



COMUNICAÇÃO NACIONAL DO
BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO
DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE
MUDANÇA DO CLIMA

PROJETO BRA/16/G31

**QUARTA COMUNICAÇÃO NACIONAL E RELATÓRIOS DE ATUALIZAÇÃO
BIENAL DO BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS
SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**

**QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES
ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIO DE REFERÊNCIA

SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

SUBSETORES:

Indústria Mineral
Indústria Química
Indústria Metalúrgica
Produtos não Energéticos de Combustíveis e Solventes
Outros

Setembro de 2020

QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

Subsetores: Indústria Mineral, Indústria Química, Indústria Metalúrgica, Produtos não Energéticos de Combustíveis e Solventes, Outros

Coordenadora Técnica da Quarta Comunicação Nacional
Danielly Godiva Santana Molleta (PNUD/MCTI)

Supervisor do Quarto Inventário Nacional
Mauro Meirelles de Oliveira Santos (PNUD/MCTI)

Analista Técnica do Quarto Inventário Nacional
Mayra Braga Rocha (PNUD/MCTI)

Coordenador Técnico-Científico do Quarto Inventário Nacional pela Rede Clima
Eduardo Delgado Assad (Embrapa)

Autor
Mauro Meirelles de Oliveira Santos (PNUD/MCTI)

Colaboradores
Carolina Burle Schmidt Dubeux (UFRJ)
Gonzalo Visedo (SNIC)
Lucila Caselato (IABr)
Mauricio Francisco Henriques Junior (INT)
Maria Elizabeth Morales Carlos (INT)
Renata de Sousa Candido (INT)
Valéria Lima (ABAL)

Instituições colaboradoras
Abal - Associação Brasileira do Alumínio
Abiquim - Associação Brasileira da Indústria Química
Centro Clima/Coppe/UFRJ
IABr - Instituto Aço Brasil
INT - Instituto Nacional de Tecnologia
MME - Ministério de Minas e Energia
Rima Industrial S.A.
SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

Aviso

Este documento compreende atualizações das estimativas de emissões com base na aplicação das Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC no acrônimo em inglês), ou simplesmente IPCC 2006 neste relatório, que servirão de subsídios para elaboração futura do capítulo do “Inventário Nacional de Emissões Antrópicas e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”, parte integrante da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima. Nesse trabalho, foram consideradas, na medida do possível, informações oficiais públicas para o período de 1990 a 2016.

Todas as indicações, dados e resultados desse estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e outros órgãos governamentais eximem-se da responsabilidade de implementar quaisquer dos resultados, interpretações, recomendações, estimativas ou conclusões contidas neste estudo.

Sumário

Sumário Executivo	15
1 Indústria mineral	22
1.1 Produção de cimento	22
1.1.1 Metodologia	23
1.1.2 Dados	28
1.1.3 Resultados	31
1.1.4 Diferenças para o Terceiro Inventário	32
1.2 Produção de cal	32
1.2.1 Metodologia	33
1.2.2 Dados	35
1.2.3 Resultados	38
1.2.4 Diferenças para o Terceiro Inventário	39
1.3 Produção de vidro	40
1.3.1 Metodologia	40
1.3.2 Dados	41
1.3.3 Diferenças para o Terceiro Inventário	45
1.4 Outras utilizações de carbonatos em processos	46
1.4.1 Cerâmica	46
1.4.2 Outros usos de barrilha	62
1.4.3 Produção de magnésia não metalúrgica	64
1.4.4 Diferenças para o Terceiro Inventário	66
2 Indústria Química	67
2.1 Produção de amônia	68
2.1.1 Metodologia	68
2.1.2 Dados	69
2.2 Produção de ácido nítrico	70
2.2.1 Metodologia	71
2.2.2 Dados	71
2.3 Produção de ácido adípico	73
2.3.1 Metodologia	73
2.3.2 Dados	73
2.4 Produção de caprolactama	75
2.4.1 Metodologia	75

2.4.2	Dados	75
2.5	<i>Produção e uso do carbureto de cálcio</i>	77
2.5.1	Metodologia	77
2.6	<i>Produção de petroquímica e negro de fumo</i>	78
2.6.1	Metanol	78
2.6.2	Eteno (ou etileno)	78
2.6.3	Dicloroetano e cloreto de vinila (MVC)	80
2.6.4	Óxido de eteno	81
2.6.5	Acrilonitrila	82
2.6.6	Coque de petróleo calcinado	83
2.6.7	Negro de fumo	84
2.6.8	Dados de petroquímicos e de negro de fumo	85
2.7	<i>Outros produtos químicos</i>	86
2.7.1	Metodologia	86
2.7.2	Dados	86
2.8	<i>Produção de fluoroquímicos</i>	88
2.8.1	Metodologia	88
2.8.2	Dados	88
2.9	<i>Resultados</i>	89
2.9.1	Emissões de CO ₂	89
2.9.2	Emissões de CH ₄	90
2.9.3	Emissões de N ₂ O	91
2.9.4	Emissões de HFC-23	92
2.9.5	Emissões de CO	93
2.9.6	Emissões de NO _x	94
2.9.7	Emissões de NMVOC	95
2.10	<i>Diferenças para o Terceiro Inventário</i>	96
3	<i>Indústria Metalúrgica</i>	97
3.1	<i>Produção de ferro e aço nas usinas integradas</i>	97
3.1.1	Processo siderúrgico - usinas integradas e semi-integradas	98
3.1.2	Processo siderúrgico - usinas dedicadas ao ferro-gusa	104
3.1.3	Metodologia para cálculo das emissões de CO ₂	104
3.1.4	Metodologia para cálculo das emissões dos gases não CO ₂	105
3.1.5	Dados	105
3.1.6	Resultados	113
3.1.7	Diferenças para o Terceiro Inventário	114

3.2	<i>Produção de ferro-gusa nas usinas dedicadas</i>	126
3.2.1	Metodologia	126
3.2.2	Dados	126
3.2.3	Resultados	126
3.3	<i>Produção de ferroligas</i>	128
3.2.1.	Processo siderúrgico de ferroligas	130
3.2.2.	Metodologia para cálculo das emissões da produção de ferroligas	130
3.2.3.	Dados	132
3.2.4.	Resultados	133
3.2.5.	Diferenças para o Terceiro Inventário	134
3.4	<i>Produção de alumínio</i>	135
3.4.1	Processo produtivo do alumínio	136
3.4.2	Metodologia para cálculo das emissões de CO ₂ - alumínio	139
3.4.3	Metodologia para cálculo das emissões de PFCs - Alumínio	144
3.4.4	Metodologia para CO e NOx	146
3.4.5	Simplificações da metodologia a partir de 2008	146
3.4.6	Dados	146
3.4.7	Resultados	149
3.4.8	Diferenças para o Terceiro Inventário	155
3.5	<i>Produção de magnésio</i>	156
3.5.1	Metodologia	156
3.5.2	Dados	156
3.5.3	Resultados	157
3.5.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	157
3.6	<i>Produção de chumbo</i>	158
3.7	<i>Produção de zinco</i>	158
3.8	<i>Metais não ferrosos de modo geral</i>	158
3.8.1	Metodologia	158
3.8.2	Dados	159
3.8.3	Resultados	161
3.8.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	161
4	Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	162
4.1	<i>Emissões evaporativas (NMVOC)</i>	162
4.1.1	Metodologia	162
4.1.2	Dados	162
4.1.3	Resultados	164

4.1.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	165
4.2	<i>Uso de lubrificantes</i>	165
4.2.1	Metodologia	165
4.2.2	Dados	165
4.2.3	Resultados	165
4.3	<i>Alcatrão</i>	167
4.3.1	Metodologia	167
4.3.2	Dados	167
4.3.3	Resultados	168
4.3.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	168
5	Indústria eletrônica	169
6	Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	169
7	Fabricação e uso de outros produtos	169
8	Outros	170
8.1	<i>Indústria de papel e celulose</i>	170
8.1.1	Metodologia	170
8.1.2	Dados	171
8.1.3	Resultados	172
8.1.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	172
8.2	<i>Indústria de alimentos e bebidas</i>	173
8.2.1	Metodologia	173
8.2.2	Dados	173
8.2.3	Resultados	176
8.2.4	Diferenças para o Terceiro Inventário	176
9	Referências	177

Lista de Figuras

<i>Figura 1-1. Participação regional na produção de cimento no Brasil - 2016</i>	<i>22</i>
<i>Figura 1-2. Normas Técnicas ABNT - Adições ao Cimento</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1-3. Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1-4. Emissões de CO₂ no processo da produção de cimento no Brasil, de 1990 a 2016.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1-5. Fatores de emissão implícitos para as emissões CO₂ referentes à produção de cimento e de clínquer.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1-6. Emissões de CO₂ da produção da cal no Brasil, 1990-2016</i>	<i>39</i>
<i>Figura 1-7. Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2016</i>	<i>45</i>
<i>Figura 1-8. Relação da produção de cerâmica com energia consumida no setor, de 2005 a 2016 .</i>	<i>54</i>
<i>Figura 1-9. Evolução das emissões de CO₂ referentes a outros usos da barrilha, fora produção de vidro.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3-1. Fluxograma de produção de aço.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3-2. Usinas Integradas</i>	<i>99</i>
<i>Figura 3-3. Usinas semi-integradas.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 3-4. Siderurgia a Carvão Vegetal.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 3-5. Evolução das emissões de CO₂ da produção de aço e o fator de emissão implícito, de 1990 a 2016</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3-6. Comparação das emissões de CO₂ da produção de ferro e aço com o Terceiro Inventário</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3-7. Comparação das emissões de CO₂ da produção de ferroligas com o Terceiro Inventário</i>	<i>134</i>
<i>Figura 3-8. Produção de alumínio primário - Processo Soderberg, de 1990 a 2016</i>	<i>135</i>
<i>Figura 3-9. Produção de alumínio primário - Processo Prebaked, de 1990 a 2016</i>	<i>136</i>
<i>Figura 3-10. Diagrama de uma célula de redução</i>	<i>137</i>
<i>Figura 3-11. Fluxograma do processo de produção de alumínio com cubas com anodos e tecnologia Soderberg.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 3-12. Fluxograma do processo de produção de alumínio com a tecnologia de cubas com anodos pré-cozidos (Prebaked)</i>	<i>138</i>

Lista de Tabelas

Tabela 1-1. Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento	29
Tabela 1-2. Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de descarbonatação ..30	
Tabela 1-3. Emissões de CO ₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento.....	31
Tabela 1-4. Classificação da cal	34
Tabela 1-5. Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição	34
Tabela 1-6. Caracterização das cales e respectivos fatores de emissão	34
Tabela 1-7. Produção de cal no Brasil	36
Tabela 1-8. Tipos de cales produzidas, sem água.....	37
Tabela 1-9. Emissões de CO ₂ do setor da cal no Brasil, de 1990 a 2012.....	38
Tabela 1-10. Variação percentual em relação anterior	42
Tabela 1-11. Variação percentual da produção do setor de vidro em relação anterior	42
Tabela 1-12. Produção e reciclagem da indústria do vidro, de 1990 a 2016	43
Tabela 1-13. Uso de calcário, dolomita e barrilha na produção de vidro e emissões de CO ₂	44
Tabela 1-14. Pesos atômicos de cal e carbonatos.....	47
Tabela 1-15. Dados brutos sobre cerâmica da base de dados SIDRA-IBGE, de 2005 a 2013	49
Tabela 1-16. Produção total de cerâmica, em toneladas, de 2005 a 2013	51
Tabela 1-17. Dados brutos sobre cerâmica da base de dados SIDRA-IBGE, de 2014 a 2016	53
Tabela 1-18. Produção total de cerâmica, em toneladas, de 2014 a 2016	53
Tabela 1-19. Energia apropriada ao setor Cerâmica, conforme o Balanço Energético Nacional, após conversões de valores para a unidade de energia (ktep).....	54
Tabela 1-20. Relação entre produção e energia (t/tep).....	54
Tabela 1-21. Produção calculada de cerâmica de 1990 a 2004	55
Tabela 1-22. Distribuição média da produção de cerâmica, em termos de massa, para os códigos do IBGE, entre 2005 a 2016.....	55
Tabela 1-23. Fatores de emissão para carbonatos.....	56
Tabela 1-24. Fatores de emissão da produção de cerâmica, por estado.....	57
Tabela 1-25. Participação dos estados nas diversas subcategorias de cerâmica.....	58
Tabela 1-26. Produção estimada das subcategorias Cerâmica vermelha, Cerâmica de revestimento, Louça de mesa e Louça sanitária	59
Tabela 1-27. Emissões pelas subcategorias do setor Cerâmica (Gg CO ₂).....	59
Tabela 1-28. Emissões do setor de Cerâmica no Brasil	60
Tabela 1-29. Dados sobre a barrilha e emissões de CO ₂ , fora da produção de vidro.	63
Tabela 1-30. Dados da magnesita beneficiada e emissões de CO ₂ da produção de magnésia	66
Tabela 2-1. Produção de amônia e de ureia	69
Tabela 2-2. Produção de ácido nítrico.....	72
Tabela 2-3. Produção de ácido adípico	74

<i>Tabela 2-4. Produção de caprolactama.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 2-5. Produção de petroquímicos e negro de fumo.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 2-6. Fatores de emissão de NMVOC para outros produtos químicos.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 2-7. Dados de produção de outros produtos químicos.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 2-8. Produção de HCFC-22.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 2-9. Emissões de CO₂ da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 2-10. Emissões de CH₄ da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 2-11. Emissões de N₂O da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 2-12. Emissões de HFC-23 da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 2-13. Emissões de CO da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 2-14. Emissões de NO_x da produção de substâncias químicas.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 2-15. Emissões de NMVOC da produção de petroquímicos.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 2-16. Emissões de NMVOC da produção de outras substâncias químicas.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 3-1. Produção de aço por empresa, no Brasil.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 3-2. Conteúdo de carbono dos materiais.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 3-3. Densidade e poder calorífico dos gases da siderurgia.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 3-4. Fatores de emissão para gases não CO₂ para a categoria da produção de ferro e aço.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabela 3-5. Densidades energéticas dos gases siderúrgicos.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabela 3-6. Comparação das emissões de CO₂ das coquearias pelas informações do IABr com as calculadas no setor Energia (BEN).....</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 3-7. Emissões da produção de ferro e aço no Brasil, pelas usinas integradas/semi-integradas.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 3-8. Entradas (matérias-primas) dos processos da fabricação de ferro e aço, de 2007 a 2016.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabela 3-9. Saídas (produtos) dos processos da fabricação de ferro e aço, de 2007 a 2016.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 3-10. Entradas (matérias-primas) do processo de sinterização, de 1990 a 2006.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 3-11. Entradas (matéria-prima) dos processos de alto-forno e aciaria, de 1990 a 2006.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 3-12. Saídas (produtos), de 1990 a 2006.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 3-13. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 2007 a 2016.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 3-14. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabela 3-15. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes (em t C).....</i>	<i>122</i>
<i>Tabela 3-16. Saídas de carbono consideradas, relativamente aos produtos, de 2007 a 2016.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabela 3-17. Saídas de carbono consideradas, relativamente aos produtos, de 1990 a 2006.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabela 3-18. Produção de ferro-gusa, de 1990 a 2006, das empresas integradas.....</i>	<i>123</i>

<i>Tabela 3-19. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabela 3-20. Consumo de gás de aciaria e gás de alto-forno e produção de sinter que usa antracito.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabela 3-21. Fatores de emissão para a produção de gusa usando carvão vegetal</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 3-22. Consumo de carvão vegetal para a produção de gusa</i>	<i>127</i>
<i>Tabela 3-23. Emissões da produção de ferro-gusa das usinas dedicadas.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabela 3-24. Produção brasileira de ferroligas</i>	<i>129</i>
<i>Tabela 3-25. Fatores de emissão de CO₂ para os redutores usados na produção de ferroligas ..</i>	<i>131</i>
<i>Tabela 3-26. Consumo de redutores para o setor de ferroligas.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabela 3-27. Emissões da produção de ferroligas.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabela 3-28. Valores default para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode - Tier 2.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabela 3-29. Valores default para parâmetros da tecnologia Soderberg - Tier 2</i>	<i>143</i>
<i>Tabela 3-30. Fatores de emissão default para CF₄ e C₂F₆ na produção de alumínio primário - Tier1</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 3-31. Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de CF₄ e relação C₂F₆/CF₄ - Tier2</i>	<i>146</i>
<i>Tabela 3-32. Fatores de emissão para CO e NO_x na produção de alumínio primário</i>	<i>146</i>
<i>Tabela 3-33. Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂ e PFCs por planta para o período 1990-2007</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 3-34. Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabela 3-35. Emissões de CO₂ do consumo e preparo dos anodos.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 3-36. Fatores de emissão implícitos para CO₂, por tipo de tecnologia.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabela 3-37. Emissões de CF₄ por tipo de tecnologia</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 3-38. Fatores de emissão implícitos para CF₄, por tipo de tecnologia</i>	<i>152</i>
<i>Tabela 3-39. Emissões de C₂F₆ por tipo de tecnologia</i>	<i>153</i>
<i>Tabela 3-40. Fatores de emissão implícitos para C₂F₆, por tipo de tecnologia</i>	<i>154</i>
<i>Tabela 3-41. Emissões de CO e NO_x da produção de alumínio.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabela 3-42. Produção de magnésio e emissões associadas</i>	<i>157</i>
<i>Tabela 3-43. Fatores de emissão de CO₂ para os redutores usados na produção de não ferrosos</i>	<i>159</i>
<i>Tabela 3-44. Energéticos usados como redutores para a produção de metais não ferrosos</i>	<i>160</i>
<i>Tabela 3-45. Emissões de GEE referentes à produção de metais não ferrosos.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabela 4-1. Densidade dos combustíveis para cálculo das emissões NMVOC</i>	<i>162</i>
<i>Tabela 4-2. Consumo não energético fora a indústria química - sem oxidação.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabela 4-3. Emissões de NMVOC de outros consumos não energéticos.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabela 4-4. Consumo de lubrificantes, fora uso da Química, e emissões de CO₂.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabela 4-5. Consumo de alcatrão, fora uso da química, e emissões de CO₂</i>	<i>168</i>
<i>Tabela 8-1. Produção de pastas de celulose, de 1990 a 2016.....</i>	<i>171</i>

<i>Tabela 8-2. Emissões da produção do setor de papel e celulose</i>	<i>172</i>
<i>Tabela 8-3. Fatores de emissão de NMVOC para a produção de alimentos e bebidas</i>	<i>173</i>
<i>A Tabela 8-4 apresenta a produção brasileira dos alimentos e das bebidas para os casos em que existem emissões de NMVOC associadas, para o período de 1990 a 2016.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabela 8-5. Produção nacional de alimentos e bebidas que geram NMVOC</i>	<i>175</i>
<i>Tabela 8-6. Emissões de NMVOC da produção de alimentos e bebidas.....</i>	<i>176</i>

Siglas

Abceram - Associação Brasileira de Cerâmica

Abip - Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria

Abiquim - Associação Brasileira da Indústria Química

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANM - Agência Nacional de Mineração

ABPC - Associação Brasileira de Produtores de Cal

BEN - Balanço Energético Nacional

BFG - *blast furnace gas* (gás de alto-forno)

BOFG - *basic oxygen furnace* (gás de aciaria)

C₂F₆ - perfluoretano

CDQ, pó de - *coke dry quenching* (têmpera a seco de coque)

CF₄ - perfluorometano

CH₄ - metano

CO - monóxido de carbono

CO₂ - gás carbônico ou dióxido de carbono

CO₂eq - equivalente de CO₂

COG - *coke oven gas* (gás de coqueria)

CSI - *The Cement Sustainability Initiative*

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão

CWPB - *Centre-Worked Prebake*

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

FE - fator de emissão

FEA - fornos elétricos a arco

GPG - *Good Practice Guidance* (Guia de Boas Práticas)

HFCs - hidrofluorcarbonos

HSS - *Horizontal Stud Söderberg*

IABr - Instituto Aço Brasil

IBA - Indústria Brasileira de Árvores

Ibravin - Instituto Brasileiro do Vinho

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IPPU - *Industrial Processes and Product Use* (Processos Industriais e Uso de Produtos)

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

N₂O - óxido nitroso

NMVOC - *non-methane volatile organic compound* (compostos orgânicos voláteis não metânicos)

NO_x - óxidos de nitrogênio

PCI - *Pulverized Coal Injection*

PFCs - perfluorcarbonos

SF₆ - hexafluoreto de enxofre

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SWPB - *Side-Worked Prebake*

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

VM Tubes - *Vallourec & Mannesmann Tubes*, V & M do Brasil

VSS - *Vertical Stud Søderberg*

WSA - *World Steel Association*

Sumário Executivo

Neste relatório são apresentadas as estimativas das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros associadas ao setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, da sigla em inglês), para o período de 1990 a 2016.

As emissões de todos os subsetores estão apresentadas neste Sumário Executivo, embora os capítulos referentes “Indústria eletrônica”, “Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio” e “Fabricação e uso de outros produtos” estejam detalhadamente descritos no Relatório de Referência sobre HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃.

Os gases inventariados neste Quarto Inventário foram o CO₂ (gás carbônico ou dióxido de carbono), o CH₄ (metano), o N₂O (óxido nitroso) e o SF₆ (hexafluoreto de enxofre); da família dos HFCs (hidrofluorcarbonos) foram identificados: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea e HFC-365mfc; da família dos PFCs (perfluorcarbonos), o CF₄ e o C₂F₆. Não foi identificado o uso de NF₃ (trifluoreto de nitrogênio). Todos esses gases podem ser expressos como equivalente em CO₂ ou CO₂eq. Para isso será usado o potencial de aquecimento global (GWP, em inglês) para 100 anos, apresentado no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR, da sigla em inglês), conforme a norma de apresentação de Inventário para os países em desenvolvimento, Decisão 17/CP.8.

Além desses, foram também inventariados os gases de efeito estufa indireto, CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio) e NMVOC (sigla em inglês para compostos orgânicos voláteis não metano). São chamados de efeito estufa indireto, ou precursores, porque contribuem para a formação de ozônio troposférico (ou seja, na camada mais baixa de atmosfera), que é também um gás de efeito estufa. Tais gases de efeito estufa indireto não são contabilizados em CO₂eq, na inexistência de GWP-SAR para eles.

O resultado das emissões do setor IPPU está apresentado na Tabela I, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016, por gás, em unidades de massa. Já a Tabela II apresenta as emissões por subsetores, em CO₂eq.

A participação dos gases para 2016 em termos de CO₂eq está na Figura I. A evolução dos subsetores de IPPU, de 1990 a 2016, em CO₂eq, está na Figura II.

A Figura III mostra a participação dos grandes subsetores para 2016, em CO₂eq, enquanto a Figura IV detalha essa participação dos subsetores, em 2016.

As emissões de CO₂ apenas, por subsetor, estão na Tabela III; as de CH₄, na Tabela IV; as de N₂O, na Tabela V; as de HFCs (em CO₂eq), na Tabela VI; as de PFCs (em CO₂eq), na Tabela VII; e as de SF₆, na Tabela VIII.

Tabela I. Emissões do setor IPPU, por gás, em unidades de massa

Gás	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005- 2016	Varição 2010- 2016
	Gg						%	
CO ₂	45.051	52.985	64.344	67.467	82.049	85.943	27	5
CH ₄	42,9	37,7	41,0	51,1	41,9	34,5	-32	-18
N ₂ O	11,55	18,21	20,73	23,79	1,51	1,27	-95	-15
HFC-23	0,1202	0,1530	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	ND	356
HFC-32	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0730	ND	ND
HFC-125	0,0000	0,0000	0,0013	0,0022	0,0044	0,0848	3.755	1.838
HFC-134a	0,0000	0,0000	0,3802	0,9152	2,1806	4,1286	351	89
HFC-143a	0,0000	0,0000	0,0016	0,0026	0,0052	0,0140	438	171
HFC-152a	0,0000	0,0000	0,0001	0,1748	0,0000	0,0000	-100	ND
HFC-227ea	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0054	ND	280
HFC-365mfc	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0061	ND	1.665
CF ₄	0,3022	0,3060	0,1465	0,1239	0,0822	0,0381	-69	-54
C ₂ F ₆	0,0263	0,0264	0,0117	0,0104	0,0064	0,0028	-73	-56
SF ₆	0,0112	0,0154	0,0168	0,0270	0,0101	0,0123	-54	22
CO	1.096,4	1.106,4	1.154,9	1.430,3	1.200,2	800,5	-44	-33
NO _x	26,5	26,6	29,3	38,9	38,5	39,5	1	2
NMVOC	1.782,9	2.039,8	2.507,8	2.597,0	3.014,5	2.441,8	-6	-19

Obs.: Percentuais calculados com os valores sem arredondamento.

Tabela II. Emissões no setor IPPU, por subsetor, em CO₂eq

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005- 2016	Varição 2010- 2016
	Gg CO ₂ eq						%	
A. Indústria mineral	15.170,6	16.149,5	21.701,9	20.444,1	28.359,1	29.373,2	44	4
B. Indústria química	8.744,5	12.069,5	12.744,2	14.163,6	8.012,1	8.422,4	-41	5
C. Indústria metalúrgica	28.847,5	34.994,1	37.867,2	42.002,1	46.817,3	48.778,0	16	4
D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	520,4	470,1	624,4	660,7	799,8	762,9	15	-5
E. Indústria eletrônica	-	-	-	-	0,1	0,4	NA	356
F. Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	-	-	504,1	1.230,3	2.871,5	5.727,3	366	99
G. Fabricação e uso de outros produtos	129,8	127,7	154,3	190,3	240,8	294,6	55	22
Total - IPPU	53.412,8	63.810,9	73.596,2	78.691,2	87.100,7	93.358,8	19	7

Obs.: Percentuais calculados com os valores sem arredondamento.

Figura I. Participação dos gases no setor IPPU em CO₂eq

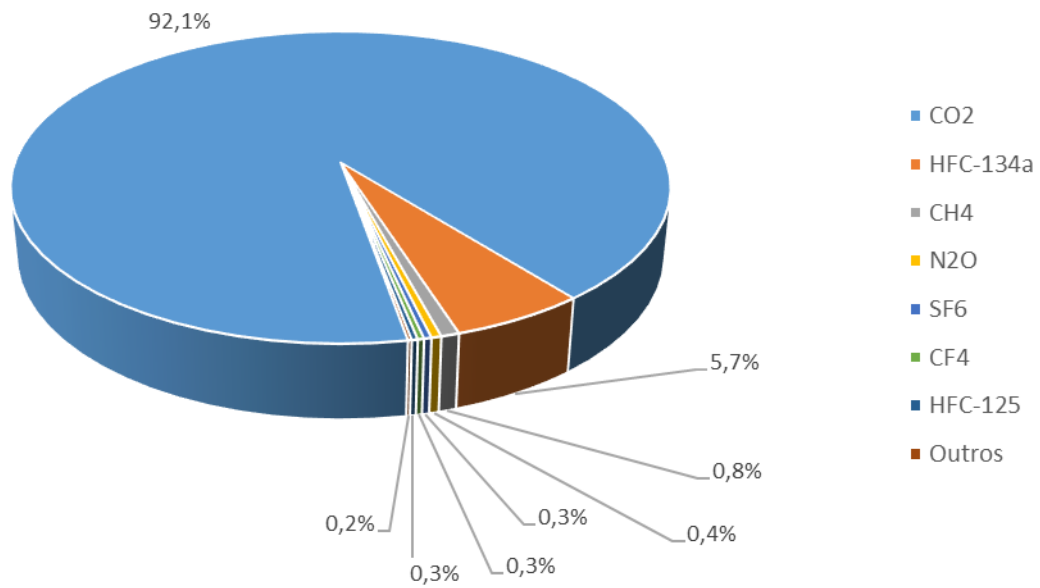


Figura II. Participação dos subsetores de IPPU em 2016, em CO₂eq

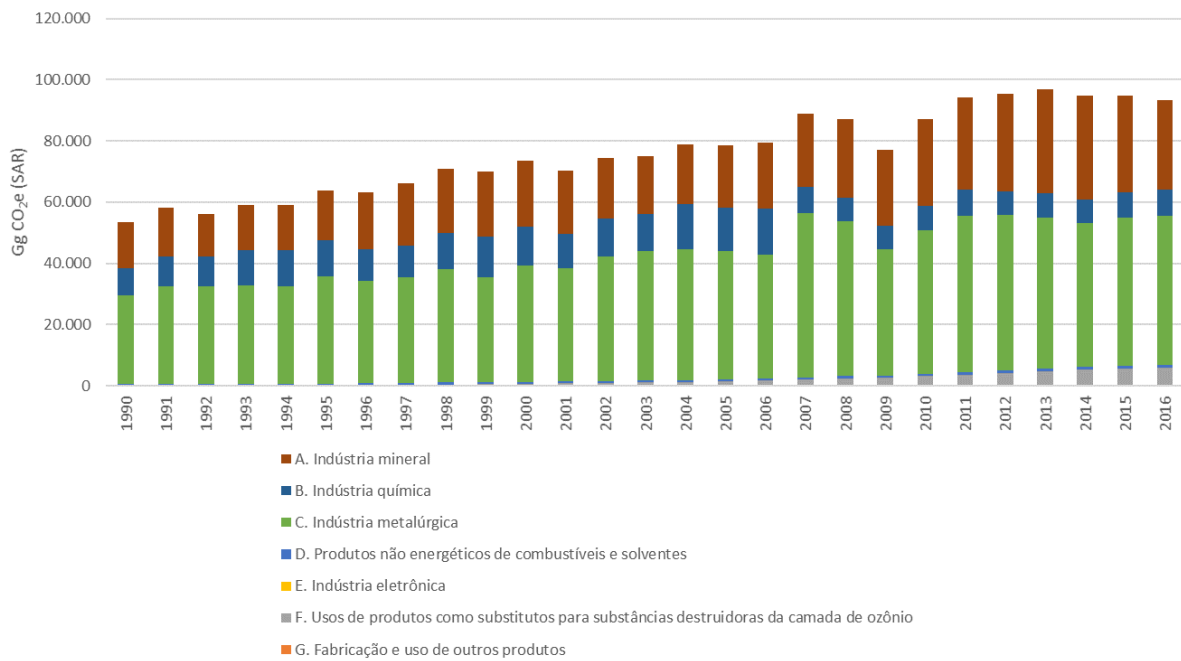


Figura III. Participação dos grandes subsetores de IPPU, em 2016, em CO₂eq

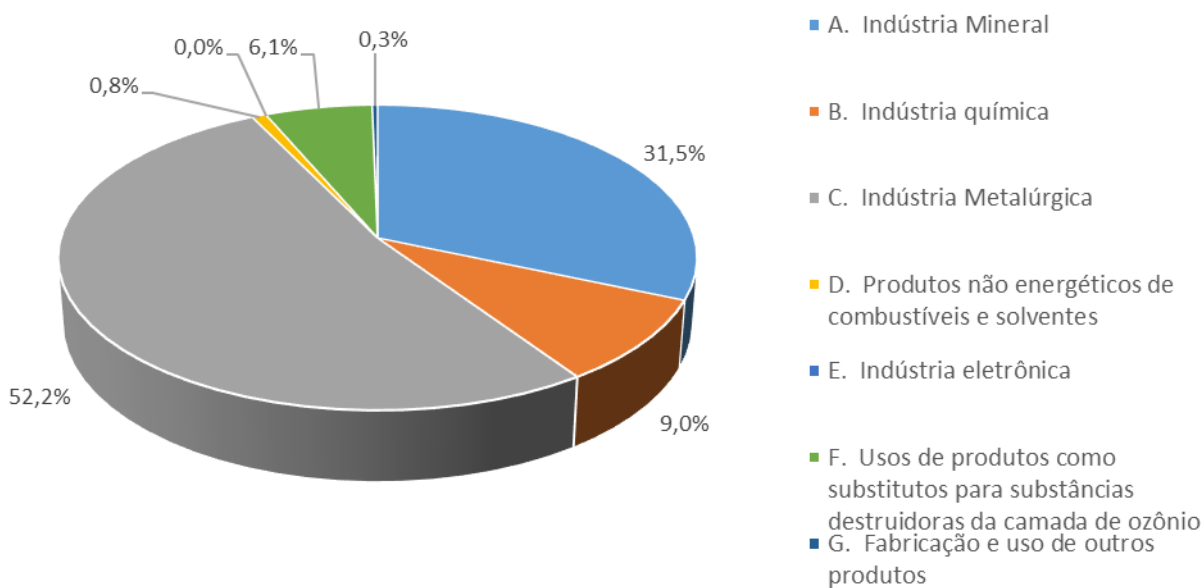


Figura IV. Participações em IPPU em CO₂eq, com detalhamento de subsetores, em 2016

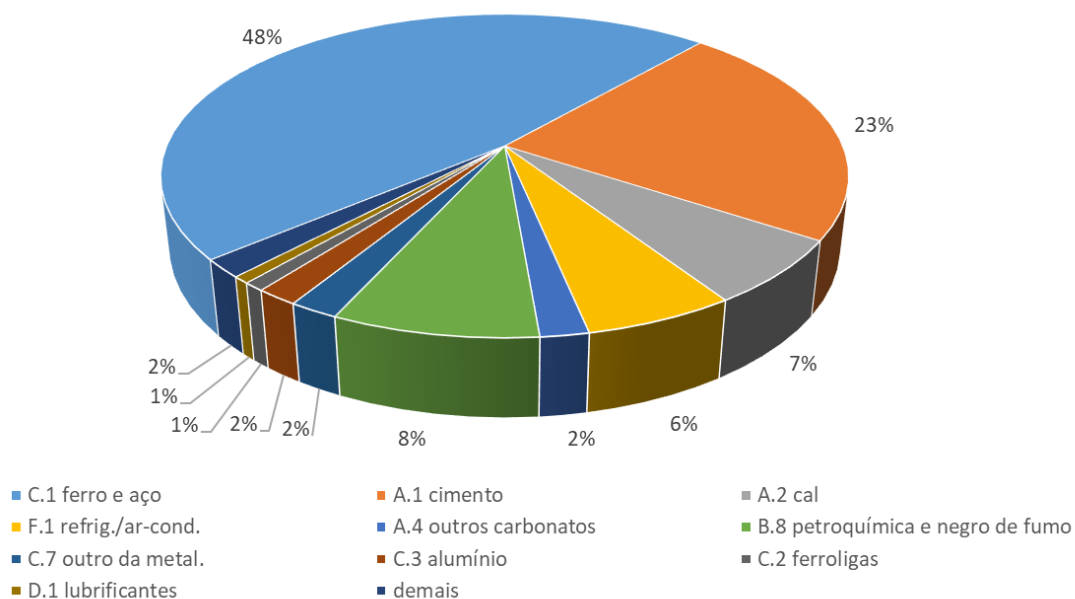


Tabela III. Emissões de CO₂ no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg CO ₂						%	
A. Indústria mineral	15.171	16.149	21.702	20.444	28.359	29.373	44	4
B. Indústria química	3.875	4.684	6.321	6.844	7.472	7.904	15	6
C. Indústria metalúrgica	25.485	31.681	35.697	39.518	45.418	47.903	21	5

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg CO ₂						%	
D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	520	470	624	661	800	763	15	-5
Total - IPPU	45.051	52.985	64.344	67.467	82.049	85.943	27	5

Tabela IV. Emissões de CH₄ no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg CH ₄						%	
B. Indústria química	5,3	6,6	9,0	9,4	12,0	12,2	30	2
C. Indústria metalúrgica	37,6	31,1	32,0	41,7	29,9	22,3	-46	-25
Total - IPPU	42,9	37,7	41,0	51,1	41,9	34,5	-32	-18

Tabela V. Emissões de N₂O no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg N ₂ O						%	
B. Indústria química	10,81	17,60	20,11	22,98	0,93	0,85	-96	-9
C. Indústria metalúrgica	0,74	0,60	0,62	0,81	0,57	0,43	-47	-25
Total - IPPU	11,55	18,21	20,73	23,79	1,51	1,27	-95	-15

Tabela VI. Emissões de HFCs (em CO₂eq) no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg HFCs_CO ₂ eq						%	
B. Indústria química	1.406,8	1.790,6	-	-	-	-	NA	NA
E. Indústria eletrônica	-	-	-	-	0,1	0,4	NA	356
F. Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	-	-	504,1	1.230,3	2.871,5	5.727,3	366	99
Total - IPPU	1.406,8	1.790,6	504,1	1.230,3	2.871,6	5.727,7	366	99

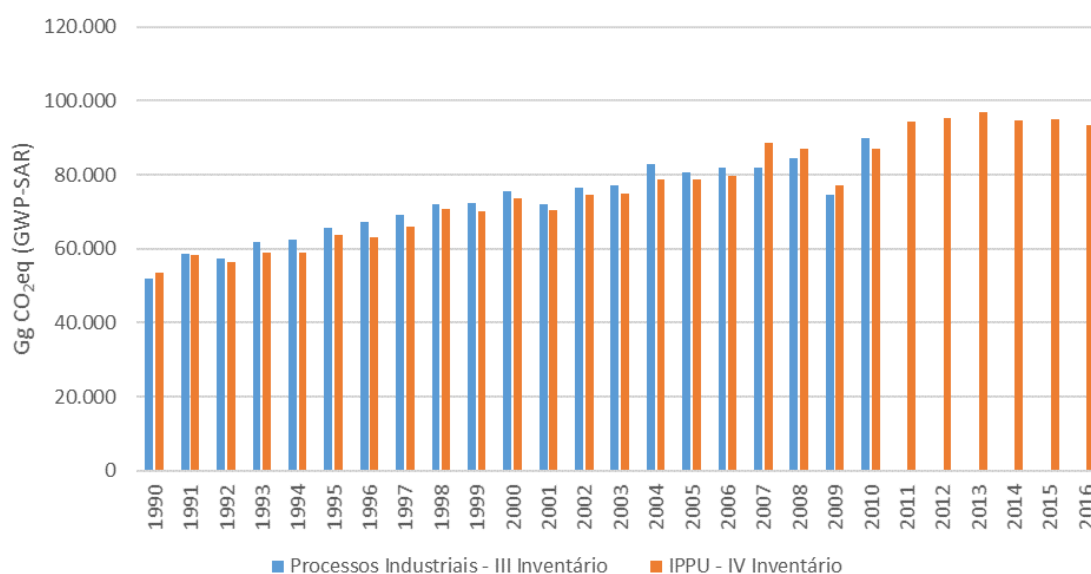
Tabela VII. Emissões de PFCs (em CO₂eq) no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg PFCs_CO ₂ eq						%	
C. Indústria metalúrgica	2.207	2.232	1.060	901	593	273	-70	-54
E. Indústria eletrônica	-	-	-	-	0,01	0,04	NA	356
Total - IPPU	2.207	2.232	1.060	901	593	273	-70	-54

 Tabela VIII. Emissões de SF₆ no setor IPPU

Subsetores	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Varição 2005-2016	Varição 2010-2016
	Gg SF ₆						%	
C. Indústria metalúrgica	0,0058	0,0101	0,0103	0,0191	-	-	-100	NA
G. Fabricação e uso de outros produtos	0,0054	0,0053	0,0065	0,0080	0,0101	0,0123	55	22
Total - IPPU	0,0112	0,0154	0,0168	0,0270	0,0101	0,0123	-54	22

A Figura V mostra a comparação dos resultados em relação ao Terceiro Inventário, que apresentou dados até 2010. Pelo Quarto Inventário, em 2010, as emissões foram recalculadas e ficaram 3,2% abaixo, considerando-as em CO₂eq. Nesse ano, a maior diferença, em relação aos valores anteriores do Terceiro Inventário, recaiu sobre as emissões de HFCs, que diminuíram 58% (3.911 Gg CO₂eq), devido à evolução do modelo de cálculo. Essa diminuição foi parcialmente compensada pelo aumento das emissões de CO₂, de 1,6% (1.263 Gg), devido a recálculos na indústria metalúrgica, na indústria química, inclusão de novas categorias (cerâmica e magnésia), aliados ao deslocamento de parte das emissões da produção de amônia para o setor agropecuário, devido ao uso da ureia.

