

**Tabela 23 - FE implícito C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> por tipo de tecnologia**

Ano	FE implícito de C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> / t Al		
1990	0,0249	0,0311	0,0286
1991	0,0251	0,0259	0,0256
1992	0,0237	0,0271	0,0260
1993	0,0229	0,0256	0,0247
1994	0,0219	0,0244	0,0235
1995	0,0208	0,0228	0,0222
1996	0,0187	0,0233	0,0218
1997	0,0141	0,0127	0,0132
1998	0,0143	0,0142	0,0142
1999	0,0155	0,0106	0,0123
2000	0,0115	0,0080	0,0092
2001	0,0087	0,0078	0,0081
2002	0,0076	0,0096	0,0089
2003	0,0083	0,0086	0,0085
2004	0,0071	0,0067	0,0068
2005	0,0074	0,0066	0,0069
2006	0,0069	0,0063	0,0065
2007	0,0066	0,0056	0,0060
2008	0,0064	0,0053	0,0057
2009	0,0066	0,0024	0,0042
2010	0,0063	0,0020	0,0038

### 3.6 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

Não houve diferenças em relação aos valores publicados no Segundo Inventário, tendo havido apenas a apresentação dos valores das emissões de CO<sub>2</sub> em gigagramas, arredondados sem decimais, e de PFCs em toneladas, arredondados com uma casa decimal.

## 4. Produção de magnésio

O SF<sub>6</sub> é usado como gás de cobertura para evitar a oxidação do magnésio fundido durante a produção e a fundição de produtos de magnésio metálico, e normalmente escapa para a atmosfera. O SF<sub>6</sub> é considerado um gás não-reativo e se adapta idealmente a este tipo de proteção, como “cobertura” para o magnésio fundido (daí o termo “gás de cobertura”). O consumo do gás usado, portanto, é considerado como estimativa das emissões. Contudo, a produção de magnésio passou a utilizar SO<sub>2</sub> em vez de SF<sub>6</sub> por conta de um projeto MDL, eliminando seu uso a partir do segundo semestre de 2009.

### 4.1 Dados

Foi considerada a série informada para o Segundo Inventário Nacional, que se estendia até 2007. Para 2008 foram consideradas as mesmas emissões de 2007 e para 2009, metade delas, já que o primeiro relatório de monitoramento indica início efetivo do projeto MDL apenas no segundo semestre de 2009.

### 4.2 Resultados da produção de magnésio

Devido a confidencialidade dos dados até 2004, são apresentados resultados consolidados.

Tecnologia	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	t SF <sub>6</sub>								
<i>Uso de SF<sub>6</sub></i>	5,8	10,1	10,3	19,1	21,6	26,0	26,0	13,0	0,0

### 4.3 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

Não houve diferenças para o Segundo Inventário.

## 5. Produção de outros metais não-ferrosos

Além do alumínio e do magnésio, outros metais não ferrosos são produzidos no Brasil, incluindo-se chumbo, cobre, estanho, níquel, silício metálico e zinco.

As produções dos outros metais não-ferrosos no Brasil e no mundo em 2010 são apresentadas na Tabela 24.

**Tabela 24 - Cenário da produção mundial e brasileira de metais não-ferrosos em 2010 (exceto alumínio e magnésio)**

Metal	Produção mundial	Produção brasileira	Participação brasileira na produção mundial
	mil t	mil t	%
Chumbo	4.100	114,9*	NA
Cobre	19.100	213,5	1
Estanho	358	6,5	2
Níquel	1.500	41,9	3
Silício metálico	6.900	184	3
Zinco	12.700	288	2

\*refere-se à produção secundária

Fonte: MME (2011)

A produção desses metais não-ferrosos, exceto o cobre, utiliza combustíveis como redutores de óxidos em fornos em alguma fase do processo, emitindo CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa. Essas emissões, de acordo com o IPCC, devem ser informadas no setor industrial, como emissão de metais não-ferrosos. Os combustíveis utilizados na produção de cada metal são informados na Tabela 25.

**Tabela 25 - Combustíveis utilizados na produção de metais não ferrosos**

Metal	Combustível
Chumbo	Coque
	Óleo Combustível*
	Carvão Vegetal
Cobre	Coque
	Gás Natural*
	Óleo Combustível*
Estanho	Carvão Vegetal
Níquel	Óleo Combustível*
	Carvão Vegetal
Silício metálico	Carvão Vegetal
	Lenha*
	Carvão
Zinco	Óleo Combustível

\* emissões no setor energia

Fonte: MME (2011)



## 5.1 Processo produtivo dos outros não ferrosos

Os principais processos de produção primária ou secundária de metais não ferrosos envolvem a produção em fornos com características semelhantes aos apresentados para alumínio e ferro e aço. Algumas produções envolvem também o processo de sinterização.

Para a avaliação das emissões na produção deste grupo de metais foi considerada a queima total dos combustíveis listados na Tabela 25 destinados ao consumo de não-ferrosos no BEN, excetuando-se o consumo de óleo combustível, gás natural e lenha, que foram contabilizados e alocados no setor Energia.