 Figura V. Comparação das emissões de IPPU, calculadas no Terceiro e no Quarto Inventário, em CO₂eq


Para todos os subsetores, a metodologia básica está contida nas Diretrizes de 2006 do IPCC para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*), ou simplesmente IPCC 2006 (IPCC, 2006). Pode haver também referências às Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*), ou simplesmente Guidelines IPCC 1996 (IPCC, 1997) ou ao Guia de Boas Práticas e Gerenciamento de Incertezas em Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC (*IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*), ou simplesmente GPG 2000 (IPCC, 2000).

1 Indústria mineral

1.1 Produção de cimento

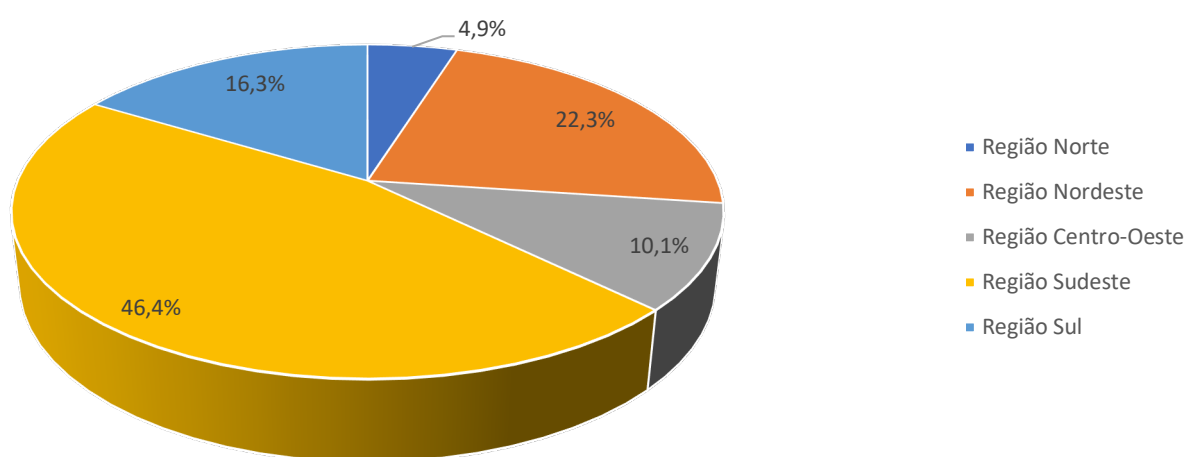
A produção do cimento requer a produção do clínquer, quando acontece a descarbonatação do calcário (CaCO_3). O CaCO_3 é calcinado e como resultado produz cal (CaO) e como subproduto o CO_2 . Depois de produzida, a cal (CaO) reage com a sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3), formando o clínquer, um produto nodular intermediário, que é moído com uma porção de gesso para fabricação do cimento Portland.

Em escala mundial, aproximadamente 90% das emissões de CO_2 oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção de clínquer, seja na calcinação/descarbonatação da matéria-prima, seja com a queima de combustíveis no interior do forno. A parcela restante resulta do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica na fábrica.

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

Em 2016, segundo o site do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o parque produtor de cimento contava com 100 fábricas no país, controladas por 24 grupos industriais. Juntos, tinham a capacidade de 100 milhões de toneladas por ano de cimento, sendo que produziram 57 milhões de toneladas nesse ano. Fábricas estão presentes em 88 municípios, de 24 estados na federação. A Figura 1-1 a seguir apresenta a participação regional na produção de cimento no Brasil.

Figura 1-1. Participação regional na produção de cimento no Brasil - 2016



Cimentos com adições

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

A produção de cimentos com adições ao clínquer, com materiais como escórias siderúrgicas, cinzas volantes, pozolanas artificiais e fíler calcário, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, uma vez que diminui a produção de clínquer e consequentemente a queima de combustíveis e a emissão por calcinação. Adicionalmente, a indústria trabalha com a possibilidade de redução de emissões com o uso de combustíveis alternativos e eficiência energética, temas afeitos ao Setor Energia do Inventário.

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

Figura 1-2. Normas Técnicas ABNT - Adições ao Cimento

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Cimento Portland comum (1926)
CP I-S ⇒ 1 - 5% adições • Cimento Portland de alto-forno (1952)
CP III ⇒ 35 - 70% escória • Cimento Portland pozolânico (1969)
CP IV ⇒ 15 - 50% cinza volante • Cimento Portland composto (1991)
CP II-E ⇒ 6 - 34% escória
CP II-Z ⇒ 6 - 14% cinza volante
CP II-F ⇒ 6 - 10% calcário |
|--|

Fonte: ABCP

A crescente utilização, desde longa data, de adições ao cimento no Brasil tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO₂ da indústria.

1.1.1 Metodologia

As Diretrizes para Preparação de Comunicações Nacionais de Países não Incluídos no Anexo I da Convenção sobre Mudança do Clima (países em desenvolvimento), aprovadas na Oitava Conferência das Partes (17/CP.8), estabelecem que as metodologias a serem usadas nos Inventários Nacionais são as incluídas no IPCC 1996 (IPCC, 1997). Os países são ainda encorajados a utilizar o GPG 2000 (IPCC, 2000).

As metodologias do IPCC 1996 e do GPG 2000 são apresentadas em duas abordagens (Tier 1 e Tier 2), que se baseiam nas quantidades produzidas de cimento e de clínquer, respectivamente. O GPG 2000 observa que abordagens metodológicas mais detalhadas podem ser utilizadas, se forem justificadas e documentadas.

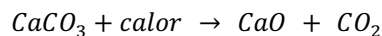
O setor cimenteiro brasileiro tem se empenhado na obtenção de informação detalhada necessária à aplicação da metodologia setorial da *Cement Sustainability Initiative* (CSI), uma iniciativa dos maiores grupos cimenteiros do mundo vinculada ao *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), com o objetivo de desenvolver uma série de ações de caráter ambiental, dentre as quais o controle e monitoramento das emissões de GEE. Essas informações são compatíveis com a abordagem Tier 3 do IPCC 2006 (IPCC, 2006), que considera as composições das matérias-primas (carbonatos) utilizadas, corrige as emissões pelo conteúdo de MgO e inclui outros parâmetros específicos como a correção da poeira do forno de cimento (*Cement Kiln Dust - CKD*), que é considerada uma perda do sistema, e o carbono da matéria orgânica contido nas matérias-primas.

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

O processo de descarbonatação

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

Equação 1-1

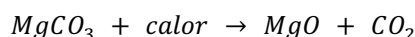


A CaO reage então com sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) para formar o clínquer.

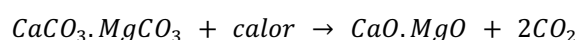
Entretanto, existem outros carbonatos presentes na matéria-prima, em menor escala, que não o CaCO_3 . Calcários magnesianos [MgCO_3] e dolomíticos [$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$] possuem magnésio em sua composição. Quando submetidos a elevada temperatura, esses carbonatos fracionam-se, também liberando CO_2 , conforme a Equação 1-2 e a

Equação 1-3.

Equação 1-2



Equação 1-3



Comparação entre a metodologia Tier 3 do IPCC 2006 e a da CSI

No IPCC 2006 - Tier 3, basicamente as emissões de CO₂ são calculadas tomando-se em conta a composição dos carbonatos consumidos durante o processo de descarbonatação do calcário no forno de calcinação do clínquer. Já na CSI, as emissões são baseadas nos teores de CaO e MgO presentes no clínquer.

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

Tier 3 - IPCC 2006

A Equação 1-4, apresentada no Tier 3 *IPCC 2006* é utilizada para calcular as emissões baseadas nos dados das matérias-primas consumidas na produção do clínquer, com desconto das emissões de CKD não calcinadas (perdas do sistema) e considerando as emissões de matéria-prima não energética que contenha carbono.

Equação 1-4

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

- Primeira parcela - emissões dos carbonatos

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

- Segunda parcela - correção do CKD

São necessárias a massa de poeira (CKD) não reciclada no forno (Md), a fração de carbonato nessa massa (Cd), sua fração de calcinação (Fd) e o respectivo fator de emissão (FE_d). Caso toda a poeira tenha sido calcinada, ou toda a poeira seja reciclada no forno, esse termo se anula. A parte do CKD não calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada uma fonte de falsa contagem de CO₂, pois teria sido contabilizada junto com o total da matéria-prima calcinada, devendo, portanto, haver o desconto correspondente. Pelo GPG 2000, sugere-se apenas uma correção de 1,5% a 2% nas emissões calculadas para o clínquer, nas plantas modernas.

- Terceira parcela - emissões de matéria-prima não energética adicional aos carbonatos que contenha carbono

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

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

Metodologia CSI

- Emissões dos Carbonatos

A partir do conhecimento das frações de CaO e MgO do clínquer, obtidas por análises químicas em cada fábrica, chega-se ao fator de emissão relacionado ao processo de descarbonatação, correspondente ao termo “Emissões dos Carbonatos” da Equação 1-4 citada anteriormente, e pode ser calculado como a soma dos dois fatores de emissão relacionados aos óxidos:

Equação 1-5

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

Onde:

Equação 1-6

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

Equação 1-7

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

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

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

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

- Emissões da poeira dos fornos (CKD)

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

- Emissões do carbono orgânico contido na matéria-prima

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

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

Equação 1-8

$FE_{\text{matéria_orgânica}} = \text{Fator "farinha clínquer" padrão} \times \text{TOC} \times \text{relação pesos moleculares CO}_2/\text{C}$

Onde:

Fator "farinha/clínquer" padrão: 1,55 t farinha/t clínquer

- TOC - teor de carbono orgânico na farinha: 2 kg TOC /t farinha
- Relação entre os pesos moleculares do CO₂ / C: 3,664 kg CO₂/kg C

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

Ou seja, pela metodologia do CSI, as emissões de CO₂ do carbono contido na matéria-prima são calculadas com as informações das próprias fábricas, ou é aplicado o *default* de 11 kg CO₂/t clínquer conforme a Equação 1-8 acima.

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

Conclusão da comparação entre a metodologia da CSI e a do IPCC 2006

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

1.1.2 Dados

A partir da obtenção das séries históricas específicas das plantas no Segundo Inventário Nacional, continuou-se a coleta de dados nas empresas associadas ao SNIC para o Quarto Inventário. Tais dados foram obtidos de forma que as estimativas das emissões pudessem ser calculadas pelo método mais acurado possível.

Os dados coletados compreenderam:

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

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

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

A coleta dos dados foi realizada através de uma consulta do SNIC junto a seus associados. Por motivos de sigilo industrial só serão abertos nesta seção os dados consolidados de produção de clínquer, cimento e o respectivo conteúdo de clínquer no cimento, no âmbito nacional.

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

Integração dos dados do SNIC com o restante da produção nacional

Para se considerar as emissões totais do Brasil, o SNIC estimou as quantidades de clínquer produzidas pelas empresas não associadas e aplicou o mesmo fator de emissão implícito anual para as emissões de CO₂ de suas associadas.

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

Ano	Produto		Conteúdo de clínquer no cimento
	Clínquer	Cimento	t clínquer / t cimento
	1.000 t		
1990	20.161	25.848	0,780
1991	21.458	27.490	0,781
1992	17.748	23.903	0,742
1993	18.407	24.843	0,741
1994	18.412	25.230	0,730
1995	21.071	28.256	0,746
1996	25.346	34.597	0,733
1997	27.971	38.096	0,734
1998	29.684	39.942	0,743
1999	29.941	40.234	0,744
2000	29.227	39.901	0,732
2001	27.791	39.454	0,704
2002	26.178	38.927	0,672
2003	23.681	35.122	0,674
2004	23.945	35.983	0,665
2005	26.307	38.706	0,680
2006	28.468	41.896	0,679
2007	31.768	46.551	0,682
2008	34.482	51.970	0,664
2009	34.737	51.747	0,671
2010	38.053	59.117	0,644
2011	40.780	64.093	0,636
2012	44.300	68.809	0,644
2013	46.890	70.161	0,668
2014	47.000	71.000	0,662
2015	42.500	64.600	0,658
2016	38.500	57.300	0,672

Fonte: SNIC

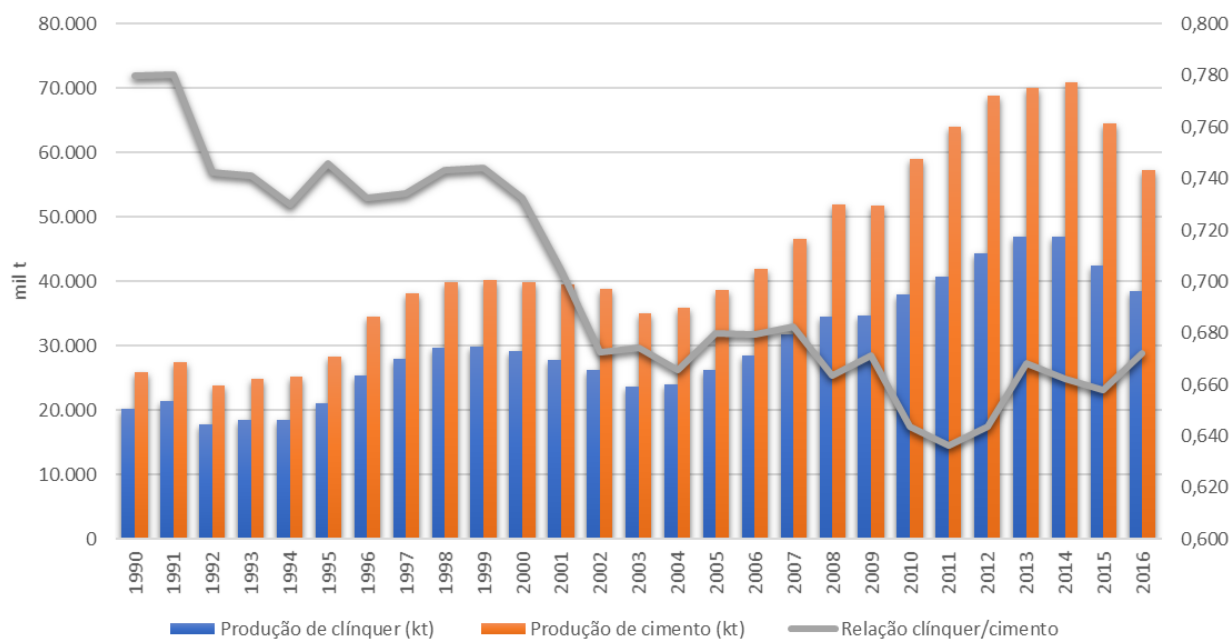
Na Tabela 1-2 a seguir, são apresentados os pesos moleculares das substâncias químicas envolvidas no processo de decarbonatação.

Tabela 1-2. Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de decarbonatação

Massas moleculares	g/mol
Carbonato de cálcio - CaCO ₃	100,1
Carbonato de magnésio - MgCO ₃	84,3
Óxido de cálcio - CaO	56,1
Óxido de magnésio - MgO	40,3
Dióxido de carbono - CO ₂	44,0

Fonte: CSI / WBCSD, 2005

Figura 1-3. Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento



Fonte: Elaboração própria, com base em SNIC

Tratamento dos dados

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

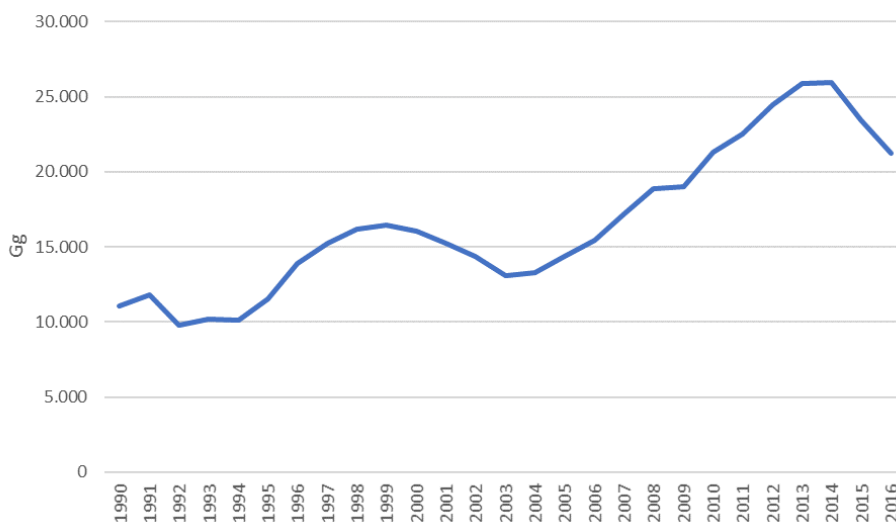
Todos os dados básicos e emissões das plantas individuais foram agregados para apresentação neste Inventário.

1.1.3 ResultadosTabela 1-3. Emissões de CO₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento

Ano	Emissões de CO ₂	Fator de Emissão Implícito	
		Clínquer	Cimento
	Gg	t CO ₂ /t produto	
1990	11.062	0,549	0,428
1991	11.776	0,549	0,428
1992	9.770	0,550	0,409
1993	10.164	0,552	0,409
1994	10.086	0,548	0,400
1995	11.528	0,547	0,408
1996	13.884	0,548	0,401
1997	15.267	0,546	0,401
1998	16.175	0,545	0,405
1999	16.439	0,549	0,409
2000	16.047	0,549	0,402
2001	15.227	0,548	0,386
2002	14.390	0,550	0,370
2003	13.096	0,553	0,373
2004	13.273	0,554	0,369
2005	14.349	0,545	0,371
2006	15.440	0,542	0,369
2007	17.200	0,541	0,369
2008	18.884	0,548	0,363
2009	19.031	0,548	0,368
2010	21.288	0,559	0,360
2011	22.496	0,552	0,351
2012	24.438	0,552	0,355
2013	25.867	0,552	0,369
2014	25.927	0,552	0,365
2015	23.445	0,552	0,363
2016	21.238	0,552	0,371

A evolução das emissões encontra-se na
Figura 1-4 a seguir.

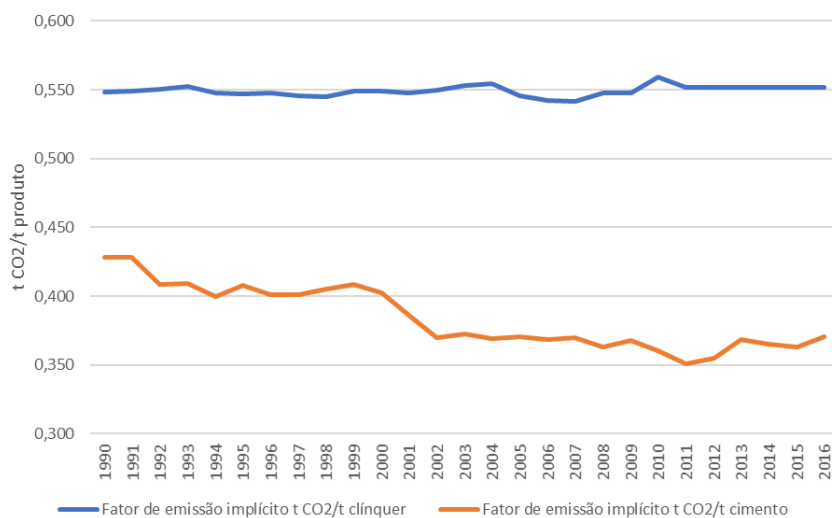
Figura 1-4. Emissões de CO₂ no processo da produção de cimento no Brasil, de 1990 a 2016



A

Figura 1-5 mostra a evolução dos fatores de emissão implícitos para CO₂, considerando-se tanto o cimento quanto o clínquer produzido. Nota-se que as adições de outros componentes no cimento em substituição ao clínquer faz com que o fator de emissão implícito do cimento venha diminuindo ao longo dos últimos anos.

Figura 1-5. Fatores de emissão implícitos para as emissões CO₂ referentes à produção de cimento e de clínquer



1.1.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Para este Inventário não houve alterações até 2010. Na falta de informações atualizadas do SNIC após 2010 sobre cálculos dos fatores de emissão, foi mantida a média dos últimos três anos do fator de emissão implícito para o clínquer (2008 a 2010).

1.2 Produção de cal

A cal é um produto com diversas aplicações, entre as quais se podem destacar a metalurgia, a construção civil, a indústria de papel e celulose, o tratamento de água e de efluentes, o controle de pH e a estabilização de solos.

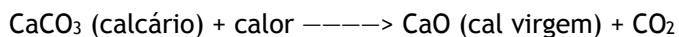
São produzidos, basicamente, dois tipos de cal: a cal virgem, também chamada cal viva ou ordinária, e a cal hidratada, que é resultado da combinação química entre cal virgem e água.

O termo “cal” é utilizado, na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para designar o produto composto por óxido de cálcio (CaO) e por óxido de cálcio e magnésio (CaOMgO), resultantes da calcinação de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. A cal é classificada conforme o percentual de óxido de cálcio total:

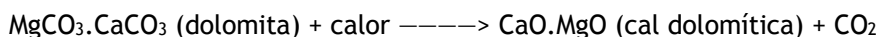
- Cal calcítica ou cálcica - com óxido de cálcio (CaO) entre 100% e 90% do peso total.
- Cal magnesiana - com teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90% e 65% do peso total.
- Cal dolomítica - com óxido de cálcio entre 65% e 58% do peso total.

Sendo assim, ao referir-se a um tipo de cal, refere-se na realidade a uma gama de produtos, com composições de CaO e CaO.MgO variáveis.

A cal é formada pelo aquecimento do calcário para decompor os carbonatos, em um processo chamado de calcinação ou descarbonatação. Isso é feito em altas temperaturas em forno rotativo e o processo libera dióxido de carbono, de acordo com a seguinte equação:



Já a cal hidratada é obtida a partir da cal virgem, com operações de adição de água. Dolomita pode também ser processada em altas temperaturas para se obter cal dolomítica (e liberação de CO₂) de acordo com a seguinte reação:



1.2.1 Metodologia

A massa de CO₂ produzida por unidade de cal fabricada pode ser estimada pelos pesos moleculares e o conteúdo de cal dos produtos. Com base na reação de calcinação, um mol de dióxido de carbono é formado para cada mol de cal virgem produzido pela calcinação do carbonato de cálcio. Nos casos em que dolomita é calcinada, o fator de emissão é baseado na proporção dos óxidos de cálcio e magnésio.

Conforme a Tabela 2-4 do IPCC 2006 (vol. 3, cap. 2), os fatores de emissão de CO₂ são apresentados:

Para cal virgem:

$$FE = 44,01 \text{ g/mol CO}_2 / 56,08 \text{ g/mol CaO}$$

$$= 0,785 \text{ t CO}_2/\text{t cal virgem}$$

Para cal dolomítica:

$$FE = 2 \times 44,01 \text{ g/mol CO}_2 / 96,39 \text{ g/mol CaO.MgO}$$

$$= 0,913 \text{ t CO}_2/\text{t cal dolomítica}$$

Em ambos os casos as fórmulas supõem cal pura, mas em alguns casos a pureza pode variar de 85% a 95% (Tabela 2-4 do IPCC 2006). Foi adotado neste Inventário o valor de 95% para pureza da cal.

Na prática, como há mistura de calcários, calcários magnesianos e dolomitos, as cales resultantes têm conteúdos variáveis de CaO e de CaO.MgO. No Brasil a seguinte classificação é adotada:

Tabela 1-4. Classificação da cal

Classificação da cal	% CaO total
Calcítica	90 - 100
Magnésiana	65 - 90
Dolomítica	58,2 - 65

Fonte: Elaboração própria, conforme ABNT

Usando-se as relações estequiométricas, pode-se chegar à seguinte **Erro! Vínculo não válido.** de correspondência entre percentual de CaO total com a composição da cal, considerando-se uma participação variável entre CaO e CaO.MgO:

Tabela 1-5. Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição

% CaO total	CaO	CaO.MgO
58,2	0,0%	100,0%
65,0	16,3%	83,7%
90,0	76,1%	23,9%
100,0	100,0%	0,0%

Na falta de uma caracterização completa das cales no país, adotaram-se para este relatório os valores médios de percentual de CaO total, resultando nas proporções de CaO e CaO.MgO constantes da Tabela 1-6. Para se chegar aos fatores de emissão finais, considera-se ainda a pureza de 95% das cales produzidas. Eles também são apresentados na Tabela 1-6.

Tabela 1-6. Caracterização das cales e respectivos fatores de emissão

Classificação da cal	CaO médio	CaO.MgO médio	FE (t CO ₂ /t cal)
Calcítica	88,0%	12,0%	0,760
Magnésiana	46,2%	53,8%	0,811
Dolomítica	8,2%	91,8%	0,857

Outra informação importante para fins deste Inventário é a composição da cal produzida no país. De acordo com informações da ABPC, a cal virgem é basicamente calcítica. A cal hidratada é dividida em calcítica, 20%, e dolomítica, 80%. Esse percentual de 80% da cal dolomítica pode ser ainda subdividido entre dolomítica propriamente dita, 30%, e magnesiana, 50%.

1.2.2 Dados

A Associação Brasileira de Produtores de Cal (ABPC) foi a principal fonte de informação sobre os números do setor até 2014, sendo base também para o Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e posteriormente para o Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME).

Foram obtidos dados sobre a produção de cal virgem e hidratada da ABPC, que reporta informação das empresas associadas, das empresas de mercado cativo e avalia as não associadas. As empresas de mercado cativo são as que suprem suas necessidades com produção própria, basicamente as grandes siderúrgicas, que têm na cal um insumo estratégico de larga importância, a ponto de justificar a manutenção de instalações próprias de produção. Em 2009 as empresas associadas foram responsáveis por 51% da produção nacional, o mercado cativo possuía 22% e as não associadas tiveram uma participação estimada em 27%. A partir de 2010, quando alguns fornos de siderúrgicas passaram a vender para o mercado aberto, a ABPC mudou a forma da informação, indicando apenas o mercado cativo e o mercado aberto, com participações de 13% e 87%, respectivamente. Em 2015 e 2016, apenas a produção total foi disponível, pelo Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME) de 2017, sendo a divisão entre os tipos feita segundo a de 2014. Em 2016 o mercado cativo foi estimado em 12% da produção nacional.

Segundo a ABPC, os dados do período 1990-1994 das empresas não associadas basearam-se em dados de produção geral publicados pelo DNPM, e a partir de 1995 os dados foram baseados em estimativas e estatísticas da associação.

Para as produções de não associados de 1990 a 1994, a ABPC informa que os dados de produção foram os publicados no Sumário Mineral. Em relação aos anos de 1995 em diante há algumas divergências entre o Sumário Mineral e a ABPC, com variações situadas entre +13% e -10%. Como a informação do Sumário Mineral é expressamente baseada na ABPC, que fez atualizações posteriores às publicações do Sumário, optou-se neste relatório por utilizar os dados de produção da ABPC.

Além disso, até 1996, as estimativas de produção de não associados à ABPC referiam-se apenas a dados gerais e não separavam cal virgem da cal hidratada. Para efeito deste relatório e estimativa das emissões da produção da cal, para esses primeiros anos foi feita uma aproximação quanto à separação dos dois tipos de cal: o percentual médio de cal virgem dos anos 1997 e 1998 (42%) dos não associados foi aplicado aos anos 1990 a 1996; para 1999, adotou-se o percentual médio de 1998 e 2000 (55%).

Os dados de produção de cal, por tipo e por ano, estão na Tabela 1-7.

Também é necessário identificar, no caso da cal hidratada, a parcela relativa à água para que seja subtraída da produção total e se obter assim a produção seca (cal virgem) correspondente. Cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 tonelada de cal hidratada², o que equivale a dizer que 21,3% do peso da cal hidratada são constituídos de água.

Tabela 1-7. Produção de cal no Brasil

Ano	Cal virgem - produção informada				Cal hidratada - produção informada			Total geral
	Produtores associados CV ¹	Não associados CV ³	Produção cativa CV ²	Total de cal virgem	Produtores associados CH ¹	Não associados CH ³	Total de cal hidratada	
1990	1.335	646	1.048	3.029	978	893	1.871	4.900
1991	1.359	658	1.008	3.025	1.067	908	1.975	5.000
1992	1.351	689	1.236	3.276	1.013	951	1.964	5.240
1993	1.327	790	1.375	3.492	1.052	1.090	2.142	5.634
1994	1.498	599	1.378	3.475	1.122	828	1.950	5.425
1995	1.444	546	1.427	3.417	1.273	754	2.027	5.444
1996	1.465	546	1.466	3.477	1.416	754	2.170	5.647
1997	1.527	560	1.549	3.636	1.343	771	2.114	5.750
1998	1.418	512	1.523	3.453	1.306	734	2.040	5.493
1999	1.354	935	1.470	3.759	1.225	765	1.990	5.749
2000	1.595	1.491	1.546	4.632	1.244	682	1.926	6.558
2001	1.592	1.421	1.392	4.405	1.221	682	1.903	6.308
2002	1.696	1.380	1.558	4.634	1.240	607	1.847	6.481
2003	1.783	1.388	1.589	4.760	1.270	587	1.857	6.617
2004	2.145	1.366	1.589	5.100	1.278	830	2.108	7.208
2005	2.189	1.521	1.392	5.102	1.165	720	1.885	6.987
2006	2.420	1.162	1.570	5.152	1.157	748	1.905	7.057
2007	2.474	1.246	1.670	5.390	1.228	775	2.003	7.393
2008	2.536	1.238	1.635	5.409	1.201	815	2.016	7.425
2009	2.167	920	1.490	4.577	1.203	865	2.068	6.645
2010	4.677		995	5.672	2.089		2.089	7.761
2011	5.243		963	6.206	2.029		2.029	8.235
2012	5.346		962	6.308	2.005		2.005	8.313
2013	5.219		1.184	6.403	2.016		2.016	8.419
2014	4.932		1.253	6.185	1.967		1.967	8.152
2015	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300
2016	5.022		1.276	6.297	2.003		2.003	8.300

Unidade: mil toneladas

¹ Produção informada à ABPC pelas empresas associadas, até 2009; a partir de 2010, incluído no mercado aberto.

² Produção própria informada à ABPC por CSN, Cosipa, Açominas, Usiminas, CST, White Martins e Cia. Nacional de Álcalis, até 2009.

³ Valores estimados. A partir de 2010, o valor está incluído no mercado aberto.

² Essa informação provém das edições anteriores do Inventário Nacional e é compatível com o valor de 1,3 do Anuário Estatístico do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2013).

Com as informações obtidas anteriormente, pode-se apresentar os tipos de cal e respectivas quantidades de produção, descontada a água, presentes na Tabela 1-8.

Tabela 1-8. Tipos de cales produzidas, sem água

Ano	Equivalente em cal calcítica (sem água)	Equivalente em cal magnésiana (sem água)	Equivalente em cal dolomítica (sem água)
	mil t		
1990	3.324	736	442
1991	3.336	778	467
1992	3.585	773	464
1993	3.829	843	506
1994	3.782	768	461
1995	3.736	798	479
1996	3.819	854	513
1997	3.969	832	499
1998	3.774	803	482
1999	4.072	783	470
2000	4.935	758	455
2001	4.705	749	450
2002	4.925	727	436
2003	5.052	731	439
2004	5.432	830	498
2005	5.399	742	445
2006	5.452	750	450
2007	5.705	789	473
2008	5.726	794	476
2009	4.903	814	489
2010	6.001	822	493
2011	6.526	799	479
2012	6.624	789	474
2013	6.720	794	476
2014	6.495	774	465
2015	6.613	788	473
2016	6.613	788	473

1.2.3 Resultados

Na Tabela 1-9 a seguir são apresentados os resultados para anos selecionados.

Efetua-se o cálculo das emissões multiplicando-se a quantidade de cal produzida, já subtraída da água referente à eventual hidratação, pelo fator de emissão da cal, segundo o tipo de cal.

Com os fatores de emissão apresentados na Tabela 1-6, obtêm-se as emissões de CO₂ oriundas da produção da cal no Brasil.

A Tabela 1-9 apresenta as emissões para todos os anos, enquanto a Figura 1-6 mostra a evolução das emissões anuais de CO₂ da produção da cal no Brasil, englobando tanto o mercado cativo quanto o mercado aberto.

Tabela 1-9. Emissões de CO₂ do setor da cal no Brasil, de 1990 a 2012

Ano	Emissões da cal calcítica	Emissões da cal magnesiana	Emissões da cal dolomítica	Total
	Gg CO ₂			
1990	2.526	597	379	3.502
1991	2.535	631	400	3.566
1992	2.725	627	398	3.749
1993	2.910	684	434	4.028
1994	2.875	623	395	3.892
1995	2.840	647	410	3.897
1996	2.902	693	439	4.034
1997	3.016	675	428	4.119
1998	2.868	651	413	3.933
1999	3.095	635	403	4.133
2000	3.751	615	390	4.756
2001	3.576	608	385	4.568
2002	3.743	590	374	4.707
2003	3.840	593	376	4.809
2004	4.128	673	427	5.228
2005	4.103	602	382	5.087
2006	4.144	608	386	5.137
2007	4.336	640	405	5.381
2008	4.352	644	408	5.404
2009	3.726	660	419	4.805
2010	4.561	667	423	5.651
2011	4.959	648	411	6.018
2012	5.034	640	406	6.080
2013	5.108	644	408	6.159
2014	4.936	628	398	5.962
2015	5.026	639	405	6.071
2016	5.026	639	405	6.071

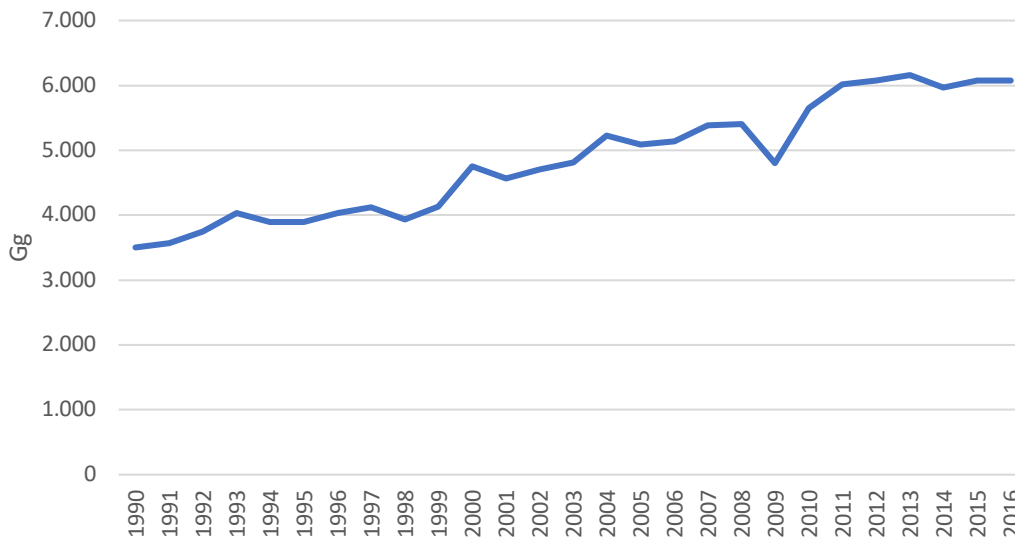


Figura 1-6. Emissões de CO₂ da produção da cal no Brasil, 1990-2016

1.2.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Neste Inventário adotou-se um índice geral de pureza da cal produzida como 95%, em vez de 100%, como até então era adotado. Esse valor fez diminuir as emissões em 5% até 2010, relativamente aos valores do Terceiro Inventário.

1.3 Produção de vidro

Similarmente aos processos de produção do cimento e da cal, existem outros usos onde o calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) são submetidos a altas temperaturas e onde CO_2 é liberado, ao mesmo tempo em que a cal também produzida entra em diversas outras reações. Da mesma forma, existe o uso de barrilha (Na_2CO_3), que também sofre igual decomposição no processo de fabricação de vidro. Neste item são calculadas as emissões de CO_2 envolvidas na produção de vidro.

1.3.1 Metodologia

A massa de CO_2 emitida pela calcinação do calcário e da dolomita pode ser estimada a partir do consumo e pureza das matérias-primas, através da estequiometria dos processos químicos.

Com base na reação de calcinação, um mol de dióxido de carbono é formado para cada mol de calcário. Assim, o fator de emissão de CO_2 para o uso do calcário é:

$$FE_{\text{calc}} = f \times (44,01 \text{ g/mol CO}_2) / (100,09 \text{ g/mol CaCO}_3)$$

$$= (0,440 \times f) \text{ t CO}_2/\text{t calcário}$$

Onde:

f é a fração indicativa da pureza do calcário (t em tonelada de CaCO_3/t minério), sendo considerada igual a 1, caso a pureza não seja conhecida.

Para a dolomita:

$$FE_{\text{dolom}} = f \times (2 \times 44,01 \text{ g/mol CO}_2) / (184,41 \text{ g/mol CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3)$$

$$= (0,477 \times f) \text{ t CO}_2/\text{t dolomita}$$

Onde:

f é a fração indicativa da pureza da dolomita (t em tonelada de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3/\text{t}$ minério), sendo considerada igual a 1, caso essa pureza não seja conhecida.

Para a barrilha:

$$FE_{\text{barrilha}} = f \times (44,01 \text{ g/mol CO}_2) / (105,9 \text{ g/mol Na}_2\text{CO}_3)$$

$$= (0,415 \times f) \text{ t CO}_2/\text{t barrilha}$$

Onde:

f é a fração indicativa da pureza da barrilha (t em tonelada de $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{t}$ minério), sendo considerada igual a 1, caso essa pureza não seja conhecida.

Na indústria de vidro, a barrilha, o calcário e a dolomita são utilizados nos fornos de produção. Segundo Sampaio (2008), depois da areia de quartzo, essas substâncias são os insumos mais importantes na fabricação do vidro. A cal produzida no processo atua como material fundente sobre a areia de quartzo, aumentando a insolubilidade e a resistência, além de reduzir a fragilidade do vidro.

1.3.2 Dados

Os dados da produção de vidro foram obtidos no Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2006; 2007; 2009; 2013).

Os dados de produção são apresentados segundo quatro tipos:

- ⇒ Embalagens de vidro, utilizadas no setor de bebidas, em frascos e garrafas, principalmente para cervejas; no setor de alimentos e, por último, na embalagem de produtos não alimentícios (farmacêuticos e cosméticos).
- ⇒ Vidros especiais (técnicos), compreendendo as lãs e fibras de vidro (para isolamento e indústria têxtil), os tijolos e blocos de vidro, os isoladores elétricos de vidro, as ampolas para garrafas térmicas, os bulbos de lâmpadas, os vidros para tubo de imagem e as ampolas farmacêuticas para medicamentos.
- ⇒ Vidros planos, fabricados em chapas, utilizados, principalmente, pela construção civil, seguida pela indústria automobilística, moveleira, e decorações de interiores, principalmente espelhos.
- ⇒ Vidros domésticos, aqueles usados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras, e objetos de decoração como vasos.

Como as séries de dados se interpõem nessas três publicações, foram admitidos sempre os números mais atuais, considerados revistos.

Assim, considerou-se para os dados anuais de produção:

- ⇒ 1997-2001: Anuário 2006;
- ⇒ 2002-2003: Anuário 2007;
- ⇒ 2004-2007: Anuário 2009,
- ⇒ 2008-2011: Anuário 2013,

Nesse cálculo, a produção de 2002 a 2008 é estimada como 95% da capacidade instalada para as embalagens e como 70% para os demais tipos. No anuário de 2013 ainda não se apresentam as produções de vidro de 2012.

Para os anos anteriores, de 1991 a 1996, utilizaram-se os dados de evolução do setor, segundo o sistema IBGE-Sidra mostrados na Tabela 1-10; para 1990, na falta de outra informação, foi repetido o ano de 1991.

Tabela 1-10. Variação percentual em relação anterior

IBGE-Sidra	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Embalagens - % sobre ano anterior	67,22	123,95	92,09	131,94	92,92	100,40
Restante - % sobre ano anterior	86,80	129,93	101,34	114,58	113,35	118,02

Para a produção de vidro a partir de 2011 até 2016 - compreendendo embalagens de vidro, vidros técnicos, planos e domésticos - foram utilizados igualmente os dados do IBGE-Sidra³, que dão a variação da fabricação de vidro e de produtos do vidro, conforme a Tabela 1-11.

Tabela 1-11. Variação percentual da produção do setor de vidro em relação anterior

IBGE-Sidra	2012	2013	2014	2015	2016
Varição sobre ano anterior	-6,7	16,6	-5,6	-4,2	-6,0

Como a produção de vidro apresentada inclui parte de vidro reciclado, esta precisa ser deduzida do total para se chegar à quantidade de vidro virgem, responsável pelas emissões de CO₂ pela calcinação do calcário e da dolomita. Os Anuários apresentam os percentuais de reciclagem de embalagens para todos os anos, desde 1991, e números precisos para as quantidades recicladas dessas embalagens em 2005 e em 2006: 457.000 t e 448.000 t, respectivamente. Para a estimativa do setor nesses dois anos como um todo, desconhecendo-se a reciclagem para todos os tipos e reconhecendo que a reciclagem das embalagens é a maior parte, foi tomada a quantidade reciclada das embalagens e dividida pela produção total; esse número foi aumentado em cerca de 6%, como estimativa para o setor. Seguindo o mesmo raciocínio, calculou-se o percentual de reciclagem para todos os demais anos. A consolidação dos dados pode ser observada na Tabela 1-12.

³ Tabela 3650. Produção Física Industrial, por grupos e classes industriais selecionados/ 23.1 Fabricação de vidro e de produtos do vidro

Tabela 1-12. Produção e reciclagem da indústria do vidro, de 1990 a 2016

Ano	Embalagens de vidro (t)	Reciclagem de embalagens	Produção nacional (t)	Reciclagem de vidro média (ajuste 6%)	Produção virgem (t)
1990	942.352	15%	1.397.871	10,7%	1.248.299
1991	942.352	15%	1.397.871	10,7%	1.248.299
1992	633.449	18%	1.028.840	11,7%	908.466
1993	785.160	25%	1.298.891	16,0%	1.091.069
1994	723.054	33%	1.243.669	20,3%	991.204
1995	953.997	35%	1.550.518	22,8%	1.197.000
1996	886.454	37%	1.562.611	22,2%	1.215.711
1997	890.000	39%	1.688.000	21,8%	1.320.016
1998	833.000	40%	1.673.000	21,1%	1.319.997
1999	869.000	40%	1.875.000	19,7%	1.505.625
2000	911.000	41%	2.067.000	19,2%	1.670.136
2001	883.000	42%	2.071.000	19,0%	1.677.510
2002	1.039.000	44%	2.412.000	20,1%	1.927.188
2003	970.000	45%	2.389.000	19,4%	1.925.534
2004	958.000	45%	2.571.000	17,8%	2.113.362
2005	969.000	45%	2.623.000	17,6%	2.161.352
2006	973.000	46%	2.318.000	20,5%	1.842.810
2007	1.042.000	47%	2.363.000	22,0%	1.843.140
2008	904.000	47%	2.351.000	19,2%	1.899.608
2009	913.000	47%	2.375.000	19,2%	1.919.000
2010	982.000	47%	2.611.000	18,7%	2.122.743
2011	1.090.000	47%	3.000.000	18,1%	2.457.000
2012	1.016.970	47%	2.799.000	18,1%	2.292.381
2013	1.185.787	47%	3.263.634	18,1%	2.672.916
2014	1.119.383	47%	3.080.870	18,1%	2.523.233
2015	1.072.369	47%	2.951.474	18,1%	2.417.257
2016	1.008.027	47%	2.774.385	18,1%	2.272.222

Fonte: MME e autor

Segundo os Anuários, dentre os componentes do vidro virgem, o calcário entra na proporção de 10%, a dolomita 2% e a barrilha 15%, em média. Assim, pode-se calcular a quantidade de calcário e dolomita utilizada e as emissões de CO₂ referentes à calcinação desses materiais, conforme mostra a Tabela 1-13.

Tabela 1-13. Uso de calcário, dolomita e barrilha na produção de vidro e emissões de CO₂

Ano	Uso de calcário (t)	Uso de dolomita (t)	Uso de barrilha (t)	Emissões de CO ₂ (Gg)
1990	124.830	24.966	187.245	145
1991	124.830	24.966	187.245	145
1992	90.847	18.169	136.270	105
1993	109.107	21.821	163.660	126
1994	99.120	19.824	148.681	115
1995	119.700	23.940	179.550	139
1996	121.571	24.314	182.357	141
1997	132.002	26.400	198.002	153
1998	132.000	26.400	198.000	153
1999	150.563	30.113	225.844	174
2000	167.014	33.403	250.520	193
2001	167.751	33.550	251.627	194
2002	192.719	38.544	289.078	223
2003	192.553	38.511	288.830	223
2004	211.336	42.267	317.004	245
2005	216.135	43.227	324.203	250
2006	184.281	36.856	276.422	213
2007	184.314	36.863	276.471	213
2008	189.961	37.992	284.941	220
2009	191.900	38.380	287.850	222
2010	212.274	42.455	318.411	246
2011	245.700	49.140	368.550	284
2012	229.238	45.848	343.857	265
2013	267.292	53.458	400.937	309
2014	252.323	50.465	378.485	292
2015	241.726	48.345	362.589	280
2016	227.222	45.444	340.833	263

A Figura 1-7 mostra evolução dessas emissões entre 1990 e 2016.

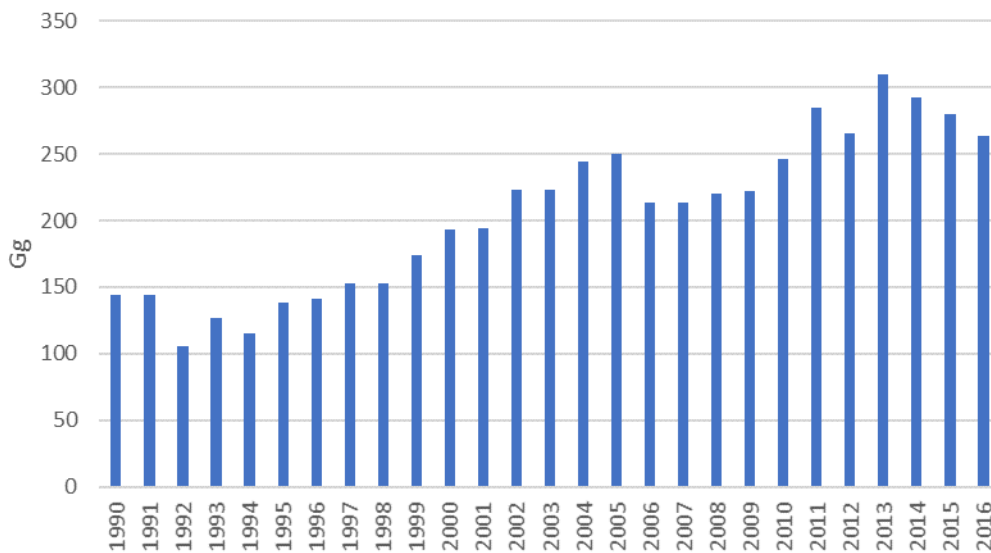


Figura 1-7. Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2016

1.3.3 Diferenças para o Terceiro Inventário

Neste Inventário foram incluídas as emissões da barrilha especificamente para a produção de vidro, conforme recomenda o IPCC 2006.

1.4 Outras utilizações de carbonatos em processos

1.4.1 Cerâmica

Introdução

A cerâmica inclui a produção de tijolos e telhas, tubos de argila vitrificada, produtos refratários, produtos de argila expandida, azulejos e pisos, louças para mesa e ornamentais (cerâmica doméstica), louças sanitárias, cerâmica técnica e abrasivos inorgânicos. As emissões relacionadas ao processo da cerâmica resultam da calcinação de carbonatos na argila, além da adição de aditivos. Semelhante aos processos de produção de cimento e cal, os carbonatos são aquecidos a altas temperaturas em um forno, produzindo óxidos e CO₂. A maioria dos produtos de cerâmica é feita a partir de um ou mais tipos diferentes de argila (por exemplo, folhelhos, argila de fogo e argila de bola). As matérias-primas são coletadas e trituradas finamente em operações sucessivas de retificação. As partículas moídas são então queimadas em um forno para produzir um pó (que pode ser liquefeito). Aditivos são adicionados subsequentemente e a cerâmica é formada ou moldada e 'usinada' para suavizar arestas ásperas e alcançar as características desejadas da cerâmica. No caso da cerâmica tradicional, a cerâmica é então seca e vidrada antes de ser queimada no forno. Após a queima, algumas cerâmicas podem ser submetidas a tratamento adicional para alcançar a qualidade final desejada. (IPCC, 2006)

Metodologia

A metodologia Tier 1 aplica uma composição única para a massa de carbonatos presente na argila. No presente trabalho, foram buscadas informações sobre a proporção dos óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), o que configura metodologia Tier 2.

$$\text{Emissões de CO}_2 = FE_{\text{CaCO}_3} * M_{\text{CaCO}_3} + FE_{\text{MgCO}_3} * M_{\text{MgCO}_3}$$

Equação 1-9

Onde:

FE_{CaCO_3} é o fator de emissão de CO₂ do carbonato de cálcio

M_{CaCO_3} é a massa de carbonato de cálcio, calculada a partir da quantidade de CaO

FE_{MgCO_3} é o fator de emissão de CO₂ do carbonato de magnésio

M_{MgCO_3} é a massa de carbonato de magnésio, calculada a partir da quantidade de MgO

O IPCC 2006 apresenta um valor *default* de 10% de conteúdo de carbonatos. No entanto, para este trabalho foram pesquisados pela internet publicações que apresentassem a composição química das argilas usadas no país. Os óxidos CaO e MgO são apresentados em porcentagem. Sua origem são os carbonatos de calcário e magnésio, respectivamente. Esses carbonatos, uma vez calcinados, emitem CO₂, que é uma parte do percentual da chamada “perda ao fogo”. Com base nos percentuais de CaO e MgO, chega-se ao percentual de CaCO₃ e MgCO₃, usando-se os seguintes pesos atômicos:

Tabela 1-14. Pesos atômicos de cal e carbonatos

Substância	Peso atômico
CaO	56,08
MgO	40,31
CaCO ₃	100,09
MgCO ₃	84,32

A relação CaCO₃/CaO será obtida multiplicando-se o percentual de CaO da amostra por 1,785 e a relação MgCO₃/MgO, por 2,092.

Dados de atividade

Para a obtenção da produção de cerâmica no Brasil, foram usados os dados do IBGE, na sua base Sidra. As informações foram obtidas⁴, de 2005 a 2013:

- 2341.2025 Tijolos, ladrilhos e outras peças cerâmicas de farinhas ou de terras siliciosas semelhantes (Quilogramas)
- 2341.2040 Tijolos, placas, ladrilhos e outras peças de cerâmica refratária para construção, exceto de farinhas siliciosas fósseis (Toneladas)
- 2342.2010 Elementos de chaminés, ornamentos arquitetônicos, etc., de cerâmica (Quilogramas)
- 2342.2020 Artigos de cerâmica, exceto porcelana, para higiene ou toucador (Quilogramas)
- 2342.2030 Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) (Metros quadrados)
- 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) (Metros quadrados)
- 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não (lado inferior a 7 cm) (Metros quadrados)
- 2342.2050 Telhas de cerâmica (Mil unidades)
- 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários (Mil unidades)
- 2342.2080 Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica (Quilogramas)
- 2349.2010 Aparelhos e artefatos de cerâmica para usos técnicos; recipientes de cerâmica para usos rurais e para transporte ou embalagem (Quilogramas)
- 2349.2030 Artigos de cerâmica, exceto porcelana, para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.) (Quilogramas)
- 2349.2045 Artigos de cerâmica ou de porcelana, para usos n.e. (Quilogramas)
- 2349.2050 Artigos de porcelana para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.) (Quilogramas)
- 2349.2070 Artigos de porcelana ou cerâmica decorados, gravados, vitrificados ou trabalhos de outro modo (Quilogramas)
- 2349.2075 Artigos de porcelana para higiene ou toucador (Quilogramas)
- 2349.2080 Estatuetas e outros objetos de ornamentação, de cerâmica (Quilogramas)

⁴ Tabela 5809. Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos - CNAE 2222 até 2822 - Prodlist Indústria 2013. Link: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5809>.

- 2349.2090 Isoladores de cerâmica para usos elétricos (Quilogramas)
- 2349.2100 Peças ou tubos isolantes de cerâmica para máquinas, aparelhos ou instalações elétricas, com ou sem partes metálicas (Quilogramas)
- 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana (Mil unidades)

Tabela 1-15. Dados brutos sobre cerâmica da base de dados SIDRA-IBGE, de 2005 a 2013

Código	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2341.2025	8.578.310	11.205.430	38.460.183	36.461.409	36.110.828	15.200.231	14.078.104	14.270.574	29.009.338
2341.2040	332.545	771.620	885.454	1.137.516	632.375	855.875	1.038.425	448.605	452.169
2342.2010	X	897.762	1.764.113	X	815.822	1.092.289	492.184	X	934.861
2342.2030	533.810.326	582.440.540	595.904.060	672.411.410	653.822.794	751.260.927	833.901.446	868.397.231	871.299.310
2342.2040	6.011.154	4.447.942	11.270.657	10.184.624	21.329.014	15.872.994	16.160.287	17.650.701	14.456.375
2342.2045	18.736.329	18.685.044	29.064.405	18.565.056	26.952.168	35.145.067	32.528.467	19.364.361	15.087.808
2342.2050	1.636.323	2.284.960	2.012.070	2.219.051	2.312.689	2.416.587	2.620.546	2.429.733	2.537.544
2342.2065	3.187.233	3.882.341	4.013.356	4.676.731	4.479.532	5.072.199	5.304.855	5.968.811	6.926.992
2342.2080	49.227.843	47.041.149	49.447.785	X	63.148.930	12.049.110	15.483.797	6.717.655	5.331.412
2349.2010	741.905	1.193.382	6.780.240	3.267.473	X	2.782.822	16.370.984	20.989.954	18.225.034
2349.2030	32.164.741	31.912.857	44.067.855	22.214.405	18.209.646	26.856.448	38.993.452	32.600.702	51.585.712
2349.2045	122.965	8.895.181	846.122	3.690.635	2.294.211	X	X	2.331.670	460.017
2349.2050	13.632.537	16.745.535	19.243.135	47.640.968	44.467.618	37.543.726	31.131.676	37.255.522	41.579.055
2349.2070	1.302.377	X	327.911	1.766.445	1.011.565	1.006.372	668.924	385.985	6.870.333
2349.2075	X	X	X	X	4.586.910	-	-	-	-
2349.2080	2.721.143	2.859.278	3.375.689	1.097.335	1.078.396	1.025.908	1.110.612	1.556.833	5.039.488
2349.2090	34.458.591	36.171.345	32.810.512	32.064.726	30.231.705	42.482.496	39.569.465	23.528.530	18.595.913
2349.2100	X	1.978.777	981.478	858.783	X	845.437	3.954.523	X	4.204.461
2349.2110	23.690	26.736	25.543	21.731	21.235	24.195	26.326	31.997	35.018

Unidade: Conforme texto acima.

Os anos com “X” têm o valor inibido para não identificar o informante, segundo o IBGE.

Para o código 2342.2010, em 2010 seu valor foi dividido por 10, porque se supôs que estava com erro de digitação.

Para conversão para uma unidade única de massa foram considerados os seguintes fatores:

- Para 2342.2030 Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) → 16,8 kg/ m² ou 0,0168 t/m²
- 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) → 16,8 kg/ m² ou 0,0168 t/m²
- 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não (lado inferior a 7 cm) → 16,8 kg/ m² ou 0,0168 t/m²
- 2342.2050 Telhas de cerâmica → 2,0 kg/unidade⁵ ou 2,0 t/mil unidades
- 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários → 2,0 kg/unidade ou 2,0 t/mil unidades
- 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana → 13,0 kg/unidade ou 13,0 t/mil unidades

Como os códigos 2349.2070 e 2349.2075 foram descontinuados pelo IBGE a partir de 2014 e representam pouco relativamente aos outros itens, eles foram desconsiderados para este trabalho.

Para completar as séries dos códigos 2342.2010, 2342.2080, 2349.2010, 2349.2045 e 2349.2100, foram feitas interpolações quando a falta era nos anos de 2006 a 2012; quando a falta era em 2005, tomou-se o mesmo número de 2006. O resultado é apresentado na Tabela 1-16 abaixo, na unidade comum de massa (tonelada):

⁵ Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos - 2017, Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, referente a Cerâmica Vermelha.

Tabela 1-16. Produção total de cerâmica, em toneladas, de 2005 a 2013

Código	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2341.2025	8.578	11.205	38.460	36.461	36.111	15.200	14.078	14.271	29.009
2341.2040	332.545	771.620	885.454	1.137.516	632.375	855.875	1.038.425	448.605	452.169
2342.2010	898	898	1.764	1.290	816	1.092	492	714	935
2342.2030	8.968.013	9.785.001	10.011.188	11.296.512	10.984.223	12.621.184	14.009.544	14.589.073	14.637.828
2342.2040	100.987	74.725	189.347	171.102	358.327	266.666	271.493	296.532	242.867
2342.2045	314.770	313.909	488.282	311.893	452.796	590.437	546.478	325.321	253.475
2342.2050	3.272.646	4.569.920	4.024.140	4.438.102	4.625.378	4.833.174	5.241.092	4.859.466	5.075.088
2342.2065	6.374.466	7.764.682	8.026.712	9.353.462	8.959.064	10.144.398	10.609.710	11.937.622	13.853.984
2342.2080	49.228	47.041	49.448	56.298	63.149	12.049	15.484	6.718	5.331
2349.2010	742	1.193	6.780	3.267	3.025	2.783	16.371	20.990	18.225
2349.2030	32.165	31.913	44.068	22.214	18.210	26.856	38.993	32.601	51.586
2349.2045	123	8.895	846	3.691	2.294	2.313	2.313	2.332	460
2349.2050	13.633	16.746	19.243	47.641	44.468	37.544	31.132	37.256	41.579
2349.2080	2.721	2.859	3.376	1.097	1.078	1.026	1.111	1.557	5.039
2349.2090	34.459	36.171	32.811	32.065	30.232	42.482	39.569	23.529	18.596
2349.2100	1.979	1.979	981	859	852	845	3.955	4.079	4.204
2349.2110	307.970	347.568	332.059	282.503	276.055	314.535	342.238	415.961	455.234
Total	19.815.923	23.786.326	24.154.959	27.195.973	26.488.453	29.768.460	32.222.478	33.016.625	35.145.611

De 2014 a 2016, os códigos obtidos foram os seguintes⁶, observando-se diferentes unidades de medida em alguns casos:

- 2341.2025 Tijolos, ladrilhos e outras peças cerâmicas de farinhas siliciosas fósseis (por exemplo, kieselguhr, tripolita, diatomita) ou de terras siliciosas semelhantes (*Toneladas*).
- 2341.2040 Tijolos, ladrilhos e peças cerâmicas semelhantes refratárias, para a construção de fornos, fornalhas, aparelhos para as indústrias metalúrgica e química, da cerâmica e do vidro, etc., que não sejam de farinhas siliciosas fósseis nem de terras siliciosas (*Toneladas*)
- 2342.2010 Elementos de chaminés, ornamentos arquitetônicos, etc., de cerâmica (*Quilogramas*)
- 2342.2030 Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) (*Metros quadrados*)
- 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados (lado superior ou igual a 7cm) (*Metros quadrados*)
- 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não (lado inferior a 7 cm) (*Metros quadrados*)
- 2342.2050 Telhas de cerâmica (*Mil unidades*)
- 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários (*Mil unidades*)
- 2342.2080 Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica (*Toneladas*)
- 2349.2010 Aparelhos e artefatos de cerâmica para usos técnicos; recipientes de cerâmica para usos rurais e para transporte ou embalagem (*Toneladas*)
- 2349.2030 Artigos de cerâmica, exceto porcelana, para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.) (*Toneladas*)
- 2349.2045 Artigos de cerâmica ou de porcelana, para usos n.e. (*Toneladas*)
- 2349.2050 Artigos de porcelana para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.) (*Toneladas*)
- 2349.2080 Estatuetas e outros objetos de ornamentação, de cerâmica (*Toneladas*)
- 2349.2090 Isoladores de cerâmica para usos elétricos (*Toneladas*)
- 2349.2100 Peças ou tubos isolantes de cerâmica para máquinas, aparelhos ou instalações elétricas, com ou sem partes metálicas (*Quilogramas*)
- 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana (*Mil unidades*)

⁶ Tabela 6705 - Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos - Prodlis Indústria 2016. Link <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6705>.

Tabela 1-17. Dados brutos sobre cerâmica da base de dados SIDRA-IBGE, de 2014 a 2016

Código	2014	2015	2016
2341.2025	31.450	27.496	17.766
2341.2040	480.690	359.673	3.667.425
2342.2010	594.630	385.411	488.711
2342.2030	900.373.111	879.323.782	792.860.150
2342.2040	18.488.043	26.416.761	33.051.133
2342.2045	17.401.358	17.569.145	17.744.803
2342.2050	3.022.832	2.882.567	2.752.511
2342.2065	8.230.279	7.347.997	5.718.975
2342.2080	3.297	2.216	1.279
2349.2010	11.699	14.894	8.204
2349.2030	87.573	53.311	63.831
2349.2045	6.550	801	1.295
2349.2050	50.731	38.539	32.438
2349.2080	5.846	6.772	4.268
2349.2090	21.074	22.986	18.965
2349.2100	X	2.749.849	2.557.707
2349.2110	36.062	39.960	35.003

A produção do código 2349.2110 em 2015 foi dividida por 100, por se acreditar que houve erro de digitação ou de unidade.

Para completar a série do código 2349.2100, foi feita interpolação entre 2013 (da série anterior) e 2015. O resultado é apresentado na Tabela 1-18 abaixo, na unidade comum de massa (tonelada):

Tabela 1-18. Produção total de cerâmica, em toneladas, de 2014 a 2016

Código	2014	2015	2016
2341.2025	31.450	27.496	17.766
2341.2040	480.690	359.673	3.667.425
2342.2010	595	385	489
2342.2030	15.126.268	14.772.640	13.320.051
2342.2040	310.599	443.802	555.259
2342.2045	292.343	295.162	298.113
2342.2050	6.045.664	5.765.134	5.505.022
2342.2065	16.460.558	14.695.994	11.437.950
2342.2080	3.297	2.216	1.279
2349.2010	11.699	14.894	8.204
2349.2030	87.573	53.311	63.831
2349.2045	6.550	801	1.295
2349.2050	50.731	38.539	32.438
2349.2080	5.846	6.772	4.268
2349.2090	21.074	22.986	18.965
2349.2100	3.477	2.750	2.558
2349.2110	468.806	519.480	455.039
Total	39.407.220	37.022.034	35.389.951

Para estender essa série assim calculada de 2005 a 2016 para os anos anteriores até 1990, ano inicial do Inventário, foi feita uma correlação entre a energia usada pelo setor Cerâmica, conforme está no Balanço Energético Nacional, pois este documento retrocede até antes de 1990.

Tabela 1-19. Energia apropriada ao setor Cerâmica, conforme o Balanço Energético Nacional, após conversões de valores para a unidade de energia (ktep)

Energia: subsetor Cerâmica	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Energia fóssil (ktep)	1.405	1.472	1.644	1.728	1.700	1.838	1.963	1.951	2.016	2.005	1.926	1.833
Energia biomassa (ktep)	1.746	1.794	1.920	2.174	2.134	2.334	2.449	2.521	2.697	2.724	2.373	2.136
Eletricidade (ktep)	270	276	284	298	301	319	342	359	380	377	339	322
Total de energia	3.420	3.542	3.848	4.200	4.136	4.491	4.754	4.831	5.094	5.105	4.637	4.291

Unidade: ktep

Tabela 1-20. Relação entre produção e energia (t/tep)

Brasil	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Produção de cerâmica (kt)	19.816	23.786	24.155	27.196	26.488	29.768	32.222	33.017	35.146	39.407	37.022	35.390
Energia (ktep)	3.420	3.542	3.848	4.200	4.136	4.491	4.754	4.831	5.094	5.105	4.637	4.291
Relação produção/energia (t/tep)	5,79	6,72	6,28	6,47	6,41	6,63	6,78	6,83	6,90	7,72	7,98	8,25

Foi escolhida a correlação exponencial, pois expressa mais corretamente a melhoria contínua de eficiência no setor.

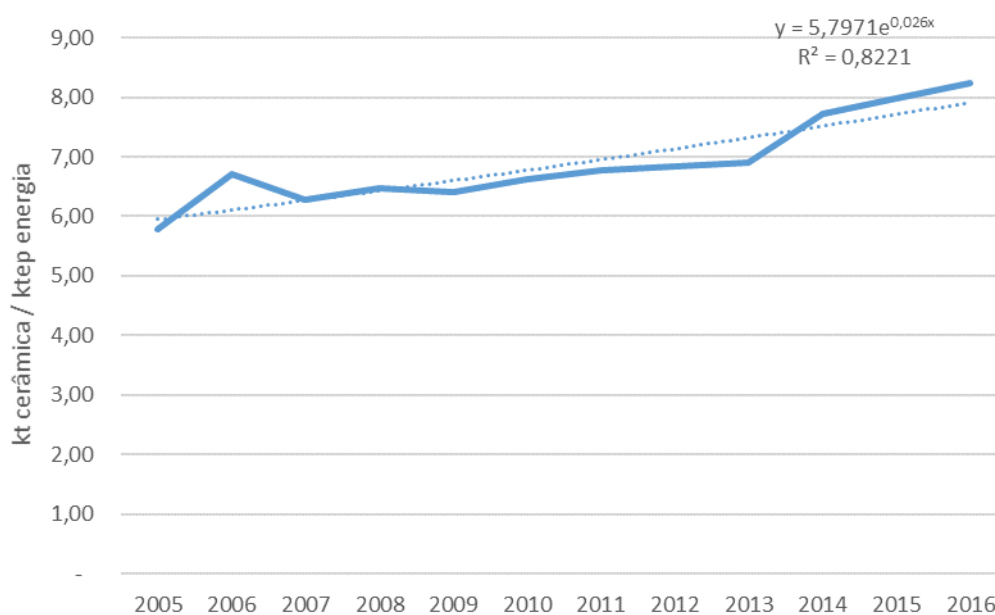


Figura 1-8. Relação da produção de cerâmica com energia consumida no setor, de 2005 a 2016

Com essa relação, obtém-se a produção total de cerâmica de 1990 a 2004:

Tabela 1-21. Produção calculada de cerâmica de 1990 a 2004

Brasil	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produção cerâmica (kt)	9.414	9.376	9.677	10.811	11.330	11.596	12.798	13.960	14.660	15.109	16.057	16.057	16.868	17.706	18.683
Energia (ktep)	2.337	2.268	2.281	2.482	2.535	2.528	2.718	2.889	2.956	2.968	3.073	2.995	3.065	3.135	3.223

Para a separação entre as 17 categorias para os anos anteriores a 2005, usou-se a média de participação de 2005 a 2016, referente à produção, em termos de massa, conforme a Tabela 1-22 abaixo.