## 5.2 Metodologia para cálculo das emissões da produção dos outros não ferrosos

A metodologia para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e dos gases não-CO<sub>2</sub> segue o informado nos itens 1.3 e 1.4 para ferro-gusa e aço. No caso dos outros não ferrosos, 100% do consumo de combustíveis apresentados no BEN são considerados como aplicação em aquecimento direto pelo BEU. Como as emissões de CO<sub>2</sub> da produção de alumínio já foram estimadas, as quantidades de energéticos destinados à indústria do alumínio, a saber: coque de petróleo e piche, conforme já indicado na Tabela 17, precisariam ser desconsideradas. No caso do piche, como não há explicitamente seu consumo no BEN, considerou-se proveniente do asfalto, cujo consumo estava sendo contado como totalmente não-emissor, ou seja, seria totalmente estocado. Então, procedeu-se apenas o desconto dos valores de coque de petróleo usado na produção do alumínio para o caso do CO<sub>2</sub>. Além disso, por falta de maiores informações e conforme recomendado no *Good Practice Guidance 2000* (IPCC, 2000), o carbono contido nesses outros não ferrosos foi desconsiderado. As emissões dos gases não-CO<sub>2</sub> será feita indistintamente para todos os não ferrosos, alumínio incluído.

Os fatores de emissão e oxidação utilizados são os mesmos listados na seção anterior para ferro-gusa e aço.

## 5.3 Dados

Foi utilizado o consumo dos combustíveis: coque de petróleo, carvão metalúrgico, coque de carvão mineral e carvão vegetal, informados pelo Balanço Energético Nacional (BEN).

**Tabela 26 - Consumo de energéticos redutores informados no Balanço Energético Nacional para produção de todos não ferrosos**

Ano	Coque de Petróleo	Carvão Vapor 6000 kcal	Carvão Metalúrgico Nacional	Carvão Metalúrgico Importado	Coque de Carvão Mineral	Carvão vegetal
	<i>mil m<sup>3</sup></i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>
1990	401	0	0	0	104	394
1991	447	0	0	0	98	316
1992	431	0	0	0	91	318
1993	474	0	0	0	254	175
1994	526	108	0	0	127	190
1995	547	0	0	19	244	226
1996	596	0	0	131	240	48
1997	492	0	0	131	117	40
1998	447	0	0	109	109	34
1999	462	0	0	151	109	4
2000	486	0	0	214	126	9
2001	437	0	0	166	126	9
2002	494	0	0	217	122	12
2003	578	0	0	152	157	12
2004	569	0	0	154	198	12
2005	587	0	0	157	201	12
2006	628	0	0	152	212	13
2007	668	0	0	161	219	14
2008	676	0	0	51	216	14
2009	676	0	0	47	200	13
2010	701	1.080	0	0	220	14

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo de coque de petróleo deve ser diminuído da quantidade usada para a produção de alumínio, conforme a Tabela 17. A densidade desse energético é de 1.041 kg/m<sup>3</sup>, segundo o BEN.

Já para as emissões de gases não-CO<sub>2</sub>, além de todos os energéticos da tabela acima, também deve ser considerado o piche usado na produção de alumínio, conforme a citada Tabela 17. A densidade deste energético é de 1.040 kg/m<sup>3</sup>, segundo o BEN.

## 5.4 Resultados da produção de outros não ferrosos

A Tabela 27 apresenta as emissões fósseis do processo de produção de não ferrosos, onde não aparecem as emissões de CO<sub>2</sub> e PFCs da produção de alumínio.

Tabela 27 - Emissões pela produção de metais não ferrosos (exceto CO<sub>2</sub> e PFCs do alumínio)

Anos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> biomassa	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC
	Gg						
1990	897	1.137	2,1	0,06	44,4	8,9	1,2
1991	857	912	1,7	0,05	36,1	9,6	1,0
1992	803	918	1,7	0,05	36,2	9,3	1,0
1993	1.518	505	1,0	0,04	21,8	9,9	0,7
1994	1.279	548	1,1	0,04	22,8	10,8	0,7
1995	1.762	652	1,3	0,05	27,6	11,7	0,8
1996	2.197	139	0,3	0,03	8,7	14,0	0,4
1997	1.466	115	0,2	0,03	6,8	11,8	0,3
1998	1.201	98	0,2	0,02	5,9	10,6	0,3
1999	1.319	12	0,0	0,02	2,8	11,5	0,2
2000	1.606	26	0,1	0,03	3,7	13,0	0,3
2001	1.431	26	0,1	0,02	3,4	11,3	0,3
2002	1.582	35	0,1	0,03	4,0	13,2	0,3
2003	1.724	35	0,1	0,03	4,3	13,8	0,3
2004	1.788	35	0,1	0,03	4,5	13,7	0,3
2005	1.855	35	0,1	0,03	4,6	14,1	0,3
2006	1.901	38	0,1	0,03	4,9	14,8	0,3
2007	2.112	40	0,1	0,03	5,1	15,8	0,4
2008	1.813	41	0,1	0,03	4,9	14,1	0,3
2009	1.914	38	0,1	0,03	4,7	14,0	0,3
2010	4.332	42	0,1	0,03	4,9	13,8	0,3

## 5.5 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

No Segundo Inventário Nacional as emissões referentes aos combustíveis redutores dos metais não-ferrosos foram consideradas no setor Energia, mas sem alteração da metodologia.

## 6. Referências bibliográficas

ABAL - Anuário Estatístico 2013.

ABAL. Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Alumínio 2006/2007- São Paulo - pág. 32

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatórios de Referência - Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up*, Brasília. 2010.

MME - Ministério das Minas e Energia. Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 1995. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - MME. 1995.

\_\_\_\_\_ Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2000. 2000.

\_\_\_\_\_ Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2005. 2005.

\_\_\_\_\_ Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2010. 2010.

\_\_\_\_\_ Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2013. 2013.

MME - Ministério das Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional, 2013 (ano base 2012)*. EPE/MME. Brasília. 2013

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

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

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