Tabela 1-22. Distribuição média da produção de cerâmica, em termos de massa, para os códigos do IBGE, entre 2005 a 2016

Código	Part. média 05-16
2341.2025	0,08%
2341.2040	3,04%
2342.2010	0,00%
2342.2030	41,31%
2342.2040	0,90%
2342.2045	1,23%
2342.2050	16,03%
2342.2065	35,67%
2342.2080	0,09%
2349.2010	0,03%
2349.2030	0,14%
2349.2045	0,01%
2349.2050	0,11%
2349.2080	0,01%
2349.2090	0,10%
2349.2100	0,01%
2349.2110	1,24%
Total	100,0%

Em seguida, as 17 categorias obtidas do IBGE-Sidra foram agrupadas em quatro apenas, da seguinte forma:

- **Cerâmica vermelha:**

- 2342.2050 Telhas de cerâmica
- 2342.2065 Tijolos perfurados, tapa-vigas e outros tijolos de cerâmica para construção, exceto refratários
- 2342.2080 Tubos, canos, calhas e outros acessórios para canalização, de cerâmica

Foram incluídas também:

- 2341.2025 Tijolos, ladrilhos e outras peças cerâmicas de farinhas siliciosas fósseis (por exemplo, kieselguhr, tripolita, diatomita) ou de terras siliciosas semelhantes.
- 2341.2040 Tijolos, ladrilhos e peças cerâmicas semelhantes refratárias, para a construção de fornos, fornalhas, aparelhos para as indústrias metalúrgica e química, da cerâmica e do vidro, etc, que não sejam de farinhas siliciosas fósseis nem de terras siliciosas
- 2342.2010 Elementos de chaminés, ornamentos arquitetônicos, etc., de cerâmica
- 2349.2010 Aparelhos e artefatos de cerâmica para usos técnicos; recipientes de cerâmica para usos rurais e para transporte ou embalagem

- **Cerâmica de revestimento:**
 - 2342.2030 Ladrilhos, placas e azulejos de cerâmica para pavimentação ou revestimento, esmaltados (lado superior ou igual a 7cm)
 - 2342.2040 Ladrilhos e placas de cerâmica para pavimentação ou revestimento, não esmaltados (lado superior ou igual a 7cm)
 - 2342.2045 Pastilhas, cubos e artigos semelhantes de cerâmica, para mosaicos, esmaltados ou não (lado inferior a 7 cm)

- **Louça de mesa:**
 - 2349.2030 Artigos de cerâmica, exceto porcelana, para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.)
 - 2349.2045 Artigos de cerâmica ou de porcelana, para usos n.e.
 - 2349.2050 Artigos de porcelana para serviço de mesa ou de cozinha (xícaras, pratos, saladeiras, etc.)

Foram incluídas também:

 - 2349.2080 Estatuetas e outros objetos de ornamentação, de cerâmica
 - 2349.2090 Isoladores de cerâmica para usos elétricos
 - 2349.2100 Peças ou tubos isolantes de cerâmica para máquinas, aparelhos ou instalações elétricas, com ou sem partes metálicas

- **Louça sanitária**
 - 2349.2110 Pias, banheiras, bidês e semelhantes para uso sanitário, de cerâmica ou porcelana (Mil unidades)

Assim, a produção anual para as quatro subcategorias pode ser apresentada na Tabela 1-26.

Conforme o IPCC 2006, em média a argila consumida para a produção de cerâmica tem 110% da massa da peça final.

Fatores de emissão

Os fatores de emissão seguirão a relação estequiométrica:

Tabela 1-23. Fatores de emissão para carbonatos

Fator de emissão	unidade
0,440	t CO ₂ /t CaCO ₃
0,522	t CO ₂ /t MgCO ₃

Assim, desde que se tenham as quantidades de óxidos CaO e MgO na argila, pode-se calcular o CO₂ emitido na fabricação das cerâmicas, em termos de t CO₂/t argila consumida.

Para as quantidades de óxidos CaO e MgO na argila, foram obtidos 20 trabalhos, com 32 referências estaduais, conforme a Tabela 1-24 a seguir. Por simplicidade, trabalhou-se numa média por região, sendo que a Região Norte, sem trabalhos identificados, foi feita igual à Região Nordeste. Os fatores de emissão por estado estão na coluna da direita, com o fator de 110% embutido.

Tabela 1-24. Fatores de emissão da produção de cerâmica, por estado

Estado	Número de estudos	média estado	média por região utilizada	Fator de emissão final, com 10% de aumento
		(t CO ₂ /t argila)		(t CO ₂ /t produzida)
Rondônia				0,0400
Acre				0,0400
Amazonas				0,0400
Roraima			0,0364	0,0400
Pará				0,0400
Amapá				0,0400
Tocantins				0,0400
Maranhão				0,0400
Piauí				0,0400
Ceará				0,0400
Rio Grande do Norte	3	0,0285		0,0400
Paraíba	1	0,0249	0,0364	0,0400
Pernambuco	1	0,1034		0,0400
Alagoas				0,0400
Sergipe	1	0,0056		0,0400
Bahia	4	0,0194		0,0400
Minas Gerais				0,0228
Espírito Santo	1	0,0081	0,0207	0,0228
Rio de Janeiro	4	0,0229		0,0228
São Paulo	11	0,0312		0,0228
Paraná	1	0,0191		0,0162
Santa Catarina	3	0,0103	0,0147	0,0162
Rio Grande do Sul				0,0162
Mato Grosso do Sul	2	0,0199		0,0218
Mato Grosso			0,0199	0,0218
Goiás				0,0218
Distrito Federal				0,0218

Referências: BA (OLIVEIRA, 2011; PRADO, 2011; CABRAL *et al.*, 2008 [2x]); ES (SAVAZZINI *et al.*, 2016); MS (RODRIGUES *et al.*, 1999; RODRIGUES *et al.*, 1999); PB (LIMA *et al.*, 2016); PE (SILVA, 2008); PR (CABRAL *et al.*, 2008); RJ (CABRAL *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2011; PRADO, 2011; SOUSA, 2008); RN (SILVEIRA *et al.*, 2002; SILVEIRA *et al.*, 2000; VIEIRA, 2007); SC (CABRAL *et al.*, 2008; CORREIA *et al.*, 2009; GRUN, 2007); SE (PRADO, 2011); SP (FIESP, 2006; MOTTA *et al.*, 2004; MOTTA *et al.*, 1993; PRADO, 2011; SENNA, 2003; CABRAL *et al.*, 2008 [4x]; ROCHA *et al.*, 2009 [2x]).

Como se deseja chegar à emissão por estado, foi necessário saber a participação de cada estado nas quatro categorias aqui sumarizadas. Com base no Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2017), algumas distribuições puderam ser obtidas e, combinadas com informações sobre a distribuição das fábricas no país, segundo a Abceram⁷, um perfil foi obtido para cada estado.

As seguintes hipóteses foram utilizadas, lembrando-se que esse é um exercício pouco preciso, em face da dificuldade de obtenção de dados do setor de cerâmica no Brasil.

- Cerâmica de revestimento: São Paulo com 71% e Santa Catarina com 27%. O restante foi dividido segundo a quantidade de fábricas existentes em outros estados.
- Louça de mesa: produção predominante nas regiões Sul e Sudeste. Arbitraram-se 55% para a primeira e 35% para a segunda, sendo 45% apenas em Santa Catarina e 30% em São Paulo. Para as outras regiões, foi feita uma divisão estadual proporcional à divisão usada para a cerâmica vermelha.
- Louça sanitária: o estado de São Paulo é o maior produtor. Arbitraram-se 50%, com o restante dividido segundo a quantidade de fábricas existentes em outros estados.

⁷ Disponível em: https://abceram.org.br/revestimento-ceramico_/; <https://abceram.org.br/louca-sanitaria/>. Acesso em: 9 set. 2019.

- **Cerâmica vermelha:** utilizada a divisão apresentada no trabalho Cerâmica Vermelha - Projeto EELA no Brasil (INT, 2017).

A Tabela 1-25 apresenta a divisão utilizada por subsetor e por estado.

Tabela 1-25. Participação dos estados nas diversas subcategorias de cerâmica

Estado	Cerâmica de revestimento	Cerâmica vermelha	Louça de mesa	Louça sanitária
Rondônia		0,57%	0,16%	
Acre		0,26%	0,07%	
Amazonas		1,23%	0,35%	
Roraima		0,06%	0,02%	
Pará		1,32%	0,38%	
Amapá		0,14%	0,04%	
Tocantins		1,14%	0,33%	
Maranhão		1,52%	0,44%	
Piauí		2,20%	0,63%	
Ceará	0,18%	5,92%	1,71%	2%
Rio Grande do Norte	0,18%	3,17%	0,92%	
Paraíba	0,18%	1,17%	0,34%	2%
Pernambuco	0,18%	1,94%	0,56%	15%
Alagoas		0,66%	0,19%	
Sergipe	0,18%	1,09%	0,31%	
Bahia	0,19%	6,01%	1,74%	
Minas Gerais	0,18%	12,18%	1,00%	25%
Espírito Santo	0,18%	1,43%	1,00%	2%
Rio de Janeiro		6,29%	3,00%	2%
São Paulo	71,00%	20,90%	30,00%	50%
Paraná	0,19%	8,24%	5,00%	
Santa Catarina	27,00%	6,09%	45,00%	
Rio Grande do Sul		10,18%	5,00%	2%
Mato Grosso do Sul	0,18%	0,69%	0,20%	
Mato Grosso		0,60%	0,17%	
Goiás	0,18%	4,86%	1,40%	
Distrito Federal		0,14%	0,04%	
Brasil	100,00%	100,00%	100,00%	100%

Com a produção por subsetor, por estado e por ano, juntamente com os fatores de emissão também definidos por estado, chega-se à emissão do setor de cerâmica por estado e por ano.

Os resultados das emissões estão na Tabela 1-27.

Tabela 1-26. Produção estimada das subcategorias Cerâmica vermelha, Cerâmica de revestimento, Louça de mesa e Louça sanitária

Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Cerâmica vermelha	5.172	5.151	5.316	5.939	6.224	6.370	7.031	7.669	8.054	8.300	8.821	8.821	9.266	9.727
Cerâmica de revestimento	4.090	4.074	4.204	4.697	4.922	5.038	5.560	6.065	6.369	6.564	6.976	6.976	7.328	7.692
Louça de mesa	35	35	36	41	43	44	48	52	55	57	60	60	63	66
Louça sanitária	117	117	120	134	141	144	159	174	182	188	200	200	210	220
Total	9.414	9.376	9.677	10.811	11.330	11.596	12.798	13.960	14.660	15.109	16.057	16.057	16.868	17.706

Tipo	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cerâmica vermelha	10.264	10.039	13.167	13.033	15.026	14.320	15.865	16.936	17.288	19.435	23.034	20.866	20.638
Cerâmica de revestimento	8.117	9.384	10.174	10.689	11.780	11.795	13.478	14.828	15.211	15.134	15.729	15.512	14.173
Louça de mesa	70	85	99	101	108	97	111	117	101	121	175	125	123
Louça sanitária	232	308	348	332	283	276	315	342	416	455	469	519	455
Total	18.683	19.816	23.786	24.155	27.196	26.488	29.768	32.222	33.017	35.146	39.407	37.022	35.390

Unidade: kt

Tabela 1-27. Emissões pelas subcategorias do setor Cerâmica (Gg CO₂)

Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Cerâmica vermelha	134	134	138	154	162	166	183	199	209	216	229	229	241	253
Cerâmica de revestimento	87	86	89	99	104	107	118	128	135	139	148	148	155	163
Louça de mesa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Louça sanitária	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6
Total Brasil	225	224	231	258	271	277	306	333	350	361	384	384	403	423

Tipo	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cerâmica vermelha	267	261	342	339	391	372	412	440	449	505	599	543	537
Cerâmica de revestimento	172	199	216	226	250	250	286	314	322	321	333	329	300
Louça de mesa	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	3
Louça sanitária	6	8	9	9	7	7	8	9	11	12	12	13	12
Total Brasil	446	470	569	576	650	631	708	766	785	840	948	887	851

Tabela 1-28. Emissões do setor de Cerâmica no Brasil

Estado	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Rondônia	1,19	1,18	1,22	1,36	1,43	1,46	1,61	1,76	1,85	1,90	2,02	2,02	2,12	2,23
Acre	0,53	0,53	0,55	0,61	0,64	0,66	0,73	0,79	0,83	0,86	0,91	0,91	0,96	1,00
Amazonas	2,55	2,54	2,62	2,93	3,07	3,14	3,46	3,78	3,97	4,09	4,35	4,35	4,57	4,79
Roraima	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,15	0,16	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22
Pará	2,73	2,72	2,80	3,13	3,28	3,36	3,71	4,04	4,25	4,38	4,65	4,65	4,89	5,13
Amapá	0,30	0,30	0,30	0,34	0,36	0,37	0,40	0,44	0,46	0,48	0,51	0,51	0,53	0,56
Tocantins	2,37	2,36	2,44	2,72	2,85	2,92	3,22	3,52	3,69	3,80	4,04	4,04	4,25	4,46
Maranhão	3,14	3,13	3,23	3,61	3,78	3,87	4,27	4,66	4,89	5,04	5,36	5,36	5,63	5,91
Piauí	4,56	4,55	4,69	5,24	5,49	5,62	6,20	6,77	7,11	7,32	7,78	7,78	8,18	8,58
Ceará	12,66	12,61	13,01	14,54	15,23	15,59	17,21	18,77	19,71	20,31	21,59	21,59	22,68	23,80
Rio Grande do Norte	6,87	6,85	7,07	7,89	8,27	8,47	9,34	10,19	10,70	11,03	11,72	11,72	12,32	12,93
Paraíba	2,82	2,81	2,90	3,24	3,39	3,47	3,83	4,18	4,39	4,52	4,81	4,81	5,05	5,30
Pernambuco	5,03	5,01	5,17	5,77	6,05	6,19	6,83	7,45	7,83	8,07	8,57	8,57	9,01	9,45
Alagoas	1,36	1,36	1,40	1,57	1,64	1,68	1,85	2,02	2,12	2,19	2,33	2,33	2,44	2,56
Sergipe	2,55	2,54	2,62	2,92	3,06	3,14	3,46	3,78	3,97	4,09	4,34	4,34	4,56	4,79
Bahia	12,76	12,71	13,11	14,65	15,35	15,71	17,34	18,92	19,87	20,47	21,76	21,76	22,86	23,99
Minas Gerais	15,21	15,15	15,63	17,47	18,30	18,73	20,68	22,55	23,68	24,41	25,94	25,94	27,25	28,61
Espírito Santo	1,92	1,91	1,97	2,20	2,31	2,36	2,60	2,84	2,98	3,07	3,27	3,27	3,43	3,60
Rio de Janeiro	7,50	7,47	7,71	8,61	9,02	9,23	10,19	11,12	11,67	12,03	12,79	12,79	13,43	14,10
São Paulo	92,45	92,08	95,03	106,17	111,26	113,87	125,68	137,09	143,96	148,37	157,69	157,69	165,64	173,87
Paraná	7,04	7,01	7,24	8,09	8,47	8,67	9,57	10,44	10,96	11,30	12,01	12,01	12,62	13,24
Santa Catarina	23,21	23,11	23,85	26,65	27,93	28,58	31,55	34,41	36,14	37,24	39,58	39,58	41,58	43,64
Rio Grande do Sul	8,58	8,54	8,82	9,85	10,32	10,57	11,66	12,72	13,36	13,77	14,63	14,63	15,37	16,14
Mato Grosso do Sul	0,94	0,93	0,96	1,08	1,13	1,15	1,27	1,39	1,46	1,50	1,60	1,60	1,68	1,76
Mato Grosso	0,68	0,68	0,70	0,78	0,82	0,84	0,92	1,01	1,06	1,09	1,16	1,16	1,22	1,28
Goiás	5,66	5,64	5,82	6,50	6,81	6,97	7,70	8,40	8,82	9,09	9,66	9,66	10,15	10,65
Distrito Federal	0,16	0,16	0,17	0,19	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,28	0,29	0,30
Brasil	224,86	223,96	231,15	258,23	270,62	276,98	305,71	333,46	350,17	360,89	383,55	383,55	402,90	422,92

Unidade: Gg CO₂

Continuação. Emissões do setor de Cerâmica no Brasil

Estado	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rondônia	2,35	2,30	3,02	2,99	3,44	3,28	3,64	3,88	3,96	4,45	5,28	4,78	4,73
Acre	1,06	1,04	1,36	1,34	1,55	1,48	1,64	1,75	1,78	2,00	2,38	2,15	2,13
Amazonas	5,06	4,95	6,49	6,42	7,41	7,06	7,82	8,35	8,52	9,58	11,35	10,28	10,17
Roraima	0,24	0,23	0,30	0,30	0,34	0,33	0,36	0,39	0,40	0,45	0,53	0,48	0,47
Pará	5,41	5,29	6,94	6,87	7,92	7,55	8,36	8,93	9,11	10,24	12,15	11,00	10,88
Amapá	0,59	0,58	0,75	0,75	0,86	0,82	0,91	0,97	0,99	1,11	1,32	1,20	1,18
Tocantins	4,70	4,60	6,04	5,98	6,89	6,56	7,27	7,76	7,92	8,91	10,56	9,56	9,46
Maranhão	6,23	6,10	8,00	7,92	9,13	8,70	9,64	10,29	10,50	11,80	13,99	12,67	12,53
Piauí	9,06	8,86	11,62	11,50	13,26	12,64	14,00	14,95	15,25	17,15	20,33	18,41	18,21
Ceará	25,12	24,75	32,25	31,96	36,72	35,04	38,86	41,52	42,43	47,55	56,16	51,02	50,33
Rio Grande do Norte	13,64	13,45	17,49	17,35	19,97	19,07	21,15	22,61	23,08	25,81	30,44	27,65	27,27
Paraíba	5,59	5,64	7,20	7,16	8,14	7,80	8,68	9,30	9,55	10,58	12,33	11,33	11,08
Pernambuco	9,98	10,35	13,08	12,92	14,25	13,66	15,22	16,32	17,06	18,96	21,90	20,49	19,83
Alagoas	2,71	2,65	3,47	3,44	3,96	3,77	4,18	4,46	4,56	5,12	6,07	5,50	5,44
Sergipe	5,05	5,05	6,47	6,45	7,39	7,09	7,88	8,44	8,62	9,55	11,17	10,20	10,01
Bahia	25,32	24,89	32,47	32,19	37,06	35,36	39,21	41,89	42,75	47,92	56,64	51,38	50,74
Minas Gerais	30,18	30,05	39,00	38,56	43,86	41,86	46,44	49,63	51,04	57,23	67,35	61,59	60,54
Espírito Santo	3,80	3,82	4,89	4,86	5,54	5,30	5,89	6,31	6,47	7,19	8,41	7,71	7,55
Rio de Janeiro	14,88	14,60	19,11	18,92	21,76	20,74	22,98	24,53	25,06	28,17	33,38	30,26	29,90
São Paulo	183,47	203,88	232,12	239,66	266,30	263,05	298,19	325,50	334,12	343,70	371,01	357,39	333,89
Paraná	13,97	13,73	17,93	17,76	20,46	19,51	21,63	23,10	23,57	26,44	31,30	28,36	28,02
Santa Catarina	46,05	51,47	58,10	60,24	67,01	66,30	75,27	82,26	84,17	86,09	92,63	89,18	83,10
Rio Grande do Sul	17,03	16,69	21,86	21,64	24,91	23,74	26,31	28,08	28,67	32,24	38,21	34,61	34,22
Mato Grosso do Sul	1,86	1,88	2,38	2,38	2,72	2,61	2,91	3,13	3,19	3,51	4,08	3,74	3,66
Mato Grosso	1,35	1,32	1,73	1,71	1,97	1,88	2,08	2,23	2,27	2,55	3,03	2,74	2,71
Goiás	11,24	11,05	14,41	14,29	16,45	15,70	17,41	18,60	18,98	21,27	25,13	22,80	22,51
Distrito Federal	0,32	0,31	0,41	0,41	0,47	0,45	0,50	0,53	0,54	0,61	0,72	0,65	0,65
Brasil	446,26	469,53	568,88	575,97	649,75	631,34	708,44	765,71	784,59	840,20	947,84	887,15	851,17

Unidade: Gg CO₂

1.4.2 Outros usos de barrilha

A barrilha (carbonato neutro de sódio, Na_2CO_3) é usada como material de consumo em um grande número de indústrias, incluindo a manufatura de vidro, sabões e detergentes, produção de papel e de polpa de celulose e tratamento de água. O dióxido de carbono é emitido a partir do uso da barrilha e pode ser emitido durante sua produção, dependendo do processo industrial usado para fabricá-la. Quatro diferentes processos podem ser usados comercialmente para produzir barrilha. Três deles são referidos como processos naturais e usam trona como material de consumo básico. O quarto, o processo Solvay, é classificado como processo sintético.

Os processos naturais são os únicos que sabidamente produzem emissões de CO_2 durante a fabricação de barrilha. A produção brasileira, descontinuada a partir de 2002, usava o processo sintético e, portanto, nenhuma emissão líquida foi produzida.

Metodologia

A mesma apresentada no item 1.3.1.

Dados

Para se conhecer o consumo de barrilha é necessário saber a produção, importação e exportação do produto (Tabela 1-29). Os Anuários da Abiquim (1995, 1997, 2000, 2005, 2008, 2012) foram utilizados como fonte de informação, com estatísticas até 2011. A partir daí, na falta de dados atualizados, foram repetidos os dados de consumo e exportação até 2016, levando a uma incerteza maior nos últimos cinco anos.

Para as emissões, abateram-se os valores de barrilha consumidos na produção de vidro, já relatados na Tabela 1-13.

Resultados

A Tabela 1-29 mostra as emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha, de 1990 a 2016; e a Figura 1-9, sua evolução ao longo dos anos.

Tabela 1-29. Dados sobre a barrilha e emissões de CO₂, fora da produção de vidro.

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo	Emissões de CO ₂ (exceto prod. vidro)
	t				Gg
1990	195.893	242.788	-	438.681	104
1991	207.607	253.610	-	461.217	114
1992	220.596	179.785	-	400.381	110
1993	231.390	218.954	10	450.334	119
1994	219.471	231.827	255	451.043	125
1995	203.950	392.071	2	596.019	173
1996	211.043	306.932	9	517.966	139
1997	206.273	334.398	3	540.668	142
1998	201.866	358.459	4	560.321	150
1999	208.834	352.073	4	560.903	139
2000	190.616	393.845	4	584.457	139
2001	194.837	430.797	400	625.234	155
2002	-	424.780	609	424.170	56
2003	-	471.938	558	471.381	76
2004	-	473.063	1	473.062	65
2005	-	597.888	2	597.886	114
2006	-	742.140	2	742.139	193
2007	-	804.105	2.192	801.913	218
2008	-	861.195	20	861.175	239
2009	-	770.854	560	770.294	200
2010	-	954.675	47	954.629	264
2011	-	904.506	602	903.904	222
2012	-	904.506	602	903.904	232
2013	-	904.506	602	903.904	209
2014	-	904.506	602	903.904	218
2015	-	904.506	602	903.904	225
2016	-	904.506	602	903.904	234

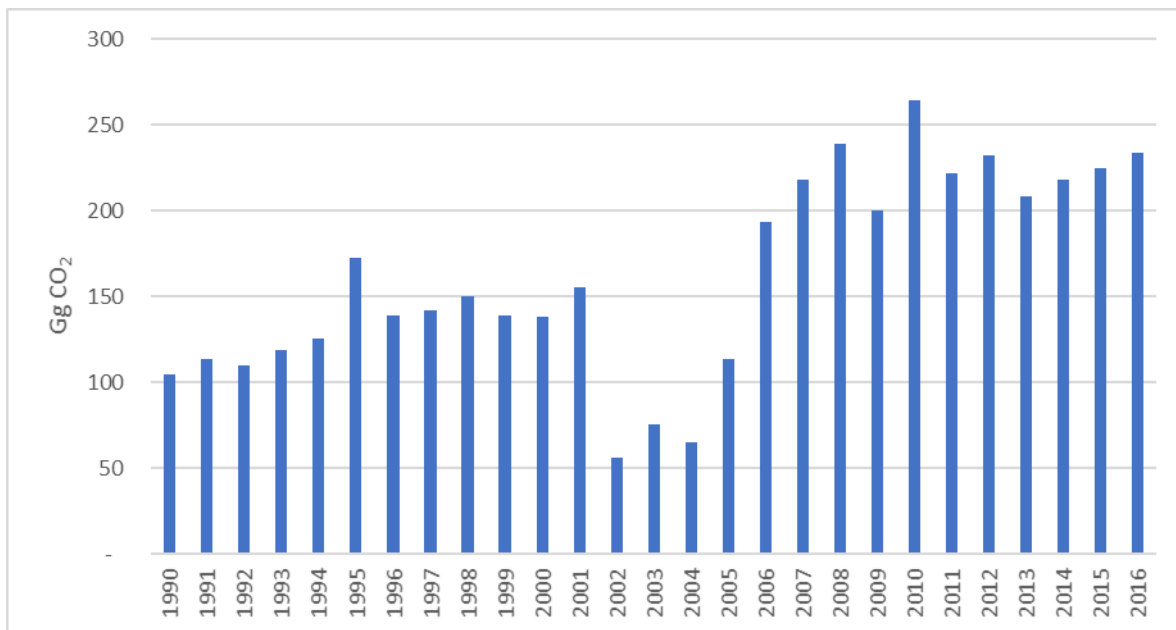


Figura 1-9. Evolução das emissões de CO₂ referentes a outros usos da barrilha, fora produção de vidro

1.4.3 Produção de magnésia não metalúrgica

Introdução

O óxido de magnésio (MgO), ou magnésia, é produzido a partir da mineração e calcinação da magnesita (carbonato de magnésio, MgCO₃). Também é viável obtê-lo de outros minerais, notadamente a dolomita (carbonato de cálcio e magnésio, isto é, CaMg(CO₃)₂), ou diretamente de salmouras e da água marinha.

Como insumo, é empregado: a) em revestimentos refratários; b) na agropecuária, como corretivo, fertilizante e aditivo para rações; c) nas metalúrgicas, em ligas de alumínio; d) na indústria química, na obtenção de compostos de magnésio; e e) na construção civil, no cimento sorel e em placas substitutas do drywall, entre outras dezenas de aplicações. Há especificações adequadas para uso da magnésia. Logo, há múltiplos derivados: magnesita bruta, calcinada, cáustica, eletrofundida, queimada a fundo (ou à morte, ou sinterizada), fundida, magnésio metálico, entre outros. (Sumário Mineral, 2017)

A magnésia sinterizada é a principal matéria-prima para produção de refratários básicos. Ela resulta do processo de calcinação e sinterização da magnesita, sob condições de elevadas temperaturas, em geral da ordem de 1.800 a 2.000°C. Além da magnésia sinterizada, entre os refratários básicos é relevante o consumo de magnésia eletrofundida (magnésia fundida com vistas a aumentar o tamanho dos grãos de cristal e assim melhorar suas propriedades refratárias) e doloma (dolomita, carbonato de cálcio e magnésio, calcinada e sinterizada). Entre os refratários não básicos, as principais matérias-primas são as diversas fontes de alumina (Al₂O₃), entre elas argilas (baixo teor de alumina), chamotes (teor intermediário de alumina) e bauxitas (alto teor de alumina).

A indústria siderúrgica é a principal consumidora de refratários, absorvendo aproximadamente 70% da produção de refratários em termos de volume. Outras indústrias que apresentam elevado consumo agregado

de refratários são fundição de ferro e aço, metalurgia de metais não ferrosos como alumínio, cimento e cal, vidro, química e outros. (Anuário Estatístico da Transformação de Não Metálicos MME, 2019)

Metodologia

As emissões de CO₂ são calculadas a partir da quantidade de magnesita calcinada, com o fator de emissão de 0,52197 t CO₂/t magnesita, *default* do IPCC 2006. Dependendo da pureza do minério, poderia ser aplicado um fator de redução, o que, na falta de mais informações no presente Inventário, não foi feito.

Dados

O Sumário Mineral é uma publicação anual do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) que analisa o desempenho das principais substâncias minerais produzidas no país. Através de suas edições, pôde-se montar a série histórica da magnesita beneficiada desde 1990, quantidades que foram consideradas totalmente submetidas à calcinação.

Para se chegar à quantidade de magnesita beneficiada (consumo aparente do país), deve-se acrescentar à produção nacional de magnesita a quantidade importada e subtrair a exportada.

De 1990 a 1998, obtiveram-se os dados de produção, importação e exportação de magnesita beneficiada através do Balanço Mineral Brasileiro 2001 (BRASIL, 2001). A partir de 1999, os dados foram obtidos de várias edições do Sumário Mineral.

Resultados

A Tabela 1-30 apresenta os valores referentes à magnesita e as emissões correspondentes à calcinação da magnesita beneficiada.

Tabela 1-30. Dados da magnésita beneficiada e emissões de CO₂ da produção de magnésia

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo aparente	Emissões de CO ₂
	t				Gg
1990	345.415	1.873	92.408	254.880	133
1991	337.306	2.570	40.735	299.141	156
1992	284.357	4.618	107.837	181.138	95
1993	232.683	3.513	78.832	157.364	82
1994	279.489	16.580	93.041	203.028	106
1995	315.978	87.014	141.515	261.477	136
1996	316.697	133.561	94.181	356.077	186
1997	497.624	126.043	92.403	531.264	277
1998	342.485	121.967	88.092	376.360	196
1999	259.834	67.173	46.718	280.289	146
2000	279.876	79.930	7.590	352.216	184
2001	265.749	7.609	56.657	216.701	113
2002	302.230	7.443	67.727	241.946	126
2003	306.444	9.331	37.948	277.827	145
2004	366.174	8.013	98.440	275.747	144
2005	386.759	13.293	63.625	336.427	176
2006	382.718	15.247	88.168	309.797	162
2007	399.314	17.562	98.838	318.038	166
2008	421.333	19.871	124.031	317.173	166
2009	409.909	16.443	129.245	297.107	155
2010	483.882	52.147	148.649	387.380	202
2011	476.805	57.812	157.267	377.350	197
2012	479.304	52.643	159.794	372.153	194
2013	1.388.866	58.449	172.574	1.274.741	665
2014	1.423.211	83.837	485.527	1.021.521	533
2015	1.621.425	278.875	388.290	1.512.010	789
2016	1.652.424	148.435	428.211	1.372.648	716

Fonte: Brasil 2001, 2014 e 2017.

1.4.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

No Inventário anterior não havia a categoria de produção de cerâmica nem a de magnésia, que o IPCC 2006 agora inclui. Além disso, o uso de carbonatos (calcário e dolomita) na indústria siderúrgica, que era aqui relatado, foi incorporado na seção de produção de ferro e aço, conforme a nova metodologia de relato.

2 Indústria Química

Introdução

A experiência de uma série de países confirmou as contribuições significativas da produção de vários produtos químicos orgânicos e inorgânicos para os níveis nacionais e globais das emissões de gases de efeito estufa da indústria química. Essas emissões do setor químico no Brasil estão associadas às produções de amônia, ácido nítrico, ácido adípico, caprolactama, carbureto de cálcio, dos petroquímicos (metanol, eteno, dicloroetano e cloreto de vinila, óxido de eteno e acrilonitrila), negro de fumo e coque de petróleo. Adicionalmente, outros químicos como resinas ABS, anidrido ftálico, borracha de butadieno estireno (SBR), estireno, etilbenzeno, formaldeído, policloreto de vinila - PVC, poliestireno, polietileno PEAD, polietileno PEBD, polietileno PELBD, polipropileno e propeno produzem emissões indiretas de compostos orgânicos voláteis como SO₂, NO_x, NMVOC e CO. A produção de óxido de titânio não foi avaliada, pois a rota tecnológica utilizada no Brasil não emite GEE.

A indústria química tem presença global e utiliza materiais ricos em carbono, tanto como matéria-prima quanto no papel de fonte de energia, o que faz com que a discussão sobre as mudanças climáticas seja tratada como um tema de relevância para o setor. A produção e o uso desses químicos geram gases de efeito estufa - GEE, razão pela qual as ações desse setor industrial são relevantes para ajudar na solução dos problemas advindos das mudanças climáticas.

As metodologias aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂, N₂O e CH₄ a partir dos processos industriais dos produtos químicos seguiram o IPCC 2006. Já as emissões dos gases CO, NO_x e NMVOC, de efeito estufa indireto, foram estimadas através do IPCC 1996.

O método mais simples para estimativa das emissões, o Tier 1, envolve a multiplicação de um fator de emissão *default* por um dado de atividade, normalmente o quantitativo da produção em si; já o método Tier 2 baseia-se no balanço de massa do processo; e o Tier 3, o mais acurado, envolve medições diretas específicas, tendo sido usado nos casos envolvendo projetos de MDL. A partir de 2006 as emissões foram calculadas em Tier 1, excetuando-se as emissões de produções envolvendo projetos MDL.

Os dados sobre a produção dos químicos foram obtidos nos Anuários estatísticos da Abiquim (ABIQUIM 1993, 1997, 2000, 2005, 2008 e 2013), que reúne os fabricantes de produtos químicos no país. Os dados de atividade para todos os anos estão no anexo.

Quase todas as emissões da indústria química relatadas neste relatório estão relacionadas ao consumo não energético de combustíveis (usados como matéria-prima da química, como fontes de carbono/hidrogênio), que estão relacionados no Balanço Energético Nacional (BEN) como tal. Adicionalmente, ali as informações estão divididas em consumo não energético da química e outros consumos não energéticos. Esses consumos não foram contados no setor Energia deste Inventário, mas estão implícitos neste relatório.

Detalhes sobre a metodologia e a obtenção de dados são analisados em cada um dos processos produtivos da indústria química no Brasil que geram gases de efeito estufa, listados a seguir.

2.1 Produção de amônia

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

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

A produção de amônia requer uma fonte de hidrogênio e outra de nitrogênio. A fonte de nitrogênio é o ar atmosférico. O hidrogênio pode ser obtido de diferentes matérias-primas, tais como: resíduo asfáltico (tecnologia desenvolvida pela Shell e a Texaco); gás residual de refinaria (tecnologia desenvolvida pela Petrobras/Fosfértil/Ultrafértil); gás natural (tecnologia com uma dezena de fornecedores); nafta petroquímica (tecnologia com uma dezena de fornecedores).

Como subproduto da fabricação de amônia, é gerado dióxido de carbono (CO₂), que pode ser comercializado, sendo seu excesso liberado na atmosfera. Quando há integração com uma planta de ureia ou de metanol, parte do CO₂ é utilizada como matéria-prima na produção desses produtos. Alternativamente, o CO₂ também pode ser recuperado para utilização como fluido refrigerante, na carbonatação de líquidos e como gás inerte. Pela metodologia do IPCC 2006, as emissões de CO₂ da produção de amônia devem ser descontadas apenas da parte utilizada para a fabricação de ureia, parte essa que será contabilizada sob o uso desse fertilizante no setor Agropecuária.

2.1.1 Metodologia

Entre 1990 e 2005, para as emissões de CO₂ foi aplicado o Tier 3 pelas próprias empresas, com a medição de combustíveis utilizados como matérias-primas no processo, conforme o IPCC 2006.

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

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

Considerando-se as matérias-primas utilizadas no Brasil e seus respectivos FEs acima, obteve-se um valor médio para o fator de emissão nacional de 1,46 t de CO₂/t de amônia, que foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2016.

Para o desconto do CO₂ utilizado para a produção de ureia, foi utilizado o mesmo fator de emissão de 0,20 t C/t ureia adotado no setor Agropecuária, conforme o *default* do IPCC 2006, associado à conversão de C para CO₂ com o fator de 44/12.

2.1.2 Dados

A produção de amônia foi fornecida pela Abiquim. Quanto à de ureia, a base de dados Sidra-IBGE fornece dados de 2005 a 2016. Para os anos anteriores, tomou-se uma correlação média com a quantidade de amônia produzida entre 2005 e 2007 e aplicou-se em seguida para os anos até 1990. A Tabela 2-1 apresenta a produção de amônia e de ureia no país.

Tabela 2-1. Produção de amônia e de ureia

<i>Ano</i>	<i>Produção de amônia</i>	<i>Produção de ureia</i>
	<i>t</i>	<i>t</i>
1990	1.152.563	1.904.707
1991	1.012.110	1.672.596
1992	1.038.436	1.716.102
1993	1.153.336	1.905.984
1994	1.156.830	1.911.758
1995	1.222.348	2.020.032
1996	1.201.047	1.984.831
1997	1.252.722	2.070.228
1998	1.176.431	1.944.151
1999	1.331.113	2.199.775
2000	1.139.109	1.882.473
2001	955.998	1.579.867
2002	1.073.161	1.773.488
2003	1.157.575	1.912.989
2004	1.324.479	2.188.812
2005	1.316.154	1.908.586
2006	1.347.748	2.331.134
2007	1.278.118	2.272.463
2008	1.240.527	2.659.423
2009	1.079.145	1.919.919
2010	1.191.042	1.967.508
2011	1.366.231	2.346.966
2012	1.204.377	2.111.578
2013	1.236.209	2.379.181
2014	1.107.156	1.979.452
2015	1.423.005	2.076.816
2016	1.327.214	2.020.461

Fonte: amônia - Abiquim; ureia - Sidra-IBGE, de 2005 a 2016 (demais anos, autor)

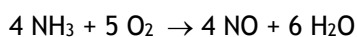
2.2 Produção de ácido nítrico

O ácido nítrico (HNO₃) é um composto inorgânico usado principalmente na fabricação de fertilizantes sintéticos. É o composto mais importante como insumo na fabricação de ácido adípico, como intermediário na produção de ácido nítrico concentrado, para agente de nitratação de compostos orgânicos e também na fabricação de explosivos.

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

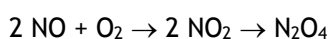
Oxidação catalítica da amônia (NH₃) com o oxigênio (O₂) da atmosfera para obtenção de óxido nítrico (NO):

Equação 2-1



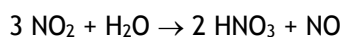
Oxidação do NO para formação de dióxido de nitrogênio (N₂O₄):

Equação 2-2



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

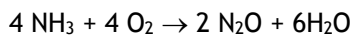
Equação 2-3



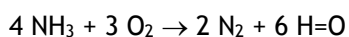
Usando um catalisador apropriado, é possível converter grande parte (de 92% a 98%) da amônia em óxido nítrico (

Equação 2-1 acima). O restante participa das seguintes reações colaterais indesejáveis, sendo que apenas na Equação 2-4 ocorre a formação de N₂O:

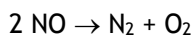
Equação 2-4



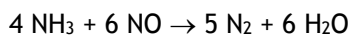
Equação 2-5



Equação 2-6



Equação 2-7



Há, portanto, pela Equação 2-4, geração do gás de efeito estufa N₂O, óxido nitroso.

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

2.2.1 Metodologia

Para as emissões de N₂O foram utilizados diferentes métodos, dependendo da planta e apenas para as fábricas que emitem N₂O.

Para aquelas plantas que realizaram projetos de MDL⁸, foi possível a aplicação do método mais acurado, Tier 3 do *IPCC 2006*. Tal método utiliza dados de medições diretas que resultam em fatores de emissões específicos para cada planta. Já para as demais foi utilizado o método Tier 1, com aplicação dos fatores de emissão *default* do *IPCC 2006*.

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

- Planta de baixa pressão: 4,89 kg N₂O /t HNO₃ - valor medido.
- Plantas de média pressão:
 - 8,14 kg de N₂O/t HNO₃ - valor medido.
 - 6,01 kg de N₂O/t HNO₃ - valor medido.
 - 7,00 kg de N₂O/t HNO₃ - valor *default* (IPCC, 2006).
- Planta a vácuo: 5 kg N₂O/t HNO₃ - valor *default* (IPCC, 2006).

Após julho de 2007, com a implementação de um projeto MDL em uma planta de média pressão, o fator de emissão medido dessa planta foi reduzido de 6,01 kg N₂O/t HNO₃ para 0,52 kg N₂O/t HNO₃, claramente indicando ótimos resultados para a redução de gases de efeito estufa nesse processo.

Já para as emissões de NO_x foi aplicado o fator de emissão 1,75 kg NO_x /t HNO₃, agora para toda a produção de ácido nítrico, em função do controle de emissões desses gases no país, valor abaixo do *default* de 12 kg NO_x /t HNO₃ do *IPCC 1996*.

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

2.2.2 Dados

A Tabela 2-2 apresenta um resumo da produção de ácido nítrico no país, sem a planta de alta pressão.

⁸ PAN2 e PAN4, da Fosfertil; e Paulínia, da Rhodia.

Tabela 2-2. Produção de ácido nítrico

Ano	Produção total de ácido nítrico	Produção de ácido nítrico que emite N ₂ O
	t	t
1990	389.426	295.824
1991	404.823	313.909
1992	398.608	310.526
1993	416.789	325.567
1994	554.265	326.489
1995	574.216	332.842
1996	612.031	335.850
1997	611.729	343.127
1998	532.949	332.560
1999	525.011	335.069
2000	540.087	336.025
2001	619.759	331.805
2002	641.626	346.225
2003	539.844	349.566
2004	559.918	357.524
2005	612.609	363.422
2006	601.618	355.706
2007	594.336	356.661
2008	580.386	390.832
2009	577.555	423.757
2010	558.078	360.083
2011	546.028	352.060
2012	492.408	311.591
2013	480.076	312.725
2014	522.626	308.731
2015	517.350	302.939
2016	505.675	305.910

Fontes: Produção total de N₂O: Abiquim.

Produção que emite N₂O: até 2007, Abiquim; após 2007, estimativas do autor, incorporando dados provenientes do monitoramento dos projetos MDL “Fosfertil Piaçaguera NAP 2 Nitrous Oxide Abatement Project”, “Fosfertil Cubatão NAP4 Nitrous Oxide Abatement Project”, “N₂O Emission Reduction in nitric acid plant Paulínia, SP, Brazil”, a partir da página do MDL, disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

2.3 Produção de ácido adípico

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

A única planta de ácido adípico, no Brasil, utiliza a tecnologia de produção de dois estágios. O primeiro envolve a oxidação do ciclohexano para formar a mistura ciclohexanona/ciclohexanol. O segundo estágio envolve o processo de oxidação do ciclohexanol por meio de ácido nítrico. Neste último estágio é que é emitido o gás de efeito estufa óxido nitroso (N₂O).

No final de 2005 foi registrado no Conselho Executivo do MDL projeto de destruição de N₂O dessa fábrica, com destruição efetiva de N₂O a partir de 2007. Foi construída uma instalação dedicada à conversão, em alta temperatura, de óxido nitroso em nitrogênio, no processo de decomposição térmica do N₂O.

2.3.1 Metodologia

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

O fator de emissão de N₂O medido corresponde a 0,270 t N₂O/t ácido adípico, aplicado ao período 1990-2006. Após a implementação do projeto MDL, houve uma redução significativa nas emissões, e o fator de emissão implícito, também obtido por medições, variou de 0,00640 t N₂O/t ácido adípico a 0,00155 t N₂O/t ácido adípico.

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

2.3.2 Dados

A Tabela 2-3 apresenta um resumo da produção nacional de ácido adípico. Os dados provêm da Abiquim até 2007 e dos relatórios do MDL no site da UNFCCC⁹, a partir de 2008.

⁹ Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

Tabela 2-3. Produção de ácido adípico

Ano	Produção de ácido adípico
	t
1990	31.951
1991	41.676
1992	38.538
1993	51.264
1994	51.825
1995	55.864
1996	41.554
1997	35.767
1998	62.055
1999	61.572
2000	64.862
2001	51.486
2002	65.931
2003	59.979
2004	86.958
2005	75.147
2006	82.614
2007	88.808
2008	85.021
2009	87.196
2010	86.286
2011	85.813
2012	64.792
2013	63.337
2014	51.257
2015	46.643
2016	44.428

Fontes: Até 2010, Abiquim; após 2010, estimativas do autor, incorporando dados provenientes do monitoramento do projeto MDL “N2O Emission Reduction in Paulínia, SP, Brazil”, a partir da página do MDL, disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

2.4 Produção de caprolactama

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

A produção brasileira de caprolactama parte da hidrogenação do benzeno a ciclohexano, oxidação a ciclohexanol e ciclohexanona com ácido nítrico, etapa em que é gerado o óxido nitroso, N₂O, seguida da desidrogenação do ciclohexanol produzido e posterior reação com sulfato.

2.4.1 Metodologia

Para as emissões de N₂O foi aplicado o método Tier 3 do *IPCC 2006*. Tal método utiliza as medições de N₂O realizadas pelas plantas. O fator de emissão médio resultante dessas medições, aplicado para todo o período, foi de 6 kg N₂O/t caprolactama, em contraposição ao fator *default* de 9,0 kg N₂O/t caprolactama.

2.4.2 Dados

A Tabela 2-4 apresenta um resumo da produção nacional de caprolactama, sendo que o valor nulo a partir de 2010 é devido à parada da planta.

Tabela 2-4. Produção de caprolactama

Ano	Produção de Caprolactama
	t
1990	42.059
1991	47.193
1992	41.699
1993	50.824
1994	50.838
1995	52.608
1996	54.712
1997	56.024
1998	42.973
1999	50.498
2000	56.005
2001	48.550
2002	57.519
2003	48.847
2004	50.472
2005	49.655
2006	44.906
2007	49.592
2008	55.395
2009	13.282
2010 - 2016	0

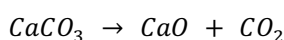
Fonte: Abiquim

2.5 Produção e uso do carbureto de cálcio

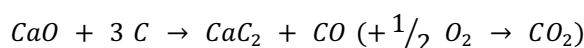
O carbureto de cálcio (CaC₂) é produzido a partir da calcinação do calcário (CaCO₃) e da subsequente redução da cal (CaO) com coque de petróleo ou carvão vegetal (C). Esses dois tipos de agentes redutores são utilizados no Brasil.

Tanto o processo de calcinação (Equação 2-8) quanto o de redução (Equação 2-9) emitem dióxido de carbono (CO₂) conforme as reações abaixo:

Equação 2-8



Equação 2-9



As emissões da Equação 2-8 já foram abordadas no item 1.2, portanto não serão aqui tratadas novamente.

O uso de matérias-primas como o coque de petróleo e o carvão vegetal no processo produtivo do CaC₂ gera emissões de monóxido de carbono (CO) e CO₂, conforme demonstrado acima, porém apenas as emissões provenientes do redutor fóssil - coque de petróleo - são consideradas neste Inventário, sendo as emissões relativas ao uso do carvão vegetal consideradas renováveis. No Brasil, o gás CO é reaproveitado para fins energéticos.

Em torno de 67% do carbono contido no coque de petróleo fica retido no produto final (CaC₂), porém as aplicações do CaC₂ produzido no Brasil acabam resultando em mais emissões. São elas:

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

Portanto o carbono estocado no CaC₂ acaba finalmente sendo emitido como CO₂ quando utilizado.

2.5.1 Metodologia

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

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

2.6 Produção de petroquímica e negro de fumo

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

2.6.1 Metanol

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

As tecnologias de produção de metanol precisam de hidrogênio (H), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). No Brasil, o processo utilizado é a síntese em baixas e altas pressões, cujas matérias-primas são o gás natural (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂).

O gás natural, alimentado no reator de síntese, utiliza a reformação primária como processo para a geração do H e CO. A matéria-prima CO₂ é obtida reciclando parcialmente o gás produzido na etapa de conversão do monóxido de carbono. Alternativamente, o CO₂ pode ser obtido como subproduto de outro processo produtivo, como a produção de amônia, por exemplo.

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

Metodologia

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

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

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.2 Eteno (ou etileno)

O eteno é o hidrocarboneto primário produzido em maior quantidade no país e um dos principais da cadeia de valor da indústria petroquímica. É utilizado no processo de produção de plásticos, incluindo os

polietilenos de alta e baixa densidade, cloreto de polivinila, sendo também usado como matéria-prima para fabricação de cloreto de vinila, óxido de eteno, etilbenzeno e dicloroetano.

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

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

A partir de 2010, o país incorporou de forma pioneira na indústria química brasileira uma nova matéria-prima de fonte renovável para a produção de eteno: o etanol, portanto o produto derivado do eteno de etanol, o polietileno, será um sequestrador de carbono, considerando-se a abordagem de ciclo de vida.

Metodologia

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

As emissões de CH₄ também utilizaram o método Tier 1, com um fator de emissão de 3 kg CH₄/t eteno, que foi aplicado até 2005.

A partir de 2006, com a entrada em operação da planta que utiliza gás natural, os fatores passaram a ser calculados a partir das medições específicas das plantas do consumo de matérias-primas fósseis. Para o dióxido de carbono, os FEs de 2006 em diante passaram a ser 1,74 kg CO₂/t eteno, enquanto para o metano foram de 3,54 kg de CH₄/t de eteno entre 2006 e 2009 e de 3,25 kg de CH₄/t de eteno a partir de 2010.

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

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.3 Dicloroetano e cloreto de vinila (MVC)

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

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

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

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

Metodologia

Tanto para as emissões de CO₂ quanto para as de CH₄ foi utilizado Tier 1 do *IPCC 2006*.

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

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

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

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.4 Óxido de eteno

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

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

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

Metodologia

Para as emissões de CO₂ foi utilizado o método Tier 2 do *IPCC 2006*, quando se usa o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão assim calculado foi de 0,52 t CO₂/t óxido de eteno, relacionado principalmente com a seletividade e eficiência do catalisador utilizado no processo de produção e foi aplicado para todos os anos do período 1990 a 2010.

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

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.5 Acrilonitrila

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

As borrachas de NBR (butadieno-acrilonitrila) usadas em aplicações envolvendo resistência a óleo e combustível, em áreas que requerem resistência a líquidos e gases apolares, baixa resiliência, resistência à compressão e à tração.

As resinas ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) para uso em aplicações onde a flexibilidade de design é necessária como no mercado de eletrodomésticos portáteis, brinquedos, componentes e acessórios para banheiro, complementos para a indústria moveleira, perfumaria e cosméticos; na indústria automotiva.

A mistura ABS/PA, resina que oferece a nitidez, resistência, rigidez e processabilidade do estireno juntamente com a resistência a produtos químicos e ao calor da acrilonitrila, é utilizada para moldar peças interiores de automóveis, tais como console central, botões de controle de ventilação, coberturas de air bag e de rádios, tampa do porta-luvas, tetos de tratores e exteriores (espelhos retrovisores, para-choques de carros, caminhões e ônibus).

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

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

Metodologia

Para as emissões de CO₂ foi utilizado o método Tier 2 do *IPCC 2006*, usando o balanço de massa do carbono total das matérias-primas utilizadas no processo produtivo. O fator de emissão calculado foi de 0,2325 t CO₂/t acrilonitrila, tendo sido aplicado para todos os anos do período 1990 a 2010.

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

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

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.6 Coque de petróleo calcinado

A partir do coque de petróleo produzido na refinaria, o chamado “coque verde de petróleo”, esse produto pode passar por outro processo, em uma indústria química, para uma purificação destinada a aumentar-lhe o conteúdo de carbono, originando o chamado coque de petróleo calcinado.

O coque verde de petróleo é um produto sólido, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados em unidades de conversão de resíduos denominadas Unidades de Coqueamento Retardado (UCR). Nesses locais é feita a destruição de resíduos da destilação de petróleo, principalmente resíduo de vácuo, com o objetivo de obtenção de derivados claros. No Brasil, a Petrobras produz dois tipos diferenciados por grau anodo ou grau siderúrgico. O grau anodo é matéria-prima essencial para obtenção de coque calcinado. Já o coque verde grau siderúrgico é um produto utilizado como agente redutor na metalurgia de ferro e aço, além de atender aos segmentos de pelletização, produção de carbetos, obtenção de cal, bem como a outras aplicações industriais.

O coque calcinado de petróleo é produzido num processo térmico, que permite reduzir drasticamente o teor de matéria volátil presente no coque verde de petróleo. O coque calcinado de petróleo é empregado em misturas com piche na produção de anodos para a indústria de alumínio, de eletrodos de grafite e na indústria de óxido de titânio.

As emissões referentes a utilização e/ou consumo tanto do coque verde quanto do coque calcinado, sejam produzidos nacionalmente ou importados, são estimadas em outros setores do Inventário (produção de metais, queima de combustíveis fósseis). Neste relatório apenas se consideram as emissões de metano (CH₄), principal gás emitido proveniente da calcinação do coque.

Metodologia

Para as emissões de CH₄ foi utilizado o método Tier 1 do *IPCC 1996*, utilizando o fator *default* de 0,5 kg CH₄/t coque produzido.

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.7 Negro de fumo

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

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

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

Metodologia

Para as emissões de CO₂, foi utilizado o método Tier 1 do *IPCC 2006*, com valor *default* de 2,62 t CO₂/t negro de fumo. Esse valor foi considerado o mais adequado pela Abiquim.

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

Para os gases de efeito estufa indireto, mantiveram-se as estimativas do Inventário Inicial, quando apenas foram consideradas emissões de NO_x, com o fator de emissão de 0,14 kg NO_x/t negro de fumo, determinado no II Inventário pelos autores e pela Abiquim.

Dados

Ver Tabela 2-5.

2.6.8 Dados de petroquímicos e de negro de fumo

A Tabela 2-5 apresenta a produção nacional de metanol, eteno, cloreto de vinila, dicloroetano, óxido de eteno, acrilonitrila, coque de petróleo e negro de fumo.

Tabela 2-5. Produção de petroquímicos e negro de fumo

Ano	Metanol	Eteno	Cloreto de vinila	Dicloroetano	Óxido eteno	Acrilnitrila	Coque de Petróleo Calcinado	Negro de fumo
t								
1990	175.939	1.499.714	480.415	538.183	127.239	58.451	226.204	178.395
1991	206.641	1.426.836	331.897	369.538	150.349	63.470	261.609	182.567
1992	204.447	1.498.327	333.782	420.540	142.578	74.159	262.888	186.422
1993	223.496	1.709.460	511.155	495.139	149.481	74.258	263.857	197.248
1994	220.310	1.895.754	409.757	499.934	163.473	76.522	299.639	204.301
1995	205.134	1.881.078	388.905	494.361	161.326	79.825	318.073	200.554
1996	223.765	1.875.677	433.272	512.181	149.058	78.440	320.155	202.183
1997	219.697	2.126.304	419.213	567.239	217.967	87.086	267.130	207.769
1998	203.164	2.254.657	414.680	545.103	259.015	64.056	276.511	211.138
1999	215.492	2.415.980	426.167	558.930	261.266	79.708	251.870	221.501
2000	211.584	2.633.818	556.209	541.335	256.035	87.361	265.707	229.860
2001	242.218	2.462.155	510.388	427.680	278.156	74.980	222.606	215.359
2002	240.209	2.414.222	534.366	492.583	251.345	78.362	219.187	222.204
2003	240.871	2.575.893	567.108	540.194	280.729	76.196	215.971	229.863
2004	273.596	2.702.525	588.947	566.711	296.643	83.538	244.647	230.477
2005	240.360	2.699.831	609.207	581.366	297.183	76.780	300.829	280.140
2006	276.789	3.135.114	687.861	547.721	289.724	84.811	316.706	280.140
2007	234.595	3.223.595	685.232	536.317	309.668	88.044	351.518	354.090
2008	216.359	2.903.352	675.124	549.373	267.298	67.912	332.676	390.420
2009	109.299	3.082.505	684.307	581.609	259.003	86.407	362.445	385.600
2010	205.999	3.276.627	475.555	578.200	320.249	94.501	485.058	400.060
2011	212.657	3.665.085	443.786	473.596	387.160	73.927	500.962	385.600
2012	167.131	3.171.465	505.101	522.502	351.491	78.244	463.172	390.420
2013	115.282	3.372.826	587.871	523.791	327.099	67.630	485.972	395.240
2014	80.230	3.237.888	640.020	514.294	319.805	74.920	468.044	380.780
2015	75.847	3.296.405	549.900	503.582	300.895	81.882	157.428	375.960
2016	41.908	3.459.860	599.793	599.793	320.247	87.824	472.406	385.600

Fonte: Abiquim.

2.7 Outros produtos químicos

Existem outros produtos químicos não listados no *IPCC 2006*, mas cuja produção emite gases de efeito estufa indireto, tais como: ABS, anidrido ftálico, borracha de butadieno estireno (SBR), estireno, etilbenzeno, formaldeído, policloreto de vinila - PVC, poliestireno, polietileno PEAD, polietileno PEBD, polietileno PELBD, polipropileno e propeno. As emissões correspondentes de NO_x, NMVOC e CO são cobertas apenas pelo *IPCC 1996*.

2.7.1 Metodologia

Para os produtos químicos desta seção foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa indireto com fatores de emissão utilizados no Inventário Inicial, listados na Tabela 2-6. Em geral são fatores *default* do *IPCC 1996*, mas alguns foram derivados de tecnologias sugeridas pelo Corinair (anidrido ftálico, policloreto de vinila - PVC e poliestireno) ou determinados pelos autores e pela Abiquim (borracha de butadieno estireno - SBR). Ver Tabela 2-6.

Tabela 2-6. Fatores de emissão de NMVOC para outros produtos químicos

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

2.7.2 Dados

A Tabela 2-7 a seguir apresenta um resumo do consumo de rochas fosfáticas - para a produção de ácido fosfórico - e da produção de outras substâncias químicas.

Tabela 2-7. Dados de produção de outros produtos químicos

Ano	Resinas ABS	Anidrido ftálico	Borracha de butadieno-estireno (SBR)	Estireno	Etilbenzeno	Formaldeído	Policloreto de vinila PVC (cloreto de polivinila)	Poliestireno	Polietileno PEAD	Polietileno PEBD*	Polietileno PELBD	Polipropileno	Propeno
	10 ³ t												
1990	27	28	185	302	441	156	530	125	322	629	0	301	821
1991	26	77	189	280	314	179	484	145	162	551	0	180	779
1992	28	77	196	254	287	206	485	125	311	570	0	375	827
1993	32	76	192	223	238	245	422	143	430	609	104	478	975
1994	32	91	209	262	346	257	593	133	479	609	133	522	1.086
1995	33	75	221	273	407	276	581	149	495	595	150	558	1.077
1996	0	87	211	236	259	282	627	131	529	561	170	590	1.085
1997	0	86	239	232	250	292	632	133	644	664	177	636	1.219
1998	0	74	206	228	263	312	632	139	693	649	174	708	1.271
1999	0	90	244	227	240	368	658	165	764	659	266	787	1.264
2000	0	88	237	405	437	326	648	176	891	647	334	848	1.409
2001	0	91	205	403	439	287	538	239	819	636	270	832	1.340
2002	0	95	233	400	422	322	602	314	811	608	313	891	1.390
2003	0	98	246	388	428	467	604	292	811	672	359	1.012	1.559
2004	0	103	261	445	468	506	630	319	833	673	407	1.130	1.747
2005	0	85	212	405	395	477	640	317	812	682	442	1.212	1.731
2006	0	103	0	460	446	447	676	361	1.018	681	635	1.235	1.834
2007	0	113	0	430	446	473	686	376	1.022	691	685	1.293	1.876
2008	0	97	0	324	303	528	699	345	925	590	606	1.262	1.698
2009	0	101	0	455	369	625	689	367	976	636	674	1.486	2.086
2010	0	106	0	440	399	488	725	396	985	652	743	1.586	2.192
2011	0	88	0	424	378	479	696	376	940	622	709	1.835	2.363
2012	0	102	0	442	280	493	759	380	1.010	669	762	1.647	2.151
2013	0	90	0	440	283	557	866	384	1.034	684	780	1.627	2.128
2014	0	85	0	467	250	617	874	378	964	638	727	1.592	2.183
2015	0	72	0	464	263	688	783	389	1.097	726	828	1.510	2.059
2016	0	67	0	485	284	689	854	400	1.121	742	845	1.592	2.070

Fonte: Abiquim.

Exceções: A partir de 2010, a Abiquim apenas disponibilizou a produção de polietileno; daí em diante, estimou-se a divisão em PEAD, PEBD ou PELBD segundo a proporção entre esses tipos em 2010.

2.8 Produção de fluoroquímicos

No Brasil, no período de 1990 a 2016, não houve produção de gases fluorados, com exceção do HCFC-22, produzido aqui até 1999. Embora esse gás também seja de efeito estufa, não é contabilizado no presente Inventário, pois já é controlado pelo Protocolo de Montreal, criado para reduzir as emissões dos gases destruidores da camada de ozônio. O interesse aqui é que, no seu processo produtivo, há a geração de outro composto gasoso, o HFC-23, potente gás de efeito estufa.

2.8.1 Metodologia

A estimativa de emissão de HFC-23 foi feita com o fator de emissão *default* de 4% da produção de HCFC-22.

2.8.2 Dados

A produção de HCFC-22 está mostrada na Tabela 2-8.

Tabela 2-8. Produção de HCFC-22

Ano	Produção de HCFC-22
	t
1990	3.006
1991	3.438
1992	4.090
1993	4.307
1994	3.915
1995	3.826
1996	2.226
1997	2.383
1998	326
1999	2.429
2000 - 2016	0

Fonte: Prozon, 1999

2.9 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das emissões de gases de efeito estufa direto e indireto, por produto químico produzido.

2.9.1 Emissões de CO₂

Tabela 2-9. Emissões de CO₂ da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de CO ₂								
	Amônia	Carbureto de cálcio	Metanol	Eteno	Cloreto de vinila	Óxido de eteno	Acrlonitrila	Negro de fumo	Total
	(Gg CO ₂)								
1990	286	0	47	2.854	141	66	14	467	3.875
1991	251	0	55	2.715	98	78	15	478	3.690
1992	258	0	55	2.851	98	74	17	488	3.842
1993	286	0	60	3.253	150	78	17	517	4.361
1994	287	0	59	3.608	120	85	18	535	4.712
1995	303	4	55	3.580	114	84	19	525	4.684
1996	298	23	60	3.569	127	78	18	530	4.703
1997	311	32	59	4.046	123	113	20	544	5.249
1998	292	25	54	4.291	122	135	15	553	5.486
1999	330	40	58	4.598	125	136	19	580	5.885
2000	283	51	56	5.012	164	133	20	602	6.321
2001	237	42	65	4.685	150	145	17	564	5.906
2002	266	54	64	4.594	157	131	19	582	5.867
2003	287	49	64	4.902	167	146	19	602	6.236
2004	329	41	73	5.143	173	154	19	604	6.535
2005	522	35	64	5.138	179	155	18	734	6.844
2006	258	46	64	5.455	202	151	20	734	6.930
2007	200	41	64	5.609	201	161	20	928	7.225
2008	0	43	59	5.052	198	139	16	1.023	6.531
2009	168	41	30	5.364	201	135	20	1.010	6.969
2010	296	42	56	5.701	140	167	22	1.048	7.472
2011	274	42	58	6.377	130	167	22	1.010	8.080
2012	210	42	46	5.518	148	167	22	1.023	7.175
2013	60	42	32	5.869	173	167	22	1.036	7.399
2014	165	42	22	5.634	188	167	22	998	7.237
2015	555	42	21	5.736	162	167	22	985	7.688
2016	456	42	11	6.020	176	167	22	1.010	7.904

2.9.2 Emissões de CH₄

Tabela 2-10. Emissões de CH₄ da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de CH ₄							
	Metanol	Eteno	Cloreto de vinila	Óxido de eteno	Acrilonitrila	Negro de fumo	Coque de petróleo calcinado	Total
	(t CH ₄)							
1990	405	4.499	11	228	11	11	113	5.277
1991	475	4.280	8	269	11	11	131	5.185
1992	470	4.495	8	255	13	11	131	5.384
1993	514	5.128	12	268	13	12	132	6.078
1994	507	5.687	9	293	14	12	150	6.671
1995	472	5.643	9	289	14	12	159	6.598
1996	515	5.627	10	267	14	12	160	6.605
1997	505	6.379	9	390	16	12	134	7.446
1998	467	6.764	9	464	12	13	138	7.867
1999	496	7.248	10	468	14	13	126	8.375
2000	487	7.901	13	458	16	14	133	9.021
2001	557	7.386	12	498	13	13	111	8.590
2002	552	7.243	12	450	14	13	110	8.394
2003	554	7.728	13	503	14	14	108	8.933
2004	629	8.108	13	531	15	14	122	9.433
2005	553	8.099	14	532	14	17	150	9.379
2006	637	11.098	16	519	15	17	158	12.459
2007	540	11.412	15	554	16	21	176	12.734
2008	498	10.278	15	478	12	23	166	11.471
2009	251	10.912	15	464	16	23	181	11.862
2010	474	10.636	11	573	17	24	243	11.977
2011	489	11.897	10	573	17	23	250	13.260
2012	384	10.295	11	573	17	23	232	11.536
2013	265	10.948	13	573	17	24	243	12.084
2014	185	10.510	14	573	17	23	234	11.556
2015	174	10.700	12	573	17	23	79	11.579
2016	96	11.231	14	573	17	23	236	12.190

2.9.3 Emissões de N₂O

Tabela 2-11. Emissões de N₂O da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de N ₂ O			
	Ácido nítrico	Ácido adípico	Caprolactama	Total
	(t N ₂ O)			
1990	1.806	8.627	379	10.812
1991	1.926	11.253	425	13.603
1992	1.893	10.405	375	12.674
1993	1.999	13.841	457	16.298
1994	2.007	13.993	458	16.457
1995	2.046	15.083	473	17.603
1996	2.070	11.220	492	13.782
1997	2.124	9.657	504	12.286
1998	2.063	16.755	387	19.204
1999	2.060	16.624	454	19.139
2000	2.092	17.513	504	20.109
2001	2.058	13.901	437	16.396
2002	2.139	17.801	518	20.458
2003	2.143	16.194	440	18.777
2004	2.208	23.479	454	26.141
2005	2.239	20.290	447	22.976
2006	2.200	22.306	404	24.910
2007	2.071	569	446	3.086
2008	1.977	365	499	2.841
2009	919	143	120	1.181
2010	798	134	0	932
2011	753	180	0	933
2012	649	122	0	771
2013	656	145	0	801
2014	656	365	0	1.021
2015	651	197	0	849
2016	653	192	0	845

2.9.4 Emissões de HFC-23

Tabela 2-12. Emissões de HFC-23 da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de HFC-23
	t
1990	120
1991	138
1992	164
1993	172
1994	157
1995	153
1996	89
1997	95
1998	13
1999	97
2000 - 2016	0

2.9.5 Emissões de CO

Tabela 2-13. Emissões de CO da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de CO	
	Produção de ácido adípico	
	(t)	
1990	511	
1991	667	
1992	617	
1993	820	
1994	829	
1995	894	
1996	665	
1997	572	
1998	993	
1999	985	
2000	1.038	
2001	824	
2002	1.055	
2003	960	
2004	1.391	
2005	1.202	
2006	1.322	
2007	1.422	
2008	1.360	
2009	1.395	
2010	1.381	
2011	1.373	
2012	1.037	
2013	1.013	
2014	820	
2015	746	
2016	711	

2.9.6 Emissões de NO_x

Tabela 2-14. Emissões de NO_x da produção de substâncias químicas

Ano	Emissões de NO _x			
	Produção de ácido nítrico	Produção de ácido adípico	Produção de negro de fumo	Total
	(t)			
1990	681	160	25	866
1991	708	208	26	942
1992	698	193	26	916
1993	729	256	28	1.013
1994	970	259	29	1.258
1995	1.005	279	28	1.312
1996	1.071	208	28	1.307
1997	1.071	179	29	1.278
1998	933	310	30	1.272
1999	919	308	31	1.258
2000	945	324	32	1.302
2001	1.085	257	30	1.372
2002	1.123	330	31	1.484
2003	945	300	32	1.277
2004	980	435	32	1.447
2005	1.072	376	39	1.487
2006	1.053	413	39	1.505
2007	1.040	444	50	1.534
2008	1.016	425	55	1.495
2009	1.011	436	54	1.501
2010	977	431	56	1.464
2011	956	429	54	1.439
2012	862	324	55	1.240
2013	840	317	55	1.212
2014	915	256	53	1.224
2015	905	233	53	1.191
2016	885	222	54	1.161

2.9.7 Emissões de NMVOC

As emissões da produção de petroquímicos e de outras substâncias estão na Tabela 2-15 e na Tabela 2-16, respectivamente.

Tabela 2-15. Emissões de NMVOC da produção de petroquímicos

Ano	Emissões de NMVOC dos petroquímicos				Total
	Produção de acrilonitrila	Produção de cloreto de vinila	Produção de dicloroetano	Produção de eteno	
	(t)				
1990	58	4.084	1.184	2.100	7.426
1991	63	2.821	813	1.998	5.695
1992	74	2.837	925	2.098	5.934
1993	74	4.345	1.089	2.393	7.902
1994	77	3.483	1.100	2.654	7.313
1995	80	3.306	1.088	2.634	7.107
1996	78	3.683	1.127	2.626	7.514
1997	87	3.563	1.248	2.977	7.875
1998	64	3.525	1.199	3.157	7.945
1999	80	3.622	1.230	3.382	8.314
2000	87	4.728	1.191	3.687	9.693
2001	75	4.338	941	3.447	8.801
2002	78	4.542	1.084	3.380	9.084
2003	76	4.820	1.188	3.606	9.691
2004	84	5.006	1.247	3.784	10.120
2005	77	5.178	1.279	3.780	10.314
2006	85	5.847	1.205	4.389	11.526
2007	88	5.824	1.180	4.513	11.605
2008	68	5.739	1.209	4.065	11.080
2009	86	5.817	1.280	4.316	11.498
2010	95	4.042	1.272	4.587	9.996
2011	74	3.772	1.042	5.131	10.019
2012	78	4.293	1.150	4.440	9.961
2013	68	4.997	1.152	4.722	10.939
2014	75	5.440	1.131	4.533	11.180
2015	82	4.674	1.108	4.615	10.479
2016	88	5.098	1.320	4.844	11.349

Tabela 2-16. Emissões de NMVOC da produção de outras substâncias químicas

Ano	Emissões de NMVOC dos outros químicos													
	Resinas ABS	Anidrido ftálico	Borracha de butadieno estireno (SBR)	Estireno	Etilbenzeno	Formaldeído	Policloreto de vinila PVC (cloroeto de polivinila)	Poliestireno	Poliétileno PEAD	Poliétileno PEBD	Poliétileno PELBD	Polipropileno	Propeno	Total
	(t)													
1990	734	36	1.071	5.436	882	780	795	413	2.062	1.887	0	3.612	1.149	18.858
1991	715	101	1.094	5.039	629	895	726	479	1.037	1.653	0	2.160	1.091	15.618
1992	770	100	1.139	4.565	574	1.032	728	413	1.991	1.711	0	4.500	1.157	18.679
1993	870	99	1.111	4.021	476	1.225	633	472	2.749	1.827	207	5.739	1.365	20.796
1994	873	119	1.215	4.709	691	1.285	890	439	3.063	1.828	267	6.258	1.521	23.157
1995	898	97	1.283	4.911	815	1.382	872	492	3.165	1.785	300	6.699	1.508	24.206
1996	0	113	1.225	4.240	518	1.411	940	432	3.388	1.684	341	7.075	1.519	22.886
1997	0	111	1.389	4.179	501	1.460	948	438	4.119	1.993	353	7.631	1.707	24.829
1998	0	97	1.196	4.097	525	1.560	948	459	4.437	1.946	348	8.494	1.779	25.887
1999	0	117	1.417	4.078	481	1.840	988	546	4.891	1.976	532	9.447	1.770	28.082
2000	0	114	1.372	7.290	873	1.630	972	579	5.703	1.940	668	10.172	1.973	33.287
2001	0	118	1.187	7.247	879	1.435	807	788	5.244	1.909	539	9.981	1.875	32.009
2002	0	124	1.353	7.192	843	1.610	904	1.037	5.188	1.825	626	10.692	1.945	33.339
2003	0	127	1.427	6.985	856	2.335	906	965	5.192	2.017	719	12.138	2.183	35.849
2004	0	134	1.515	8.017	936	2.530	945	1.052	5.330	2.018	814	13.562	2.446	39.298
2005	0	110	1.231	7.294	790	2.385	960	1.048	5.198	2.045	885	14.546	2.424	38.915
2006	0	134	0	8.277	892	2.235	1.014	1.191	6.515	2.043	1.270	14.820	2.568	40.959
2007	0	147	0	7.741	892	2.365	1.030	1.242	6.541	2.073	1.370	15.521	2.627	41.548
2008	0	126	0	5.838	606	2.641	1.048	1.139	5.920	1.770	1.212	15.144	2.377	37.821
2009	0	131	0	8.193	738	3.127	1.034	1.210	6.246	1.908	1.348	17.826	2.920	44.682
2010	0	138	0	7.920	798	2.440	1.087	1.307	6.304	1.956	1.486	19.035	3.068	45.539
2011	0	114	0	7.626	756	2.395	1.045	1.241	6.017	1.867	1.418	22.020	3.308	47.808
2012	0	133	0	7.956	560	2.465	1.139	1.254	6.466	2.006	1.524	19.764	3.011	46.277
2013	0	117	0	7.920	566	2.785	1.299	1.267	6.617	2.053	1.560	19.524	2.979	46.687
2014	0	111	0	8.406	500	3.085	1.311	1.247	6.169	1.914	1.454	19.104	3.056	46.357
2015	0	94	0	8.352	526	3.440	1.175	1.284	7.022	2.179	1.655	18.120	2.883	46.728
2016	0	87	0	8.730	568	3.445	1.281	1.320	7.173	2.226	1.691	19.104	2.898	48.522

2.10 Diferenças para o Terceiro Inventário

Neste Inventário, as emissões CO₂ da produção da amônia foram descontadas do fluxo usado para a produção de ureia. Foi corrigido um erro no fator de emissão da produção de eteno. Além disso, foram acertadas as produções de alguns químicos.

3 Indústria Metalúrgica

3.1 Produção de ferro e aço nas usinas integradas

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro. Uma fração desse carbono é incorporada aos produtos; e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de dióxido de carbono (CO₂), seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após sua queima.

Até 75% das emissões de CO₂ 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 2016, a produção mundial de aço bruto totalizou 1,629 bilhão de toneladas. A China manteve sua posição de líder mundial, com 808,4 milhões de toneladas. Nesse ano, a produção brasileira de aço bruto totalizou 31,3 Mt, apresentando um decréscimo de 6% em relação ao ano anterior. O Brasil tem a 9ª posição do ranking mundial, mas mantém a liderança na América Latina. (MME, 2017 - Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico).

A Tabela 3-1 apresenta a produção de aço por empresa.

Tabela 3-1. Produção de aço por empresa, no Brasil

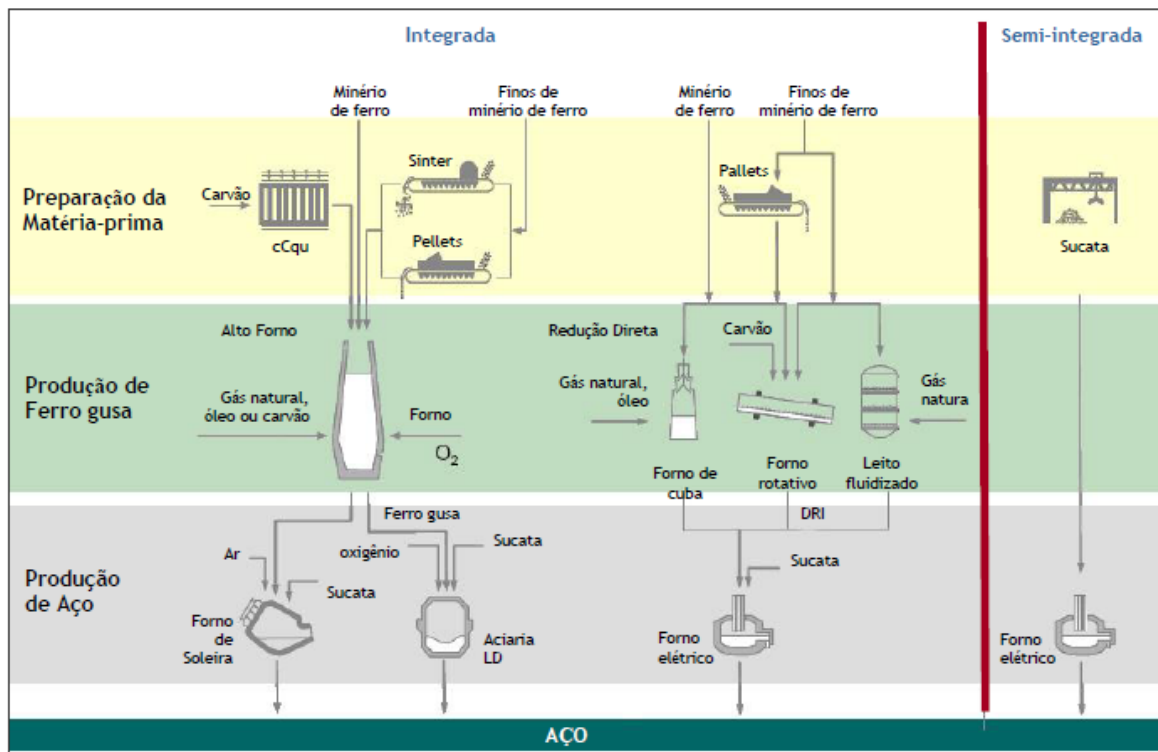
Empresa	2016
	10 ³ t
Aperam	754
ArcelorMittal Aços Longos	3.106
ArcelorMittal Tubarão	7.052
CSA	4.229
CSN	3.179
CSP	1.063
Gerdau	6.831
Sinobras	374
Usiminas	3.143
Vallourec	278
VSB	191
Villares Metals	116
Votorantim Siderurgia	959
Total Brasil	31.275

Fonte: (IABr, Anuário Estatístico, 2017)

3.1.1 Processo siderúrgico - usinas integradas e semi-integradas

O fluxograma simplificado de produção de aço via rotas integradas e semi-integradas é apresentado na Figura 3-1.

Figura 3-1. 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, que 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 3-2 e na Figura 3-3.

Figura 3-2. Usinas Integradas

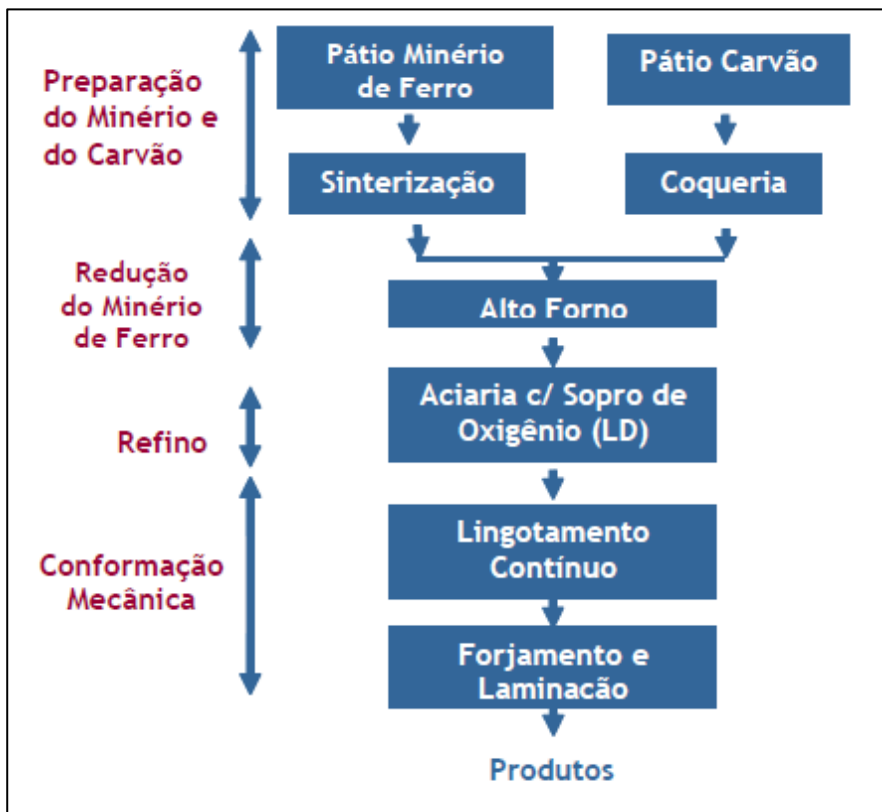
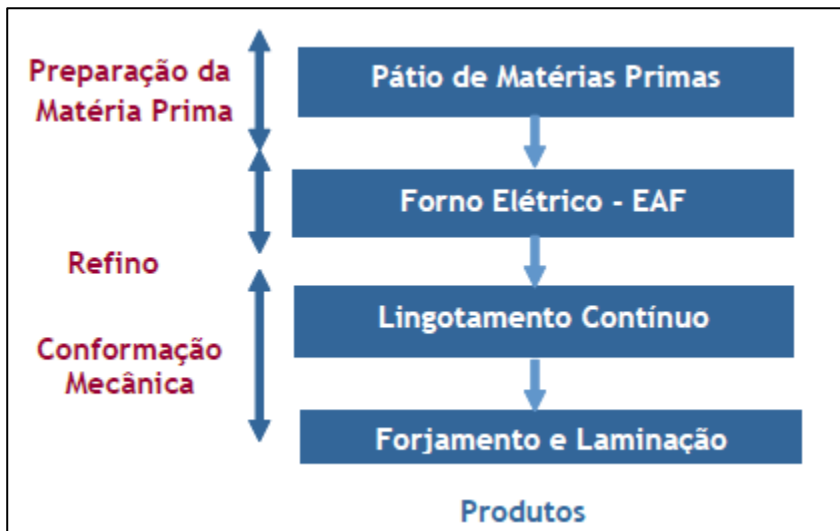


Figura 3-3. Usinas semi-integradas



Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada uma dessas 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 de produção do aço. Para retirada desses 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 termorredutor.

b) Redução do minério de ferro

É nessa fase que ocorre 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. Essa 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 atua como agente redutor ao mesmo tempo em que fornece a energia necessária ao processo. Resulta dessa 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 preaquecimento do ar a ser injetado pelas ventaneiras do alto-forno e como combustível em outras etapas do processo.

Esse 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 esse redutor é pouquíssimo utilizado (ver Figura 3-4).

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 dessa rota no país.

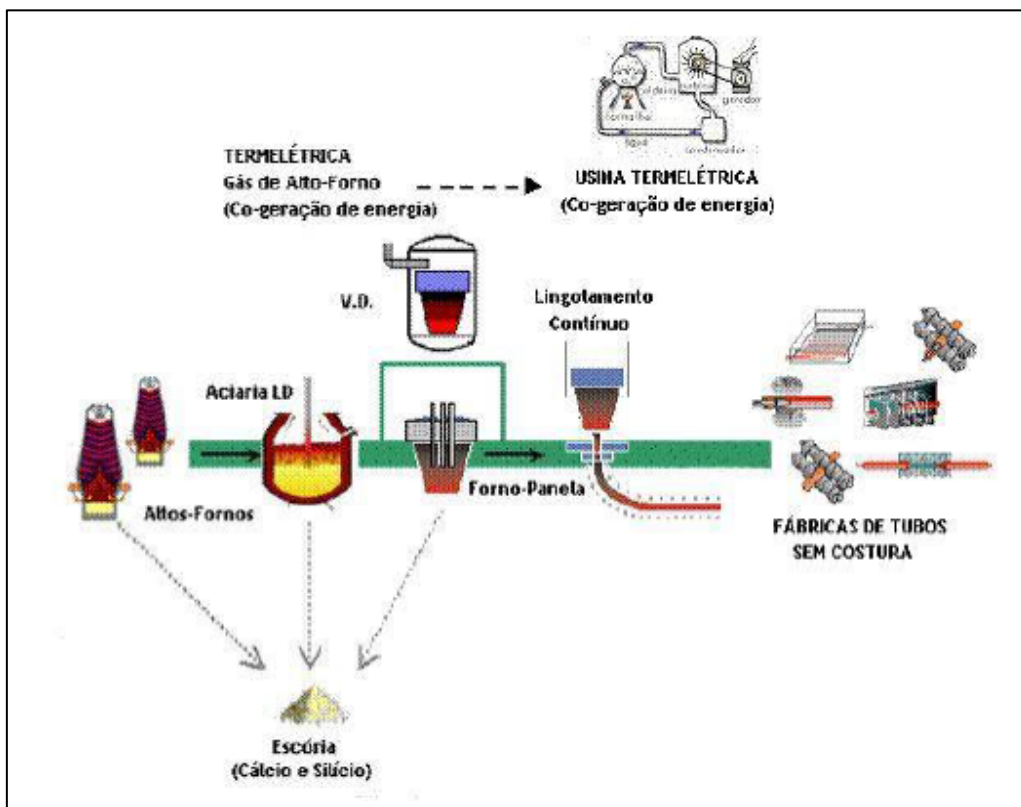


Figura 3-4. Siderurgia a Carvão Vegetal
Fonte: VM Tubes

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 ferro-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 a 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 produzidos.

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 semiacabados (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 ser posteriormente laminado. 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. Essa 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.

3.1.2 Processo siderúrgico - usinas dedicadas ao ferro-gusa

O ferro-gusa é considerado o ferro de primeira fusão e é produzido nas primeiras etapas de preparação e redução do minério de ferro. Parte das indústrias é dedicada somente a esse produto e não está no cálculo neste item. As emissões correspondentes estão apresentadas no item 3.2.

3.1.3 Metodologia para cálculo das emissões de CO₂

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 5.900 kcal/kg, carvão metalúrgico e coque de carvão mineral como principais combustíveis redutores.

Pela disponibilidade de dados detalhados, as emissões de CO₂ puderam ser obtidas através de um balanço de carbono geral, de acordo com a Equação 3-1:

Equação 3-1

$$E_{CO_2} = \left[\sum_i Q_{Entrada_i} * C_{Entrada_i} - \sum_j Q_{Saída_j} * C_{Saída_j} \right] * \frac{44}{12} / 1000$$

E_{CO_2} = emissões de CO₂ (Gg)

$Q_{Entrada_i}$ = quantidade da entrada (matéria-prima) i , em toneladas

$C_{Entrada_i}$ = quantidade de carbono na entrada (matéria-prima) i , em t C/t matéria-prima

$Q_{Saída_i}$ = quantidade da saída (produto) j , em toneladas

$C_{Saída_i}$ = quantidade de carbono na saída (produto) j , em t C/t produto

Segundo o IPCC 2006, a produção de cal das indústrias integradas deve ser reportada no item 1.2, que engloba toda a produção de cal do país. No entanto, é contado o carbono contido no calcário e da dolomita, que se calcina dentro dos fornos.

3.1.4 Metodologia para cálculo das emissões dos gases não CO₂

As emissões dos gases não-CO₂ da produção de ferro e aço das usinas integradas foram calculadas com a abordagem Tier 1 do IPCC 2006. Para a produção de sinter, são calculadas as emissões de CH₄, sendo que, no Brasil, de acordo com o IABr, apenas a produção de sinter que utiliza o antracito como insumo gera tais emissões. Com referência aos gases de aciaria e de alto-forno consumidos na produção, foram calculadas as emissões de CH₄ e N₂O, também com fatores de emissão default.

3.1.5 Dados

➤ CO₂

Para este Inventário, foi possível contar com os valores detalhados das matérias-primas que entram nos diversos processos, bem como os produtos de cada um deles, na cadeia de produção do aço, desde suas fases iniciais (usinas integradas), de 2007 a 2016. Tais valores não são individualizados pelas diversas indústrias, mas por todo o setor e com divisão entre os seguintes processos:

- Coqueria
- Sinterização
- Alto-forno
- Aciaria BOF e EAF
- Energia (produção de energia elétrica e vapor)
- Laminação e acabamentos
- Calcinação (apenas o uso de combustível)
- Outros consumidores
- *Flare*
- Termelétrica

Desses processos, foram contabilizados no setor Energia do Inventário: Coqueria, Energia, Laminação e acabamentos, Outros consumidores, *Flare* e Termelétrica, exceto quando o combustível utilizado era gás de alto-forno ou gás de aciaria, ambos os gases totalmente considerados em IPPU. Já o consumo do gás de coqueria é considerado apenas no setor Energia, mesmo se utilizado nos demais processos. As emissões dos combustíveis Alcatrão, GLP, Gás Natural, Óleo leve e Óleo pesado utilizados em alguns dos processos acima foram contabilizadas apenas no setor Energia.

As entradas e saídas necessárias para o balanço de carbono neste setor, de 2007 a 2016, estão apresentadas na Tabela 3-8 e na Tabela 3-9.

Para os anos de 1990 a 2006, havia a série de dados fornecida pelo IABr por ocasião do II Inventário, envolvendo os processos de Coqueria, Sinterização, Alto-forno/Aciaria. As entradas e saídas necessárias para o balanço de carbono neste setor estão apresentadas nas Tabela 3-10, Tabela 3-11 e Tabela 3-12.

Observa-se, no entanto, que alguns processos ou substâncias de entrada e saída não foram disponibilizados no primeiro período relativamente ao segundo, o que acarretou a necessidade de compatibilização entre os dois, com a estimativa do que faltava no primeiro período, conforme descrito a seguir.

Para o balanço de carbono, foram utilizados os seguintes fatores, em cada material utilizado:

Tabela 3-2. Conteúdo de carbono dos materiais

Material	Carbono no material (t C/t)	Fonte
Aço Bruto	0,010	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Alcatrão	0,924	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Antracito	0,716	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Calcário cru	0,120	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Carvão FEA	0,888	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Carvão metalúrgico	0,834	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Carvão PCI	0,806	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Coque	0,888	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Coque de petróleo	0,870	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Coque fino (<i>coke breeze</i>)	0,888	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Dolomita crua	0,128	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Eletrodo	0,999	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Ferro-gusa	0,047	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Gás de aciaria (BOFG / LDG)	0,350	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Gás de alto-forno (BFG)	0,170	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Gás de coqueria (COG)	0,470	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Gás natural	0,730	IPCC 2006 - TABLE 4.3
GLP	0,814	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Grafite	0,820	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Óleo BTX	0,804	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Óleo leve	0,860	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Óleo pesado	0,852	IPCC 2006 - TABLE 4.3
Pó de CDQ	0,888	WSA v.7 ou ISO 14404-1
Sucata de aço	0,010	IABr

Para conversão a toneladas, as densidades dos gases foram utilizadas, conforme a Tabela 3-13.

Tabela 3-3. Densidade e poder calorífico dos gases da siderurgia

Material	Densidade (t/dam ³)	Fonte	NCV (GJ/t)	Fonte
Gás de Aciaria (BOFG)	1,190	IPCC & WSA	7,06	IPCC Table 1.2
Gás de Alto-forno (BFG)	1,336	IPCC & WSA	2,47	IPCC Table 1.2

Os dados do período 2007 a 2016 foram reunidos pelo IABr com uma metodologia mais ampla e sistemática. Após as devidas conversões para toneladas de carbono, as entradas necessárias para o balanço de carbono estão na Tabela 3-13, relativamente aos processos de Sinterização, Alto-forno, Aciaria e Calcinação (apenas o consumo de combustível), acrescidas dos valores de carbono relativo aos consumos de gás de aciaria e de alto-forno nos demais processos das indústrias integradas de ferro e aço.

Já para os dados de entrada do balanço de carbono de 1990 a 2006, apresentados na Tabela 3-14, faltam os referentes aos seguintes materiais, comparado com o período posterior: Gás de aciaria, Gás de alto-forno, Grafite, Gusa (convertido a aço ou não) e Pó do CDQ. Além disso, as quantidades referentes ao Gás de alto-forno são muito inferiores, porque faltam as usadas em outros processos não relatados, por isso essa série foi recalculada.

Para eliminar a inconsistência entre os dois períodos, foram consideradas as relações entre itens básicos do segundo período e a produção de aço bruto, para que uma média fosse aplicada no primeiro. Optou-se por considerar a média das relações dos anos 2007 a 2011, ou seja, dos cinco anos mais próximos da série incompleta.

As seguintes médias foram obtidas para os valores de entrada de carbono:

- Consumo de gusa → 32,5876 t C/kt aço
- Gás de Aciaria → 11,5715 t C/kt aço
- Gás de Alto Forno → 144,5887 t C/kt aço
- Grafite → 0,0880 t C/kt aço
- Pó do CDQ → 0,8419 t C/kt aço

Com a produção de aço bruto no Brasil, constante na Tabela 3-9 e na Tabela 3-12, pôde-se complementar a série do carbono das entradas de 1990 a 2006, conforme a Tabela 3-15

Para as saídas de carbono, os dados do IABr para 2007 a 2016 estão na Tabela 3-16.

Para o período anterior, de 1990 a 2006, os valores disponíveis são apresentados na Tabela 3-17, embora faltem os valores relativos a Ferro-gusa não convertido a aço, Ferro-gusa que vai para aciaria, Gás de aciaria, Gás de alto-forno e Sínter. Além disso, as quantidades referentes ao Gás de alto-forno estão muito inferiores aos anos posteriores, porque faltam as dos outros processos não relatados, por isso, essa série foi

recalculada. Do II Inventário havia a informação do IABr para a produção de gusa, de 1990 a 2006, conforme a Tabela 3-18.

Para eliminar a inconsistência entre os dois períodos, foram consideradas as relações entre itens básicos do segundo período para que uma média fosse aplicada no primeiro. O carbono referente a Gás de aciaria, Gás de alto-forno e Sínter foi relacionado com a produção de aço bruto. Optou-se por considerar a média das relações dos anos 2007 a 2011, ou seja, dos cinco anos mais próximos da série incompleta. Para o gusa, a separação entre uso ou não para a produção de aço seguiu a média percentual de 2007 a 2011.

As seguintes médias foram obtidas para os valores de saída de carbono:

- Ferro gusa não convertido a aço → 2,15% do total de gusa
- Ferro gusa que vai para aciaria → 97,85% do total de gusa
- Gás de Aciaria → 24,0967 t C/ kt aço
- Gás de Alto-Forno → 245,1713 t C/ kt aço

Com essas hipóteses, pôde-se complementar a série das saídas de carbono de 1990 a 2006, conforme a Tabela 3-19.

➤ **Não CO₂**

- Pela utilização dos gases de aciaria e de alto-forno

Os fatores de emissão estão informados na Tabela 3-4.

Tabela 3-4. Fatores de emissão para gases não CO₂ para a categoria da produção de ferro e aço

Gás	CH ₄	N ₂ O
	kg/TJ	
Gás de aciaria	1	0,1
Gás de alto-forno	1	0,1

Fonte: IPCC 2006, v. 2, Table 2.3

Para se ter a quantidade desses gases em termos de energia, foram utilizados seus conteúdos de carbono por massa (t C/t) informados na Tabela 3-2 e suas densidades energéticas (GJ/t) dadas pelo IPCC 2006, conforme a Tabela 3-5, juntamente com os valores de consumo apresentados na Tabela 3-13 e na Tabela 3-15. O resultado, em termos energéticos, está apresentado na Tabela 3-20, para todos os anos.

Tabela 3-5. Densidades energéticas dos gases siderúrgicos

Combustível	Fator de Emissão (GJ/t)
Gás de aciaria	7,06
Gás de alto-forno	2,47

Fonte: IPCC 2006, v. 2, Table 1.2

- Pela produção de sinter

Para a produção de sinter, apenas a que usa antracito, foi usado o fator de emissão de 0,07 kg CH₄/t sinter, conforme IPPU 2006 (v.3, chap.4, Table 4.2). Os valores foram fornecidos pelo IABr apenas para os anos de 2007-2016. Para completar a série, foi feita uma extrapolação usando-se a média da proporção entre essa produção de sinter e a produção de aço bruto no Brasil, constante na Tabela 3-9, calculada como 55,4%, e aplicando-se à produção de aço bruto constante na Tabela 3-12. A série completa da produção de sinter que usa antracito está na Tabela 3-20.

➤ Coqueiras

Para este Inventário, como dito anteriormente, as emissões de GEE das coqueiras são alocadas no setor Energia, mais precisamente na categoria 1.A.1.c - Produção de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia (conforme IPCC 2006). Ressalta-se que as emissões das coqueiras foram calculadas com base nas informações oficiais disponíveis no Balanço Energético Nacional (BEN). Todavia observou-se que, uma vez que as coqueiras estão localizadas dentro das plantas siderúrgicas, o BEN não é capaz de apresentar os gases industriais (alto-forno e aciaria) desagregados. Dessa maneira, para este Inventário, a diferença das emissões entre o cálculo a partir dos dados do BEN e o cálculo pelos dados do IABr (que inclui os gases industriais) foi alocada no setor IPPU. Ainda assim, a partir da análise dos resultados calculados entre o setor Energia e IPPU, é possível concluir a necessidade de aprimoramentos para o próximo Inventário, no que tange à contabilização das informações dos combustíveis associados ao setor siderúrgico no BEN, principalmente relacionado aos gases industriais.

Apresentamos na Tabela 3-6 os cálculos para as coqueiras, considerando-se os dados fornecidos pelo IABr, bem como a diferença para o calculado e alocado no setor Energia. Essa diferença é alocada neste setor IPPU.

Tabela 3-6. Comparação das emissões de CO₂ das coquerias pelas informações do IABr com as calculadas no setor Energia (BEN)

Entradas (kt C)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Carvão mineral, excluído o carvão PCI e o antracito	8.224	8.608	8.740	8.798	8.793	8.900	8.896	8.796	8.656	8.008	8.362	8.099	8.011	8.090
Coque de petróleo	262	283	299	314	319	315	317	329	320	330	361	348	383	402
Gás de aciaria	34	37	39	41	42	41	41	43	42	43	47	45	50	52
Gás de alto-forno	875	884	891	943	932	997	937	962	1.025	1.023	986	972	983	1.018
Gás de coqueria	88	95	100	105	107	105	106	110	107	110	121	116	128	134
Saídas (kt C)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Alcatrão	241	225	223	205	231	241	208	216	261	246	258	238	242	240
Coque	6.569	6.836	6.922	7.022	7.028	7.117	7.123	7.014	7.017	6.467	6.822	6.605	6.535	6.631
Gás de coqueria	700	719	732	748	776	760	738	728	700	640	680	650	640	654
Óleo BTX	47	51	56	55	43	54	50	59	46	45	45	43	41	43
Pó de CDQ	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9
Balanco (kt C)	1.920	2.069	2.129	2.163	2.108	2.179	2.172	2.216	2.119	2.108	2.066	2.038	2.089	2.119
Emissões de CO₂ pelo balanço IABr (Gg)	7.041	7.585	7.805	7.932	7.728	7.989	7.962	8.125	7.771	7.728	7.574	7.472	7.659	7.770
Emissões de CO₂ no setor Energia (Gg)	2.824	1.937	2.697	2.623	2.542	2.629	2.514	1.977	1.891	1.594	1.644	1.131	979	1.353
Diferença incluída em IPPU (Gg CO₂)	4.217	5.647	5.108	5.309	5.186	5.359	5.449	6.148	5.880	6.134	5.930	6.341	6.680	6.417

Continuação

Entradas (kt C)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carvão mineral, excluído o carvão PCI e o antracito	8.529	8.372	8.089	8.051	8.517	7.370	8.430	8.653	8.448	8.520	8.202	7.516	7.544
Coque de petróleo	416	399	386	547	604	205	238	492	878	821	820	945	874
Gás de aciaria	54	52	50	36	36	57	68	65	92	94	83	43	22
Gás de alto-forno	1.083	1.060	1.203	1.238	1.294	1.187	1.261	1.281	1.230	1.149	1.145	988	769
Gás de coqueria	139	133	129	123	157	129	141	127	116	108	106	116	122
Saídas (kt C)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Alcatrão	248	248	251	222	243	212	240	227	222	228	196	187	198
Coque	6.972	6.877	6.654	6.667	6.938	5.866	6.674	7.411	7.474	7.226	7.343	6.741	6.692
Gás de coqueria	691	687	664	760	835	717	799	837	719	808	648	601	580
Óleo BTX	47	42	40	29	32	29	25	29	28	23	32	27	31
Pó de CDQ	9	9	9	13	6	5	12	11	11	9	10	8	20
Balanco (kt C)	2.252	2.153	2.239	2.303	2.553	2.119	2.387	2.106	2.310	2.396	2.127	2.044	1.811
Emissões de CO₂ pelo balanço IABr (Gg)	8.256	7.894	8.210	8.445	9.363	7.770	8.751	7.721	8.471	8.786	7.800	7.494	6.642
Emissões de CO₂ no setor Energia (Gg)	1.292	913	886	936	932	1.167	2.173	2.482	1.265	1.263	1.978	1.770	1.583
Diferença incluída em IPPU (Gg CO₂)	6.963	6.981	7.324	7.509	8.430	6.603	6.578	5.239	7.207	7.523	5.821	5.723	5.059

Fonte: com base em informações do IABr

3.1.6 Resultados

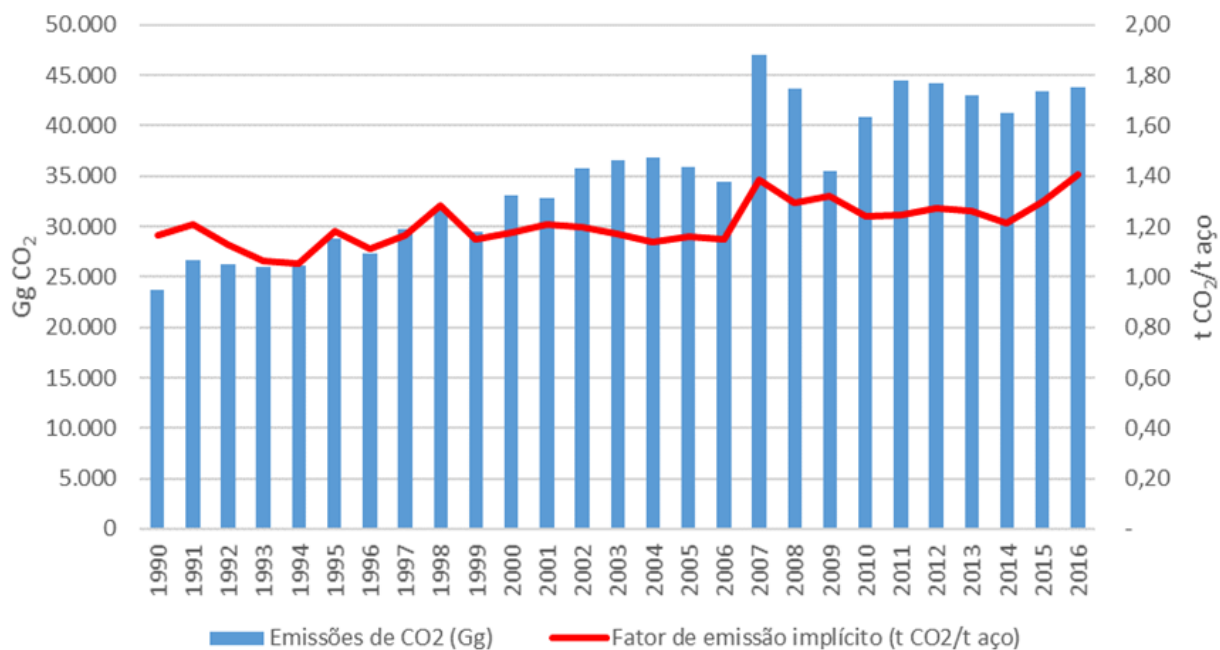
Após o balanço de carbono, as emissões da produção de ferro e aço são convertidas a CO₂, conforme apresentado na Tabela 3-7.

Tabela 3-7. Emissões da produção de ferro e aço no Brasil, pelas usinas integradas/semi-integradas

Ano	Processos IPPU - CO ₂	Diferença coquearias - CO ₂	Emissões totais - CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1990	19.549	4.176	23.724	0,86	0,005
1991	20.988	5.607	26.596	0,93	0,005
1992	21.135	5.064	26.200	0,98	0,005
1993	20.727	5.264	25.991	1,03	0,006
1994	21.004	5.136	26.140	1,05	0,006
1995	23.540	5.313	28.853	1,03	0,006
1996	21.971	5.402	27.372	1,04	0,006
1997	23.658	6.097	29.754	1,08	0,006
1998	26.115	5.836	31.951	1,05	0,006
1999	23.327	6.087	29.413	1,08	0,006
2000	27.253	5.882	33.135	1,18	0,007
2001	26.465	6.296	32.762	1,14	0,006
2002	29.181	6.629	35.810	1,25	0,007
2003	30.255	6.361	36.617	1,31	0,007
2004	29.884	6.899	36.783	1,36	0,008
2005	29.048	6.924	35.973	1,31	0,007
2006	27.112	7.267	34.379	1,26	0,007
2007	39.547	7.509	47.055	1,45	0,012
2008	35.306	8.430	43.736	1,52	0,009
2009	28.893	6.603	35.495	1,19	0,008
2010	34.351	6.578	40.930	1,44	0,009
2011	39.269	5.239	44.508	1,44	0,011
2012	37.045	7.207	44.252	1,27	0,011
2013	35.555	7.523	43.079	1,34	0,010
2014	35.450	5.821	41.271	1,35	0,011
2015	37.668	5.723	43.391	1,36	0,012
2016	38.747	5.059	43.806	1,49	0,011

A Figura 3-5 mostra a evolução das emissões de CO₂ no período 1990-2016, além do fator de emissão implícito para a produção de aço.

Figura 3-5. Evolução das emissões de CO₂ da produção de aço e o fator de emissão implícito, de 1990 a 2016



3.1.7 Diferenças para o Terceiro Inventário

Neste Inventário, os dados básicos vieram diretamente do IABr, ao invés de se tomar o consumo dos combustíveis considerados como redutores do BEN. Além disso, foram incluídas aqui as emissões devido ao uso de calcário e dolomita, antes relatadas no subsetor de Produtos Minerais.

No cômputo geral, houve uma diminuição das emissões de CO₂, até 2006, com aumento a partir de 2007 a 2010, como mostra a Figura 3-6.

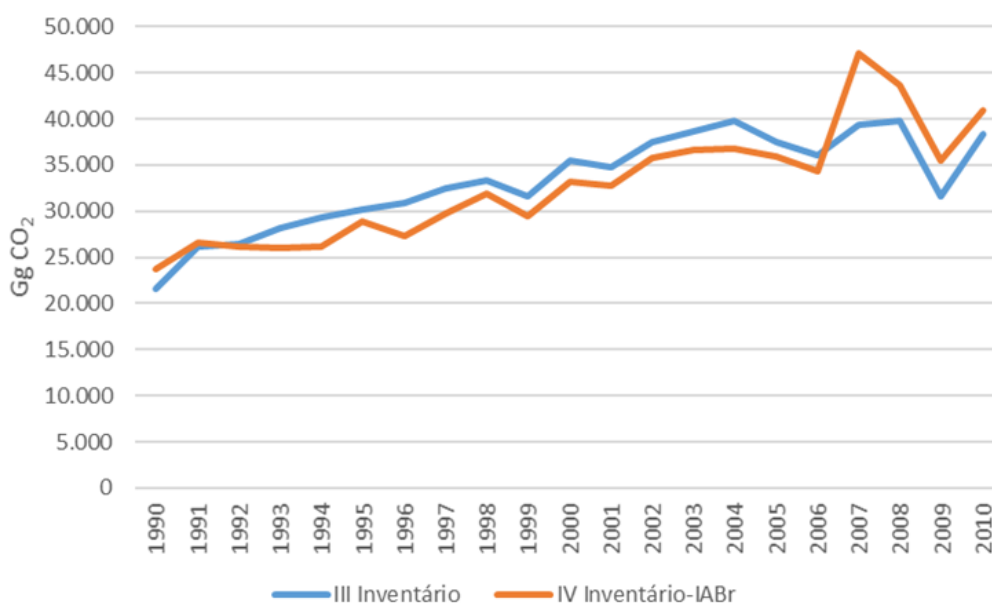


Figura 3-6. Comparação das emissões de CO₂ da produção de ferro e aço com o Terceiro Inventário

Tabela 3-8. Entradas (matérias-primas) dos processos da fabricação de ferro e aço, de 2007 a 2016

Entradas (matérias-primas)	Unid.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Moinha de coque consumida na sinterização	t	942.743	1.119.916	903.019	1.141.984	1.327.521	1.272.657	1.302.541	1.245.140	1.182.440	1.113.670
Pó do CDQ consumido na sinterização	t	8.490	13.271	12.356	58.609	66.517	50.022	28.729	14.500	13.600	11.880
Antracito consumido na sinterização	t	638.760	460.621	321.516	394.087	433.829	405.291	356.964	401.450	461.840	359.530
Calcário cru consumido na sinterização	t	3.158.522	3.089.175	2.301.591	2.925.106	3.316.322	3.350.716	3.291.967	3.191.120	3.111.210	2.845.880
Dolomita crua consumida na sinterização	t	444.986	552.674	645.258	875.862	887.767	1.142.278	1.113.716	1.232.570	1.139.270	1.164.700
Gás de alto-forno consumido na sinterização	dam ³	91.980	84.304	90.168	91.114	106.688	94.226	74.478	71.900	51.580	70.790
Gás de aciaria consumido na sinterização	dam ³	0	0	0	0	20.742	41.979	33.800	22.350	20.500	20.750
Minério de ferro consumido na sinterização	t	23.116.643	23.354.031	17.871.984	21.016.184	24.651.010	23.333.052	25.998.810	25.458.260	23.816.520	22.471.860
Cal calcítica consumida na sinterização	t	417.575	468.912	367.195	481.120	598.776	616.517	531.099	727.180	659.050	624.680
Cal dolomítica consumida na sinterização	t	114.700	183.550	87.628	79.800	69.200	83.200	106.716	0	0	0
Calcário cru consumido no alto-forno	t	108.562	115.752	104.756	145.335	102.073	56.246	38.603	69.300	56.490	92.240
Dolomita crua consumida no alto-forno	t	66.384	47.841	50.113	75.047	87.796	141.630	112.893	82.610	107.250	163.900
Coque metalúrgico consumido no alto-forno	t	8.464.472	9.046.470	7.248.993	8.878.284	10.030.900	9.779.725	9.263.511	9.075.090	9.319.800	9.113.690
Carvão PCI consumido no alto-forno	t	3.227.275	3.168.092	2.202.435	2.823.772	2.755.492	2.626.437	2.781.369	3.011.300	3.501.090	3.591.470
Antracito consumido no alto-forno	t	122.999	92.033	60.593	127.450	33.893	18.200	7.593	11.340	0	0
Coque de petróleo consumido no alto-forno	t	493.109	504.760	487.732	13.381	52.279	25.026	48.322	2.130	0	11.890
Gás de alto-forno consumido no alto-forno	dam ³	9.839.159	9.259.757	7.420.086	9.303.353	9.979.615	9.967.719	8.058.169	9.791.210	10.315.300	9.674.780
Gás de aciaria consumido no alto-forno	dam ³	0	0	0	0	47.909	172.602	249.100	347.770	331.380	148.070
Minério de ferro consumido no alto-forno	t	8.787.133	9.401.588	7.211.173	8.291.463	7.775.938	8.098.923	8.460.347	8.396.440	7.578.130	7.281.200
Cal calcítica consumida no alto-forno	t	194	0	0	8.120	9.989	14.166	28.978	28.910	50.220	0
Cal dolomítica	t	19.054	20.074	19.843	20.620	33.317	20.361	96.568	99.620	97.600	37.600
Sínter consumido no alto-forno	t	26.488.310	27.395.995	21.457.499	25.046.021	29.254.445	28.059.237	27.287.836	26.853.070	25.632.770	24.217.040
Pelotas consumidas no alto-forno	t	5.713.189	5.606.985	4.633.190	8.090.908	8.399.621	8.625.831	7.369.678	8.712.710	11.319.320	11.140.550
Gusa consumido na aciaria	t	23.438.039	23.942.495	18.872.113	22.377.098	24.604.717	24.241.126	23.426.171	24.136.330	25.291.010	23.475.760
Calcário cru consumido na aciaria	t	0	5.733	4.060	6.002	6.156	7.436	21.348	18.380	284.780	48.650
Dolomita crua consumida na aciaria	t	160.114	200.636	154.412	186.669	202.152	241.572	475.685	542.550	359.620	225.930
Carvão FEA elétrica consumido na aciaria	t	4.030	3.178	0	0	0	0	0	0	0	0

Entradas (matérias-primas)	Unid.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Coque metalúrgico consumido na aciaria	t	74.317	65.392	59.431	88.061	85.926	68.344	36.717	47.623	64.956	19.566
Coque de petróleo consumido na aciaria	t	37.366	35.331	35.436	31.874	37.103	32.891	27.172	22.146	22.560	20.680
Gás de alto-forno consumido na aciaria	dam ³	40.729	36.910	33.263	36.014	49.477	39.187	36.483	38.280	36.040	40.740
Gás de aciaria consumido na aciaria	dam ³	0	0	0	279.200	339.172	16.719	20.800	18.880	21.890	26.590
Sucata consumida na aciaria	t	6.054.804	5.179.500	4.896.488	4.745.934	5.402.258	5.640.049	7.444.414	6.645.630	5.936.450	5.602.260
Eletrodo consumido na aciaria	t	13.878	13.287	10.789	14.418	14.865	14.040	15.316	15.357	11.410	12.210
Grafite consumido na aciaria	t	5.089	4.436	2.391	2.776	2.955	2.943	10.108	4.355	4.151	16.961
Minério de ferro consumido na aciaria	t	26.021	95.696	45.480	99.441	70.803	10.578	7.637	32.230	54.600	54.260
Cal calcítica consumida na aciaria	t	542.812	483.578	401.830	597.226	784.857	794.125	634.664	880.277	742.121	1.021.241
Cal dolomítica consumida na aciaria	t	544.841	514.998	342.786	652.143	758.915	662.434	716.543	435.733	542.238	586.348
Sínter consumido na aciaria	t	432	575	360	562.078	574.491	596.706	43.902	19.780	16.780	100.120
Pelotas consumidas na aciaria	t	0	0	0	14.000	122.636	111.281	113.000	129.910	155.040	144.220
Calcário consumido na calcinação	t	1.377.787	1.443.878	1.052.323	1.213.387	1.236.356	1.406.372	1.068.717	677.530	921.120	721.870
Dolomita crua consumida na calcinação	t	394.679	384.946	395.665	407.477	331.630	518.662	439.877	783.890	436.020	321.920

Fonte: IABr

Tabela 3-9. Saídas (produtos) dos processos da fabricação de ferro e aço, de 2007 a 2016

Saídas (produtos)	Unid.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Sínter produzido na sinterização	t	31.396.791	32.606.780	24.403.541	29.392.415	33.501.383	32.207.444	31.720.053	32.906.980	31.761.504	28.092.565
Gusa produzido para aço	t	25.702.565	26.315.073	20.692.743	25.118.984	27.061.052	26.560.380	26.029.277	26.970.447	27.551.551	25.926.399
Gusa produzido e não convertido	t	439.153	834.645	379.573	549.784	569.135	684.240	744.041	983.345	517.995	678.832
Gás de alto-forno gerado	dam ³	36.210.905	36.935.791	29.382.122	34.981.685	38.804.955	39.491.143	37.542.033	39.171.990	39.519.980	37.126.690
Aço bruto produzido	t	34.027.557	33.774.451	26.872.837	33.048.286	35.674.449	34.789.477	34.105.441	33.973.355	33.428.648	31.113.570
Gás de aciaria gerado	dam ³	2.202.947	1.829.755	1.548.938	1.791.329	2.087.595	2.384.530	2.121.667	2.758.660	3.057.000	2.189.720
Cal dolomítica produzida	t	725.778	775.474	546.999	654.363	642.914	731.732	576.665	555.224	528.721	418.310
Cal calcítica produzida	t	234.131	229.967	232.727	234.078	220.525	285.377	259.942	224.435	203.091	137.391
Gás de alto-forno consumido na termelétrica	dam ³	16.140.529	15.166.734	13.497.274	15.142.920	19.049.101	19.528.199	18.752.842	19.915.330	20.187.340	18.880.390
Gás de aciaria consumido na termelétrica	dam ³	1.065.457	883.390	837.042	818.445	932.819	954.403	763.326	780.100	746.730	1.293.410
Gás de alto-forno consumido na laminação	dam ³	852.711	852.224	700.057	763.272	804.665	889.332	1.021.625	1.013.260	1.052.530	881.800
Gás de aciaria consumido na laminação	dam ³	98.736	132.978	36.485	89.540	55.561	147.228	192.039	153.230	169.290	248.530
Gás de alto-forno - outros consumos	dam ³	0	458	10.346	238	46.562	543	31.308	900	4.290	23.530
Gás de alto-forno queimado no <i>flare</i>	dam ³	3.492.718	2.993.961	1.805.941	3.654.452	2.824.369	2.934.901	2.621.614	3.104.700	3.687.410	3.445.740
Gás de aciaria queimado no <i>flare</i>	dam ³	952.276	607.434	434.647	502.402	648.313	763.385	630.180	837.590	1.138.690	684.370

Fonte: IABr

Tabela 3-10. Entradas (matérias-primas) do processo de sinterização, de 1990 a 2006

Entradas (matérias-primas)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito consumido na sinterização	t	236.984	240.904	252.008	309.143	333.750	343.681	348.076	403.584	407.777
Gás de alto-forno consumido na sinterização	dam ³	67.146	65.891	69.022	71.260	70.985	68.269	67.839	62.009	69.661
Moinha de coque consumida na sinterização	t	797.477	810.011	841.851	770.098	796.803	792.093	811.921	818.553	728.285
Moinha de coque comprada para a sinterização	t	137.331	142.807	132.405	125.115	124.325	154.395	157.040	164.726	145.528
Dolomita consumida na sinterização	t	738.755	817.630	910.966	917.925	944.943	948.723	953.461	1.006.033	1.029.194
Calcário consumido na sinterização	t	1.721.406	1.781.280	1.706.998	1.747.713	1.775.770	1.795.098	1.891.772	2.015.264	2.163.959

Continuação. Entradas (matérias-primas) do processo de sinterização, de 1990 a 2006

Entradas (matérias-primas)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito consumido na sinterização	t	256.268	360.219	447.043	455.172	472.008	571.128	589.539	610.314
Gás de alto-forno consumido na sinterização	dam ³	98.356	97.145	96.802	96.621	96.691	100.148	95.574	96.583
Moinha de coque consumida na sinterização	t	734.406	754.612	676.456	758.011	686.082	721.172	681.303	615.855
Moinha de coque comprada para a sinterização	t	165.239	112.469	110.589	128.208	149.134	126.764	128.059	121.945
Dolomita consumida na sinterização	t	649.441	675.179	652.169	736.798	881.498	1.073.626	1.087.213	342.032
Calcário consumido na sinterização	t	2.062.636	2.316.250	2.147.678	2.088.993	2.112.337	1.897.896	1.708.708	2.335.625

Fonte: IABr

Tabela 3-11. Entradas (matéria-prima) dos processos de alto-forno e aciaria, de 1990 a 2006

Entradas (matéria-prima)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Carvão FEA elétrica consumido na aciaria	t	6.251	4.431	5.321	5.538	4.578	4.592	4.827	5.805	6.310
Eletrodo consumido na aciaria	t	8.259	7.195	7.886	8.415	10.293	10.351	10.079	10.971	9.756
Carvão PCI consumido no alto-forno	t	193.125	208.394	212.533	237.286	184.342	606.198	610.153	915.943	1.670.352
Coque metalúrgico consumido na aciaria	t	5.095	6.571	7.059	7.792	6.252	5.925	6.522	7.117	6.682
Dolomita consumida na aciaria	t	107.009	105.908	112.186	122.384	123.764	103.466	114.254	127.763	425.471
Carga de carbono EAF consumida na aciaria	t	1.606	1.400	1.499	1.520	1.681	1.415	1.374	1.564	1.343
Calcário consumido no alto-forno	t	37.544	38.942	40.046	41.454	41.356	37.231	36.551	41.777	340.748
Coque metalúrgico consumido no alto-forno	t	7.138.979	7.822.997	7.985.095	7.994.908	8.134.998	8.492.380	7.926.205	8.155.267	8.163.025
Coque de petróleo consumido no alto-forno/aciaria	t	40.230	36.025	39.015	41.359	45.263	41.771	78.582	121.036	117.602
Sucata consumida na aciaria	t	3.620.468	3.308.554	3.636.891	3.922.095	4.038.513	3.729.537	3.904.408	4.284.810	4.091.948

Continuação. Entradas (matéria-prima) dos processos de alto-forno e aciaria, de 1990 a 2006

Entradas (matéria-prima)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Carvão FEA elétrica consumido na aciaria	t	7.664	9.240	11.027	9.821	8.893	10.775	11.712	9.729
Eletrodo consumido na aciaria	t	11.791	12.093	12.195	12.417	14.147	14.704	14.050	13.762
Carvão PCI consumido no alto-forno	t	1.796.046	2.602.499	2.511.391	2.686.231	3.083.960	3.302.543	3.117.343	2.947.835
Coque metalúrgico consumido na aciaria	t	9.393	12.203	13.874	14.337	14.581	13.158	17.606	7.221
Dolomita consumida na aciaria	t	454.760	144.562	515.229	519.146	546.515	569.867	520.755	445.859
Carga de carbono EAF consumida na aciaria	t	1.284	1.798	1.750	1.485	1.291	1.221	490	232
Calcário consumido no alto-forno	t	352.025	387.728	356.795	313.503	714.689	827.001	743.526	495.914
Coque metalúrgico consumido no alto-forno	t	7.158.653	7.913.756	7.547.307	8.441.420	8.540.356	8.378.568	8.048.581	7.565.814
Coque de petróleo consumido no alto-forno/aciaria	t	319.755	368.585	419.903	475.475	488.021	361.228	504.376	517.036
Sucata consumida na aciaria	t	4.887.503	4.868.754	5.249.134	5.433.776	6.001.644	6.316.687	6.130.313	5.987.101

Fonte: IABr

Tabela 3-12. Saídas (produtos), de 1990 a 2006

Saídas (produtos)	Unid.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aço produzido	t	20.340.285	22.034.354	23.219.442	24.393.896	24.763.661	24.471.142	24.644.098	25.528.912	24.897.079
Aço especial produzido	t	473.936	437.650	485.321	495.594	572.314	504.055	524.517	582.495	474.592
Gás de alto-forno produzido	dam ³	3.919.134	3.959.490	3.994.196	4.221.138	4.175.954	4.458.751	4.193.411	4.295.815	4.583.476

Fonte: IABr

Continuação. Saídas (produtos), de 1990 a 2006

Saídas (produtos)	Unid.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aço produzido	t	25.619.009	28.148.004	27.167.793	29.853.921	31.246.573	32.234.486	31.024.817	29.969.603
Aço especial produzido	t	522.466	509.891	466.224	550.769	597.720	722.388	625.387	638.887
Gás de alto-forno produzido	dam ³	4.603.372	4.440.565	4.378.615	4.424.304	4.580.110	4.867.612	4.764.691	5.391.177

Fonte: IABr

Tabela 3-13. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 2007 a 2016

Entradas (matérias-primas)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Antracito	545.419	395.700	273.590	373.420	334.889	303.220	261.023	295.558	330.677	257.423
Calcário	392.050	385.279	289.249	369.173	410.946	409.728	402.230	393.456	414.298	358.412
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	3.579	2.822	0	0	0	0	0	0	0	0
Carvão PCI consumido no alto-forno	2.601.184	2.553.482	1.775.163	2.275.960	2.220.927	2.116.908	2.241.783	2.427.108	2.821.879	2.894.725
Consumo de gusa	1.101.588	1.125.297	886.989	1.051.724	1.156.422	1.139.333	1.101.030	1.134.408	1.188.677	1.103.361
Coque de petróleo	461.513	469.879	455.156	39.372	77.762	50.388	65.680	21.120	19.627	28.336
Coque metalúrgico	7.582.445	8.091.333	6.489.881	7.962.114	8.983.741	8.745.085	8.258.602	8.100.969	8.333.663	8.110.331
Dolomita	85.950	102.547	108.772	145.610	150.747	195.261	217.894	237.789	205.586	198.980
Eletrodo	13.864	13.274	10.778	14.403	14.850	14.026	15.301	15.342	11.399	12.198
Gás de aciaria	881.509	423.317	363.824	494.463	581.519	555.166	524.400	550.750	537.198	723.606
Gás de alto-forno	6.917.581	5.768.936	4.940.131	5.754.519	6.821.801	6.931.522	6.353.660	7.002.309	7.187.685	6.716.399
Grafite	4.173	3.638	1.960	2.276	2.423	2.413	8.289	3.571	3.404	13.908
Moinha de coque	837.156	994.485	801.881	1.014.082	1.178.838	1.130.119	1.156.656	1.105.684	1.050.007	988.939
Pó do CDQ	7.539	11.785	10.972	52.044	59.067	44.419	25.512	12.876	12.077	10.549
Sucata	60.548	51.795	48.965	47.459	54.023	56.400	74.444	66.456	59.365	56.023
Total	21.496.098	20.393.571	16.457.312	19.596.620	22.047.954	21.693.989	20.706.504	21.367.397	22.175.540	21.473.191

Unidade: t C

Tabela 3-14. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006

Entradas (matérias-primas)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito	169.680	172.487	180.438	221.346	238.965	246.076	249.222	288.966	291.968
Calcário	211.074	218.427	209.645	214.700	218.055	219.880	231.399	246.845	300.565
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	6.977	5.178	6.056	6.267	5.559	5.335	5.506	6.544	6.796
Carvão PCI consumido no alto-forno	155.659	167.965	171.302	191.252	148.579	488.596	491.783	738.250	1.346.304
Coque de petróleo	35.000	31.342	33.943	35.982	39.379	36.341	68.366	105.302	102.314
Coque metalúrgico	6.343.938	6.952.656	7.097.033	7.106.397	7.229.430	7.546.495	7.044.262	7.248.197	7.254.700
Dolomita	108.258	118.213	130.963	133.160	136.794	134.680	136.668	145.126	186.197
Eletrodo	8.250	7.188	7.878	8.407	10.283	10.341	10.069	10.960	9.747
Moinha de coque	830.110	846.103	865.140	794.949	817.962	840.482	860.437	873.151	775.946
Sucata	36.205	33.086	36.369	39.221	40.385	37.295	39.044	42.848	40.919
Total das entradas	7.905.151	8.552.644	8.738.766	8.751.681	8.885.391	9.565.519	9.136.756	9.706.189	10.315.456

Continuação. Entradas de carbono consideradas, relativamente às entradas de matéria-prima, de 1990 a 2006

Entradas (matérias-primas)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito	183.488	257.917	320.083	325.903	337.958	408.928	422.110	436.985
Calcário	289.759	324.477	300.537	288.300	339.243	326.988	294.268	339.785
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	7.946	9.802	11.345	10.040	9.043	10.652	10.836	8.845
Carvão PCI consumido no alto-forno	1.447.613	2.097.614	2.024.181	2.165.102	2.485.672	2.661.850	2.512.579	2.375.955
Coque de petróleo	278.187	320.669	365.316	413.663	424.578	314.268	438.808	449.821
Coque metalúrgico	6.365.225	7.038.251	6.714.329	7.508.713	7.596.784	7.451.853	7.162.774	6.724.855
Dolomita	141.338	104.927	149.427	160.761	182.786	210.367	205.820	100.850
Eletrodo	11.780	12.081	12.183	12.404	14.133	14.689	14.036	13.748
Moinha de coque	798.885	769.968	698.896	786.962	741.672	752.967	718.713	655.167
Sucata	48.875	48.688	52.491	54.338	60.016	63.167	61.303	59.871
Total das entradas	9.573.095	10.984.394	10.648.788	11.726.186	12.191.886	12.215.728	11.841.247	11.165.881

Fonte: IABr
Unidade: t C

Tabela 3-15. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes (em t C)

Entradas (matérias-primas)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antracito	169.680	172.487	180.438	221.346	238.965	246.076	249.222	288.966	291.968
Calcário	211.074	218.427	209.645	214.700	218.055	219.880	231.399	246.845	300.565
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	6.977	5.178	6.056	6.267	5.559	5.335	5.506	6.544	6.796
Carvão PCI consumido no alto-forno	155.659	167.965	171.302	191.252	148.579	488.596	491.783	738.250	1.346.304
Consumo de gusa	662.842	718.047	756.667	794.939	806.989	797.456	803.093	831.927	811.337
Coque de petróleo	35.000	31.342	33.943	35.982	39.379	36.341	68.366	105.302	102.314
Coque metalúrgico	6.343.938	6.952.656	7.097.033	7.106.397	7.229.430	7.546.495	7.044.262	7.248.197	7.254.700
Dolomita	108.258	118.213	130.963	133.160	136.794	134.680	136.668	145.126	186.197
Eletrodo	8.250	7.188	7.878	8.407	10.283	10.341	10.069	10.960	9.747
Gás de aciaria	235.368	254.970	268.684	282.274	286.553	283.168	285.169	295.408	288.096
Gás de alto-forno	2.940.975	3.185.918	3.357.268	3.527.081	3.580.545	3.538.250	3.563.257	3.691.191	3.599.836
Grafite	1.790	1.939	2.044	2.147	2.180	2.154	2.169	2.247	2.191
Moinha de coque	830.110	846.103	865.140	794.949	817.962	840.482	860.437	873.151	775.946
Pó do CDQ	17.124	18.550	19.548	20.536	20.848	20.601	20.747	21.492	20.960
Sucata	36.205	33.086	36.369	39.221	40.385	37.295	39.044	42.848	40.919
Total das entradas	11.763.248	12.732.069	13.142.976	13.378.659	13.582.504	14.207.149	13.811.191	14.548.454	15.037.876

Continuação. Entradas de carbono, de 1990 a 2006, com complementação das entradas faltantes (em t C)

Entradas (matérias-primas)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Antracito	183.488	257.917	320.083	325.903	337.958	408.928	422.110	436.985
Calcário	289.759	324.477	300.537	288.300	339.243	326.988	294.268	339.785
Carvão FEA consumido na aciaria elétrica	7.946	9.802	11.345	10.040	9.043	10.652	10.836	8.845
Carvão PCI consumido no alto-forno	1.447.613	2.097.614	2.024.181	2.165.102	2.485.672	2.661.850	2.512.579	2.375.955
Consumo de gusa	834.863	917.277	885.334	972.868	1.018.252	1.050.445	1.011.025	976.638
Coque de petróleo	278.187	320.669	365.316	413.663	424.578	314.268	438.808	449.821
Coque metalúrgico	6.365.225	7.038.251	6.714.329	7.508.713	7.596.784	7.451.853	7.162.774	6.724.855
Dolomita	141.338	104.927	149.427	160.761	182.786	210.367	205.820	100.850
Eletrodo	11.780	12.081	12.183	12.404	14.133	14.689	14.036	13.748
Gás de aciaria	296.450	325.714	314.372	345.455	361.570	373.001	359.004	346.793
Gás de alto-forno	3.704.219	4.069.882	3.928.155	4.316.539	4.517.900	4.660.742	4.485.837	4.333.265
Grafite	2.255	2.477	2.391	2.628	2.750	2.837	2.731	2.638
Moinha de coque	798.885	769.968	698.896	786.962	741.672	752.967	718.713	655.167
Pó do CDQ	21.568	23.697	22.872	25.133	26.305	27.137	26.119	25.230
Sucata	48.875	48.688	52.491	54.338	60.016	63.167	61.303	59.871
Total das entradas	14.432.449	16.323.442	15.801.912	17.388.808	18.118.663	18.329.891	17.725.961	16.850.446

Fonte: Baseado em IABr

Unidade: t C

Tabela 3-16. Saídas de carbono consideradas, relativamente aos produtos, de 2007 a 2016

Saídas (produtos)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aço bruto	340.276	337.745	268.728	330.483	356.744	347.895	341.054	339.734	334.286	311.136
Ferro-gusa não convertido a aço	20.640	39.228	17.840	25.840	26.749	32.159	34.970	46.217	24.346	31.905
Ferro-gusa que vai para aciaria	1.208.021	1.236.808	972.559	1.180.592	1.271.869	1.248.338	1.223.376	1.267.611	1.294.923	1.218.541
Gás de aciaria	917.527	762.093	645.133	746.088	869.483	993.157	883.674	1.148.982	1.273.241	912.018
Gás de alto-forno	8.224.221	8.388.857	6.673.267	7.945.040	8.813.381	8.969.228	8.526.547	8.896.742	8.975.778	8.432.214
Total das saídas	10.710.684	10.764.731	8.577.527	10.228.044	11.338.228	11.590.777	11.009.621	11.699.286	11.902.573	10.905.814

Unidade: t C

Tabela 3-17. Saídas de carbono consideradas, relativamente aos produtos, de 1990 a 2006

Saídas (produtos)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aço bruto	208.142	224.720	237.048	248.895	253.360	249.752	251.686	261.114	253.717
Gás de alto-forno	890.114	899.279	907.162	958.705	948.443	1.012.672	952.408	975.665	1.040.999

Continuação. Saídas de carbono consideradas, relativamente aos produtos, de 1990 a 2006

Saídas (produtos)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aço bruto	261.415	286.579	276.340	304.047	318.443	329.569	316.502	306.085
Gás de alto-forno	1.045.518	1.008.541	994.471	1.004.848	1.040.235	1.105.532	1.082.157	1.224.444

Unidade: t C

Tabela 3-18. Produção de ferro-gusa, de 1990 a 2006, das empresas integradas

Produção de ferro-gusa	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Empresas associadas do IABr (kt)	15.887	18.087	18.925	19.328	19.845	20.172	19.822	20.449	20.379	19.380	21.807	21.113	23.139	24.150	24.901	24.110	22.985

Fonte: IABr

Tabela 3-19. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes

Saídas (produtos)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Aço bruto	208.142	224.720	237.048	248.895	253.360	249.752	251.686	261.114	253.717
Ferro-gusa não convertido a aço	16.064	18.289	19.136	19.544	20.067	20.397	20.043	20.677	20.607
Ferro-gusa que vai para aciaria	730.625	831.800	870.339	888.872	912.648	927.687	911.591	940.426	937.206
Gás de Aciaria	490.135	530.956	559.513	587.814	596.724	589.675	593.843	615.164	599.939
Gás de alto-forno	4.986.855	5.402.192	5.692.741	5.980.684	6.071.340	5.999.622	6.042.026	6.258.957	6.104.050
Total das saídas	6.431.820	7.007.957	7.378.777	7.725.808	7.854.138	7.787.133	7.819.189	8.096.338	7.915.518

Continuação. Saídas de carbono consideradas, de 1990 a 2006, com complementação das saídas faltantes

Saídas (produtos)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aço bruto	261.415	286.579	276.340	304.047	318.443	329.569	316.502	306.085
Ferro-gusa não convertido a aço	19.596	22.050	21.349	23.397	24.420	25.179	24.379	23.242
Ferro-gusa que vai para aciaria	891.264	1.002.879	970.962	1.064.136	1.110.630	1.145.168	1.108.791	1.057.053
Gás de aciaria	617.335	678.275	654.655	719.382	752.941	776.746	747.597	722.170
Gás de alto-forno	6.281.046	6.901.083	6.660.764	7.319.325	7.660.764	7.902.972	7.606.395	7.347.687
Total das saídas	8.070.656	8.890.866	8.584.070	9.430.288	9.867.197	10.179.634	9.803.664	9.456.237

Fonte: Com base em IABr

Unidade: t C

Tabela 3-20. Consumo de gás de aciaria e gás de alto-forno e produção de sínter que usa antracito

Ano	Consumo de gás de aciaria	Consumo de gás de alto-forno	Produção de sínter que usa antracito
	TJ	TJ	kt
1990	4.748	42.731	11.271
1991	5.143	46.290	12.210
1992	5.420	48.779	12.867
1993	5.694	51.246	13.517
1994	5.780	52.023	13.722
1995	5.712	51.409	13.560
1996	5.752	51.772	13.656
1997	5.959	53.631	14.146
1998	5.811	52.303	13.796
1999	5.980	53.820	14.196
2000	6.570	59.133	15.598
2001	6.341	57.074	15.055
2002	6.968	62.717	16.543
2003	7.293	65.642	17.315
2004	7.524	67.718	17.862
2005	7.242	65.177	17.192
2006	6.995	62.960	16.607
2007	17.781	100.508	18.985
2008	8.539	83.819	20.347
2009	7.339	71.777	15.800
2010	9.974	83.610	19.278
2011	11.730	99.117	18.927
2012	11.198	100.711	16.558
2013	10.578	92.315	17.719
2014	11.109	101.739	17.609
2015	10.836	104.433	17.761
2016	14.596	97.585	19.727

Fonte: IABr, apenas para a produção de sínter que usa antracito, de 2007 a 2016. Demais informações, conforme texto.

3.2 Produção de ferro-gusa nas usinas dedicadas

Fora as usinas integradas, o ferro-gusa também é fabricado por usinas dedicadas exclusivamente a esse produto, seja voltado para fundição, seja para 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 é consumida aproximadamente 1,68 tonelada de minério de ferro e em torno de 3 m³ de carvão vegetal por tonelada de gusa produzido. No Brasil, a produção de ferro-gusa por usinas dedicadas utiliza somente carvão vegetal, ideal para fornos de menor porte, comparados com os usados nas indústrias integradas, e o processo inicial contempla as mesmas etapas da produção de gusa por essas últimas.

3.2.1 Metodologia

As emissões foram calculadas apenas com o consumo de carvão vegetal e aplicação dos fatores de emissão dos diversos gases resultantes do processo de redução. O consumo é apresentado diretamente no BEN, no subsetor de ferro e aço, onde esse combustível é utilizado apenas nas guseiras dedicadas. Os fatores de emissão estão na Tabela 3-21, sendo que, para o CO₂, ainda deve ser abatida a quantidade correspondente ao carbono contínuo no ferro-gusa.

Tabela 3-21. Fatores de emissão para a produção de gusa usando carvão vegetal

Gás	FE
	kg/TJ
CO ₂	106.519
CH ₄	200
N ₂ O	4
CO	4.000
NO _x	100
NMVOG	100

Fonte: IPCC 1996 e IPCC 2006

3.2.2 Dados

O consumo de carvão vegetal é obtido no BEN, em mil tep, conforme apresentado na Tabela 3-22. Para a conversão a terajoule, foi usado o fator de 41,868 TJ/mil tep. Para o ferro-gusa foi considerado o conteúdo médio carbono de 4% em termos de massa.

3.2.3 Resultados

As emissões calculadas para a produção de gusa pelas usinas dedicadas estão apresentadas na Tabela 3-23. As emissões de CO₂, uma vez que são provenientes de biomassa, não integram o Inventário, mas são apresentadas ao final, apenas como informação.

Tabela 3-22. Consumo de carvão vegetal para a produção de gusa

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Carvão vegetal	6.760	5.700	5.314	5.825	6.012	5.517	4.786	5.012	4.597	5.249	5.668	5.325	5.515	6.280
Produção de gusa	5.121	4.488	4.132	4.572	5.247	4.919	4.156	4.564	4.732	5.169	5.916	6.278	6.555	7.889

Continuação

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carvão vegetal	7.588	7.436	7.176	7.391	7.243	4.216	5.220	5.405	5.168	4.677	4.585	4.625	3.854
Produção de gusa	9.657	9.774	9.467	9.628	8.342	4.273	5.061	5.825	5.548	5.352	5.036	4.306	3.550

Unidade: mil t

Fonte: BEN

Tabela 3-23. Emissões da produção de ferro-gusa das usinas dedicadas

Emissões pela fabricação de gusa	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
CO ₂ (biomassa)	18.717	15.757	14.697	16.104	16.544	15.167	13.173	13.764	12.545	14.358	15.455	14.414	14.927	16.936
CH ₄	36,6	30,8	28,7	31,5	32,5	29,8	25,9	27,1	24,9	28,4	30,6	28,8	29,8	34,0
N ₂ O	0,73	0,62	0,57	0,63	0,65	0,60	0,52	0,54	0,50	0,57	0,61	0,58	0,60	0,68
CO	731,1	616,4	574,7	629,9	650,2	596,6	517,6	542,0	497,1	567,6	613,0	575,9	596,7	679,4
NO _x	18,3	15,4	14,4	15,7	16,3	14,9	12,9	13,6	12,4	14,2	15,3	14,4	14,9	17,0
NMVOOC	18,3	15,4	14,4	15,7	16,3	14,9	12,9	13,6	12,4	14,2	15,3	14,4	14,9	17,0

Continuação

Emissões pela fabricação de gusa	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CO ₂ (biomassa)	20.445	19.990	19.285	19.882	19.644	11.520	14.296	14.717	14.074	12.689	12.471	12.693	10.583
CH ₄	41,0	40,2	38,8	40,0	39,2	22,8	28,2	29,2	28,0	25,3	24,8	25,0	20,8
N ₂ O	0,82	0,80	0,78	0,80	0,78	0,46	0,56	0,58	0,56	0,51	0,50	0,50	0,42
CO	820,9	804,5	776,3	799,6	783,6	456,1	564,7	584,7	559,1	506,0	496,0	500,4	417,0
NO _x	20,5	20,1	19,4	20,0	19,6	11,4	14,1	14,6	14,0	12,6	12,4	12,5	10,4
NMVOOC	20,5	20,1	19,4	20,0	19,6	11,4	14,1	14,6	14,0	12,6	12,4	12,5	10,4

Unidade: Gg

3.3 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 à 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, optoeletrônicas e supercondutores.

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 (CO₂) e metano (CH₄).

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 CO₂ provenientes do uso de combustíveis fósseis 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 CO₂ são aqui apresentadas para todos os combustíveis.

Em 2002, o setor de ferroligas, não se 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 3-24.

Tabela 3-24. Produção brasileira de ferroligas

Ano	Ferroligas à base de manganês	Ferroligas à base de silício	Ferroligas à base de cromo	Ferroligas à base de níquel	Ferroligas à base de nióbio	Ferroligas especiais/ outras	Total
	<i>toneladas</i>						
1990	170.504	229.408	83.753	0	0	323.998	807.663
1991	169.103	190.864	82.225	0	0	387.086	829.278
1992	178.937	243.838	91.100	0	0	410.937	924.812
1993	201.518	238.864	83.892	0	0	405.509	929.783
1994	199.667	198.505	77.163	0	0	371.001	846.336
1995	130.207	243.824	95.840	0	0	286.754	756.625
1996	215.260	236.838	72.609	0	0	299.205	823.912
1997	152.530	212.183	67.429	0	0	274.058	706.200
1998	267.007	166.278	72.507	26.389	30.973	36.478	599.632
1999	233.644	200.833	90.784	19.807	28.557	52.003	625.628
2000	292.581	189.935	142.352	19.315	27.359	65.080	736.622
2001	576.251	159.345	90.327	17.966	37.411	42.339	923.639
2002	339.166	145.910	133.697	19.874	36.450	50.952	726.049
2003	438.393	156.824	179.408	19.874	37.303	70.899	902.701
2004	465.600	177.245	188.836	20.338	35.863	114.887	1.002.769
2005	598.648	199.856	170.303	23.707	58.616	120.453	1.171.583
2006	573.426	220.214	166.547	28.865	65.886	107.824	1.162.762
2007	419.230	225.303	167.540	29.171	71.676	107.088	1.020.008
2008	388.010	182.790	199.324	26.694	81.591	105.262	983.671
2009	154.094	174.467	90.632	31.600	48.888	60.066	559.747
2010	305.808	247.306	172.794	8.465	77.246	97.758	909.377
2011	295.923	210.910	145.122	16.750	81.860	74.509	825.074
2012	330.419	203.881	181.425	31.342	80.187	87.587	914.841
2013	311.000	158.000	174.180	37.237	46.555	0	726.972
2014	303.000	127.000	188.682	34.501	51.737	0	704.920
2015	129.000	0	173.467	21.286	51.874	0	375.627
2016	124.000	0	150.240	44.538	44.390	0	363.168

Fonte: até 1997, Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico - Aбраfe; após 1998, Anuários Estatísticos do Setor Metalúrgico (MME, 2000; 2005; 2010; 2013; 2019).

3.2.1. *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, semicobertos 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 CO₂, enquanto os minerais são reduzidos a metais básicos derretidos e então combinados à solução.

Emissões primárias em fornos de arco coberto consistem quase inteiramente de monóxido de carbono (CO) devido ao forte ambiente redutor. Esse CO geralmente é utilizado para a produção de energia em caldeiras dentro da própria fábrica, sendo então queimado e convertido em CO₂ emitido. O gás CO produzido em fornos abertos ou semifechados é queimado para CO₂ acima do nível de carga. Apesar de o CO₂ ser o principal gás estufa emitido na produção de ferroligas, uma pesquisa recente mostrou que o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) representam até 5% das emissões de CO₂ nas produções de ferro-silício (FeSi) e silício metálico (Si-metal). No entanto, o IPCC ainda não apresenta metodologia para emissões de N₂O.

3.2.2. *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 betuminoso e coque de carvão mineral) tiveram sua utilização aumentada a partir de 1998. A metodologia para o cálculo das emissões de CO₂ e de CH₄ usou a abordagem Tier 1, com base na utilização dos redutores.

Equação 3-2 - Emissões de CO₂ pela produção de ferroligas

$$E_{CO_2} = \sum_i (\text{Combustível redutor}_i * FE_i) / 10^3$$

E_{CO_2} = emissões de CO₂ (Gg)

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

FE_i = fator de emissão do redutor do tipo i (t CO₂/t redutor tipo i)

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 mais informações, o carbono contido nas ferroligas não foi considerado.

Para as emissões de CH₄ também se usou a abordagem Tier 1, com base apenas na quantidade das ferroligas à base de silício. O fator de emissão utilizado foi de 1 kg CH₄/t FeSi.

Tabela 3-25. Fatores de emissão de CO₂ para os redutores usados na produção de ferroligas

Fornos (AD)	t CO ₂ /t redutor
Coque de petróleo	3,5
Carvão betuminoso (CV6000)	3,1
Coque de carvão mineral	3,3
Carvão vegetal*	3,5

Fonte: IPCC 2006, para coque de petróleo, carvão mineral e coque de carvão mineral.

* Na falta de fator de emissão para carvão vegetal, o autor fez uma comparação entre os fatores de emissão dos combustíveis acima, usando uma correlação com os fatores de emissão em t CO₂/TJ, conforme a Tabela 3-43.

3.2.3. Dados

Para o cálculo das emissões de CO₂ foram usados os consumos de combustível informados pelo BEN conforme a Tabela 3-26.

Tabela 3-26. Consumo de redutores para o setor de ferroligas

Ano	Coque de petróleo	Carvão metalúrgico importado	Coque de carvão mineral	Carvão vegetal
	<i>mil t</i>			
1990	-	-	37,0	560,0
1991	-	-	38,0	755,0
1992	-	-	63,0	640,0
1993	-	-	61,0	775,0
1994	-	-	57,0	677,0
1995	-	19,0	51,0	590,0
1996	-	20,0	57,0	895,0
1997	-	6,0	49,0	600,0
1998	149,9	-	10,0	503,0
1999	92,6	46,0	6,0	559,0
2000	106,2	49,0	8,0	666,0
2001	107,2	49,0	27,0	408,0
2002	104,1	58,8	10,4	518,2
2003	145,7	22,0	114,0	823,0
2004	129,1	-	154,0	864,0
2005	145,3	-	133,6	882,7
2006	146,8	-	135,0	890,6
2007	171,8	-	151,0	952,9
2008	170,7	-	172,0	972,0
2009	170,7	-	132,9	750,8
2010	200,1	-	155,7	879,8
2011	179,9	-	139,5	788,2
2012	176,2	-	135,3	772,2
2013	163,6	-	121,5	725,7
2014	152,0	-	113,5	675,2
2015	136,8	-	101,7	607,5
2016	133,6	-	100,0	589,8

Para a conversão do coque de petróleo de volume (BEN) para massa, foi usada a densidade de 1,041 t / m³, também do BEN.

3.2.4. Resultados

A Tabela 3-27 apresenta as emissões do subsetor de ferroligas, lembrando que o CO₂ de biomassa é apenas para informação.

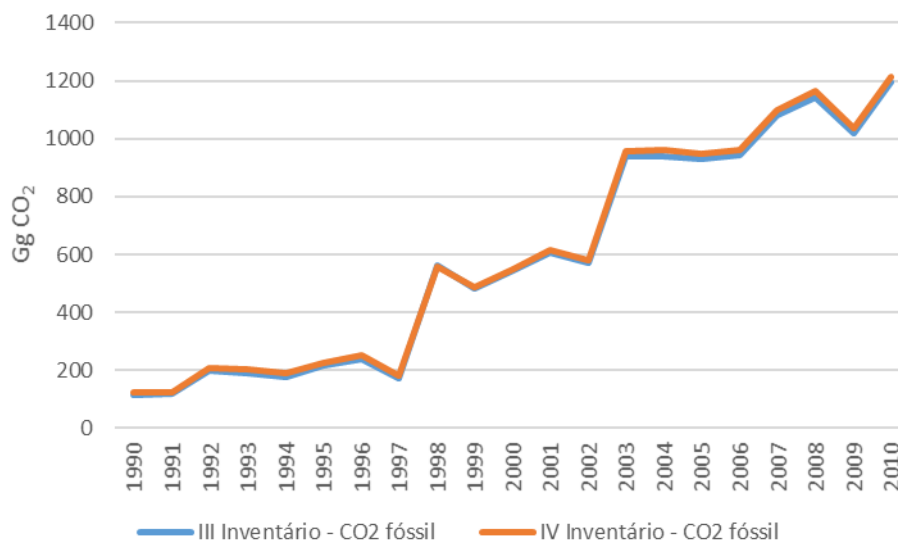
Tabela 3-27. Emissões da produção de ferroligas

Ano	CO ₂ (fóssil)	CO ₂ (biomassa)	CH ₄
	Gg		
1990	122	1.960	0,16
1991	125	2.643	0,21
1992	208	2.240	0,18
1993	201	2.713	0,22
1994	188	2.370	0,19
1995	227	2.065	0,17
1996	250	3.133	0,25
1997	180	2.100	0,17
1998	558	1.761	0,17
1999	487	1.957	0,20
2000	550	2.331	0,19
2001	616	1.428	0,16
2002	581	1.814	0,15
2003	954	2.881	0,16
2004	960	3.024	0,18
2005	949	3.089	0,20
2006	959	3.117	0,22
2007	1.099	3.335	0,23
2008	1.165	3.402	0,18
2009	1.036	2.628	0,17
2010	1.214	3.079	0,25
2011	1.090	2.759	0,21
2012	1.063	2.703	0,20
2013	974	2.540	0,16
2014	906	2.363	0,13
2015	814	2.126	0,00
2016	798	2.064	0,00

3.2.5. Diferenças para o Terceiro Inventário

Pequenas alterações referentes ao consumo do BEN, conforme a Figura 3-7.

Figura 3-7. Comparação das emissões de CO₂ da produção de ferroligas com o Terceiro Inventário



3.4 Produção de alumínio

Este relatório apresenta a caracterização do processo produtivo do alumínio primário com as estimativas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes do consumo dos anodos e das emissões de perfluorcarbono (PFCs) da redução eletrolítica. Os gases PFCs abordados neste relatório compreendem o perfluormetano (CF₄) e o perfluoretano (C₂F₆), cujas emissões ocorrem durante o efeito anódico.

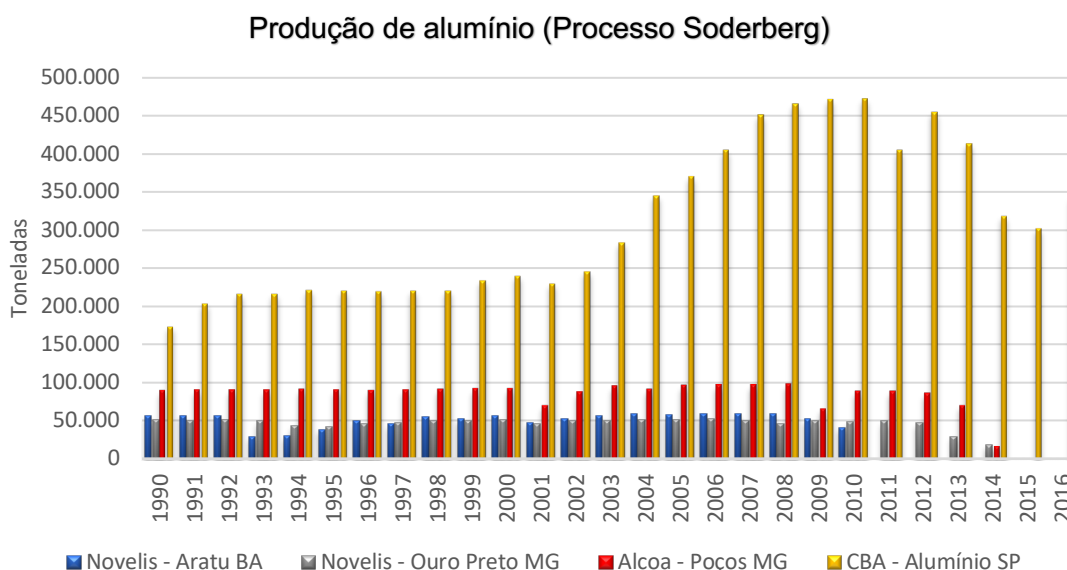
O alumínio primário é obtido através da mineração de bauxita, mineral encontrado na crosta terrestre. Em 2016, o Brasil foi o 3º maior produtor mundial, detentor da 3ª maior reserva mineral de bauxita e o 3º maior produtor mundial de alumina.

A produção mundial de alumínio primário atingiu 57,6 Mt em 2016; e, representando o 10º lugar no ranking mundial, a produção brasileira do metal foi de 790 mil t no ano. O parque industrial de alumínio brasileiro conta com sete plantas, que são apresentadas a seguir de acordo com a rota tecnológica empregada. Em 2016, no entanto, apenas duas delas - CBA e ALBRAS - estavam operando, situação que vem se agravando devido às questões relacionadas ao custo de energia, que afeta a competitividade global da nossa indústria.

a) Rota Soderberg com anodo em pasta (Figura 3-8):

- Novelis em Aratu (MG), com VSS+HSS Soderberg
- Novelis em Ouro Preto (MG), com HSS Soderberg
- Alcoa em Poços de Caldas (MG), com VSS Soderberg
- Votorantim Metais - CBA em Alumínio (SP), com VSS Soderberg

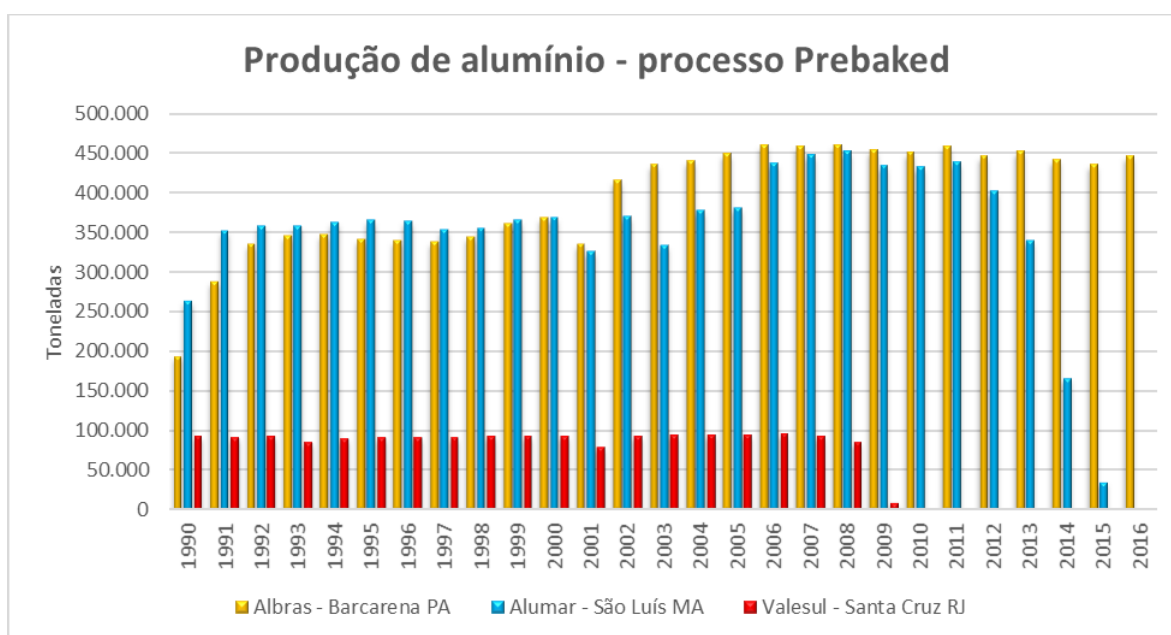
Figura 3-8. Produção de alumínio primário - Processo Soderberg, de 1990 a 2016



b) **Rota Prebaked Anode** com anodo pré-cozido, todas com a tecnologia Centre Worked Prebaked Anode - CWPB (Figura 3-9):

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

Figura 3-9. Produção de alumínio primário - Processo Prebaked, de 1990 a 2016



3.4.1 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 contido na parcela mais fina; secagem.

b) Refino

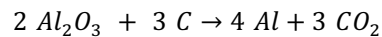
A refinaria, através do Processo Bayer, transforma a bauxita em alumina calcinada através das etapas: dissolução da alumina em soda cáustica; filtração da alumina para separar o material sólido; concentração do filtrado para a cristalização da alumina; secagem e calcinação dos cristais para eliminar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

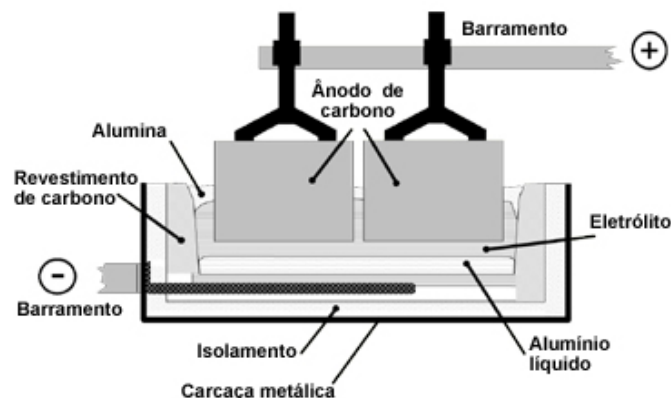
A redução do alumínio é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico conforme a equação a seguir, que mostra também a origem do CO₂ emitido pelo processo. Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o Processo de Redução são alumina, energia elétrica, criolita, fluoreto de alumínio, coque de petróleo, piche e óleo combustível.

Equação 3-3. 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 3-10 é ilustrado o diagrama de uma célula de redução.

Figura 3-10. Diagrama de uma célula de redução

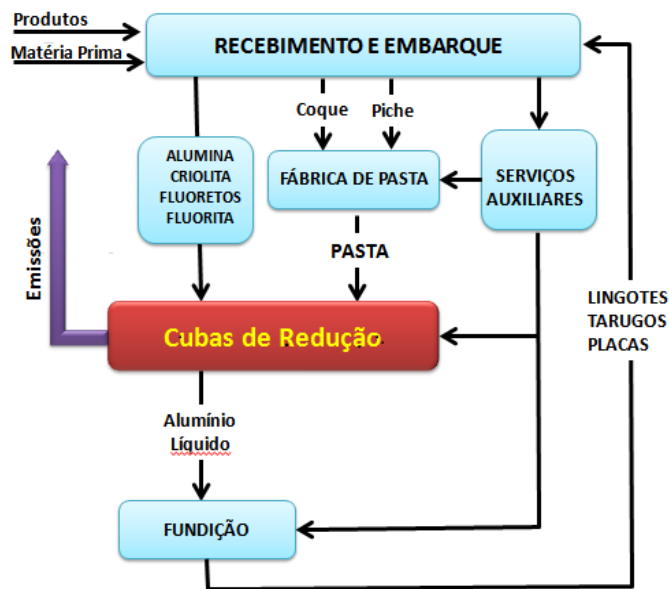


Fonte: ABAL

A

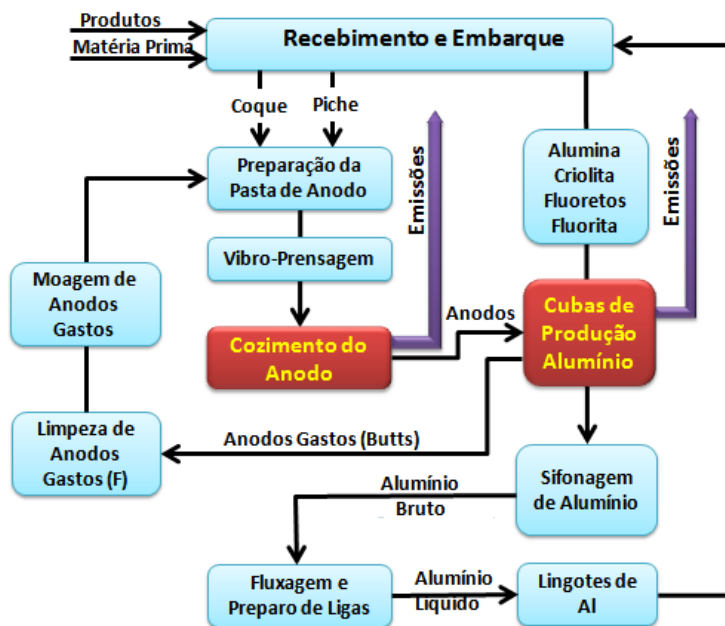
Figura 3-11 e a Figura 3-12 apresentam os fluxogramas dos processos de produção de alumínio.

Figura 3-11. Fluxograma do processo de produção de alumínio com cubas com anodos e tecnologia Soderberg



Fonte: ABAL

Figura 3-12. 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 (Al_2O_3) está dissolvida no banho eletrolítico contido nos fornos de uma linha de redução de alumínio, implicando maior resistência elétrica e, já que o circuito tende a manter a corrente de processo constante, ocasionando também aumento de voltagem, acima de determinada faixa de operação normal. Essa situação resulta na emissão de gases contendo o tetrafluoreto de metano ou perfluormetano (CF_4) e o hexafluoreto de etano ou perfluoretano (C_2F_6).

Esses efeitos são indesejados por também implicarem 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.

3.4.2 Metodologia para cálculo das emissões de CO_2 - 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 CO₂ usa apenas a classificação ampla da tecnologia Prebaked Anode ou Soderberg, com utilização de fatores de emissão *default* aplicados à produção, conforme a Equação 3-4:

Equação 3-4 - Emissões de CO₂ 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 CO₂ do consumo do anodo e/ou consumo de pasta (t CO₂)

FE_P = fator de emissão específico para a tecnologia Prebaked Anode^{10*} (t CO₂/t Al)

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 CO₂/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 CO₂/t Al para Prebaked Anode e 1,7 t CO₂/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 CO₂. Valores típicos da indústria para impurezas são aplicados nos dois casos.

➤ **Tecnologia Prebaked Anode**

Equação 3-5. Emissões de CO₂ 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 CO₂ a partir do consumo do anodo pré-cozido (t CO₂)

¹⁰O FE_P inclui as emissões de CO₂ a partir da combustão de voláteis no piche e CO₂ proveniente do material de empacotamento do forno de cozimento.

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_2/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_2 estão associadas com os fornos de cozimento de anodos - a combustão de voláteis no piche e do material de empacotamento do forno de cozimento (Equação 3-6).

Equação 3-6. Emissões de CO_2 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_2 a partir da combustão de voláteis no piche (t CO_2)

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_2/C (adimensional)

Equação 3-7. Emissões de CO_2 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_2 a partir da combustão do material de empacotamento no forno de cozimento (t CO_2)

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_2/C (adimensional)

O IPCC 2006 apresenta valores *default* para a tecnologia Prebaked Anode, conforme a Tabela 3-28.

Tabela 3-28. Valores *default* para parâmetros da tecnologia Prebaked Anode - Tier 2

Tecnologia <i>Prebaked Anode</i>	
Fator (<i>Tier 2</i>)	CWPB/SWPB
S_a = conteúdo de enxofre nos anodos cozidos (%)	2
Ash_a = conteúdo de cinzas nos anodos cozidos (%)	0,4
H_w = conteúdo de hidrogênio dos anodos antes do cozimento (t)	$0,005*GA^1$
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_{pc} = conteúdo de enxofre no material de empacotamento (%)	2
Ash_{pc} = conteúdo de cinzas no material de empacotamento (%)	2,5

➤ Tecnologia Soderberg

Equação 3-8. Emissões de CO₂ 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 CO₂ do consumo de pasta (t CO₂)

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/t Al)

BC = conteúdo do ligante na pasta (%)

S_p = conteúdo de enxofre no piche (%)

Ash_p = conteúdo de cinza no piche (%)

H_p = conteúdo de hidrogênio no piche (%)

S_c = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)

Ash_c = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)

C_{CP} = carbono na poeira sobrenadante das cubas Soderberg (%)

44/12 = relação das massas moleculares CO₂/C (adimensional)

O IPCC 2006 apresenta valores *default* para a tecnologia Soderberg, conforme a Tabela 3-29.

Tabela 3-29. 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_p = conteúdo de enxofre no piche (%)	0,6	0,6
Ash_p = conteúdo de cinza no piche (%)	0,2	0,2
H_p = conteúdo de hidrogênio no piche (%)	3,3	3,3
S_c = conteúdo de enxofre no coque calcinado da pasta (%)	1,9	1,9
Ash_c = conteúdo de cinza no coque calcinado da pasta (%)	0,2	0,2
C_{CP} = carbono na poeira sobrenadante das cubas Soderberg (t C/t Al)	0,01	0,01

Tier 3

No método Tier 3, usa-se o mesmo raciocínio do Tier 2, apenas substituindo-se os valores indicados na Tabela 3-28 e na Tabela 3-29 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

3.4.3 Metodologia para cálculo das emissões de PFCs - Alumínio

Tier 1

O método Tier 1 para calcular as emissões de CF₄ e C₂F₆ usa as subdivisões das tecnologias Prebaked Anode (CWPB ou SWPB) e Soderberg (VSS ou HSS), com fatores de emissão *default* (Tabela 3-30) aplicados à produção, em cada um dos casos, conforme a Equação 3-9 e a Equação 3-10.

Equação 3-9. Emissões de CF₄ pela produção de alumínio - Tier 1

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

Onde:

E_{CF_4} = emissões de CF₄ pela produção de alumínio (kg CF₄)

FE_{CF_4} = fator de emissão *default* por tipo de tecnologia i para CF₄ (kg CF₄/t Al)

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

Equação 3-10. Emissões de C₂F₆ 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 C₂F₆ pela produção de alumínio (kg C₂F₆)

$FE_{C_2F_6}$ = fator de emissão *default* por tipo de tecnologia i para C₂F₆ (kg C₂F₆/t Al)

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

A Tabela 3-30 apresenta os valores *default* para FE_{CF_4} e $FE_{C_2F_6}$ na metodologia Tier1.

Tabela 3-30. Fatores de emissão *default* para CF₄ e C₂F₆ na produção de alumínio primário - Tier1

Tecnologia	FE _{CF₄}	FE _{C₂F₆}
	kg CF ₄ /t Al	kg C ₂ F 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 CF₄: o da inclinação (*slope method* - Equação 3-11) e o da sobretensão (*overvoltage method*), cada um com uma fórmula associada. Já as estimativas de C₂F₆ são calculadas como uma fração das emissões de CF₄ (Equação 3-12). 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 3-11 - Emissões de CF₄ a partir da produção de alumínio - Tier 2

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

Onde:

E_{CF_4} = emissões de CF₄ a partir da produção de alumínio, kg CF₄

I_{CF_4} = coeficiente de inclinação para CF₄, (kg CF₄/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 3-12. Emissões de C₂F₆ 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 C₂F₆ da produção de alumínio, kg C₂F₆

E_{CF_4} = emissões de CF₄ a partir da produção de alumínio, kg CF₄

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = relação C₂F₆/CF₄ (kg C₂F₆/kg CF₄)

A Tabela 3-31 mostra os valores *default* para o coeficiente de inclinação e a relação C₂F₆/CF₄, por tecnologia, nesta abordagem Tier 2.

Tabela 3-31. Coeficiente de inclinação para cálculo das emissões de CF₄ e relação C₂F₆/CF₄ - Tier2

Tecnologia	Coeficiente de inclinação	F _{C₂F₆/CF₄} = relação C ₂ F ₆ /CF ₄
	(kg CF ₄ /t Al)/(min-EA/célula-dia)	kg C ₂ F 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 3-31 por parâmetros medidos, ou específicos, para cada planta.

3.4.4 Metodologia para CO e NO_x

Para os gases CO e NO_x, a metodologia segue o Tier 1 (apenas IPCC 1996), segundo a tabela abaixo.

Tabela 3-32. Fatores de emissão para CO e NO_x na produção de alumínio primário

Fonte de emissão	CO	NO _x
Processo eletrolítico	135	2,15
Cozimento de anodos	400	NE

Unidade: kg/t alumínio

3.4.5 Simplificações da metodologia a partir de 2008

Como as empresas só forneceram cálculos detalhados dos fatores de emissão até o ano de 2007 ou 2008, a partir daí adotaram-se os seguintes critérios:

- Para o CO₂, foram mantidos os fatores de emissão de 2007 de cada fábrica.
- Para o CF₄, foi tomada a média dos últimos três fatores de emissão de cada fábrica, sendo que Novelis e Albras haviam chegado até 2008; e as demais, até 2007.
- Para o C₂F₆, considerou-se a relação C₂F₆/CF₄ existente em 2007 de cada fábrica.

3.4.6 Dados

As emissões de CO₂ e de PFCs foram estimadas para o período 1990 a 2016. 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 3-33.

Tabela 3-33. Abordagens aplicadas nas estimativas de emissões de CO₂ e PFCs por planta para o período 1990-2007

Rota tecnológica		Planta	CO ₂	PFCs
Tipo	Subdivisão			
<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:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das próprias empresas produtoras primárias.
- 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 CO₂ foram:

- As produções anuais de alumínio a partir dos registros das salas de cubas eletrolíticas das empresas.
- 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.

A coleta dos dados foi realizada com a colaboração das empresas produtoras de alumínio, referente ao período de 1990 a 2007/2008, para cada planta. A partir de 2008, a Abal (Associação Brasileira do Alumínio) forneceu as quantidades produzidas de alumínio primário por tecnologia e planta.

Na Tabela 3-34 são apresentados resumidamente os dados das produções nacionais de alumínio por tipo de tecnologia.

Tabela 3-34. Produção nacional de alumínio primário, por tipo de tecnologia

Detalhe	Produção brasileira de alumínio (toneladas)										
	Tecnologia <i>Soderberg</i>					Tecnologia <i>Prebaked Anode</i>				Total	
	Fábrica	Novelis	Novelis	Alcoa	CBA	Total	Albras	Alumar	Valesul		Total
	Tipo tecn.	VSS+HSS	HSS	VSS	VSS	<i>Soderberg</i>	CWPB	CWPB	CWPB		<i>Prebaked Anode</i>
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	1.604.249	
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	52.038	48.752	65.253	471.354	637.397	453.781	434.121	10.241	898.143	1.535.540	
2010	40.870	48.168	88.327	472.018	649.383	451.117	433.203	0	884.320	1.533.703	
2011	0	48.741	87.914	405.296	541.951	458.166	439.157	0	897.323	1.439.274	
2012	0	46.500	85.900	454.893	587.293	446.669	402.400	0	849.069	1.436.362	
2013	0	29.200	69.400	413.700	512.300	452.300	339.500	0	791.800	1.304.100	
2014	0	18.000	17.500	318.500	354.000	441.000	167.000	0	608.000	962.000	
2015	0	0	0	302.200	302.200	435.200	34.800	0	470.000	772.200	
2016	0	0	0	343.900	343.900	446.100	0	0	446.100	790.000	

3.4.7 Resultados

A Tabela 3-35 apresenta as emissões de CO₂ do consumo e preparo dos anodos por tipo de tecnologia.

Tabela 3-35. Emissões de CO₂ do consumo e preparo dos anodos

Ano	Emissões de CO ₂		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	Gg CO ₂		
1990	672	902	1.574
1991	726	1.175	1.901
1992	756	1.256	2.011
1993	698	1.248	1.946
1994	692	1.264	1.955
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	2.472
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	2.544
2010	1.143	1.401	2.543
2011	954	1.421	2.375
2012	1.033	1.345	2.378
2013	901	1.256	2.156
2014	622	967	1.589
2015	530	751	1.281
2016	603	714	1.317

A Tabela 3-36 exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CO₂.

Tabela 3-36. Fatores de emissão implícitos para CO₂, por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de CO ₂		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CO ₂ /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	1,585	1,655
2009	1,760	1,584	1,657
2010	1,760	1,584	1,658
2011	1,760	1,584	1,650
2012	1,759	1,584	1,656
2013	1,758	1,586	1,653
2014	1,757	1,591	1,652
2015	1,753	1,598	1,658
2016	1,753	1,600	1,667

A Tabela 3-37 apresenta as emissões de CF₄ por tipo de tecnologia.

Tabela 3-37. Emissões de CF₄ por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de CF ₄		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t CF ₄		
1990	140,7	161,5	302,2
1991	153,3	183,3	336,5
1992	150,6	205,9	356,5
1993	138,2	196,7	334,8
1994	131,6	191,6	323,1
1995	125,3	180,7	306,0
1996	114,3	183,3	297,6
1997	89,5	113,3	202,7
1998	93,2	134,5	227,6
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	121,9
2007	62,5	54,9	117,4
2008	62,1	60,4	122,6
2009	61,7	25,8	87,5
2010	60,6	21,6	82,2
2011	46,3	22,0	68,2
2012	49,5	20,8	70,4
2013	42,1	19,5	61,5
2014	29,2	15,2	44,4
2015	23,4	12,0	35,4
2016	26,7	11,4	38,1

A Tabela 3-38 exibe os fatores de emissão implícitos por tipo de tecnologia do gás CF₄.

Tabela 3-38. Fatores de emissão implícitos para CF₄, por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de CF ₄		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg CF ₄ /t Al		
1990	0,3806	0,2930	0,3282
1991	0,3827	0,2503	0,2971
1992	0,3644	0,2621	0,2974
1993	0,3593	0,2493	0,2854
1994	0,3420	0,2393	0,2726
1995	0,3212	0,2264	0,2575
1996	0,2843	0,2306	0,2486
1997	0,2215	0,1444	0,1706
1998	0,2248	0,1696	0,1885
1999	0,2388	0,1209	0,1613
2000	0,1693	0,0869	0,1154
2001	0,1329	0,0845	0,1013
2002	0,1203	0,0940	0,1027
2003	0,1257	0,0870	0,1009
2004	0,1070	0,0721	0,0852
2005	0,1109	0,0652	0,0827
2006	0,1004	0,0609	0,0760
2007	0,0954	0,0549	0,0709
2008	0,0932	0,0606	0,0737
2009	0,0968	0,0288	0,0570
2010	0,0933	0,0245	0,0536
2011	0,0853	0,0245	0,0474
2012	0,0844	0,0245	0,0490
2013	0,0821	0,0246	0,0472
2014	0,0825	0,0250	0,0461
2015	0,0776	0,0254	0,0458
2016	0,0776	0,0256	0,0482

A Tabela 3-39 apresenta as emissões de C₂F₆ por tipo de tecnologia.

Tabela 3-39. Emissões de C₂F₆ por tipo de tecnologia

Ano	Emissões de C ₂ F ₆		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	t C ₂ F ₆		
1990	9,2	17,1	26,3
1991	10,1	19,0	29,0
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	26,4
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	15,4
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	10,4
2006	4,2	6,2	10,4
2007	4,3	5,6	9,9
2008	4,1	6,1	10,2
2009	4,2	2,7	6,9
2010	4,1	2,3	6,4
2011	3,1	2,3	5,4
2012	3,3	2,2	5,5
2013	2,8	2,0	4,8
2014	2,0	1,5	3,5
2015	1,5	1,1	2,7
2016	1,8	1,0	2,8

A Tabela 3-40 exibe os fatores de emissão implícitos do gás C₂F₆ por tipo de tecnologia.

Tabela 3-40. Fatores de emissão implícitos para C₂F₆, por tipo de tecnologia

Ano	FE implícito de C ₂ F ₆		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	kg C ₂ F ₆ /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	0,0062	0,0061	0,0062
2009	0,0066	0,0030	0,0060
2010	0,0063	0,0026	0,0060
2011	0,0057	0,0026	0,0060
2012	0,0056	0,0026	0,0060
2013	0,0054	0,0025	0,0060
2014	0,0055	0,0025	0,0060
2015	0,0051	0,0024	0,0060
2016	0,0051	0,0023	0,0060

Tabela 3-41. Emissões de CO e NOx da produção de alumínio

Ano	Emissões de CO			Emissões de NOx		
	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total	<i>Soderberg</i>	<i>Prebaked Anode</i>	Total
	Gg					
1990	49,9	294,8	344,7	0,8	1,2	2,0
1991	54,1	391,8	445,9	0,9	1,6	2,4
1992	55,8	420,3	476,1	0,9	1,7	2,6
1993	51,9	422,0	474,0	0,8	1,7	2,5
1994	51,9	428,4	480,3	0,8	1,7	2,5
1995	52,7	427,1	479,8	0,8	1,7	2,6
1996	54,3	425,2	479,5	0,9	1,7	2,6
1997	54,5	419,6	474,1	0,9	1,7	2,6
1998	56,0	424,2	480,1	0,9	1,7	2,6
1999	57,7	438,7	496,4	0,9	1,8	2,7
2000	59,2	444,5	503,7	0,9	1,8	2,7
2001	52,9	396,1	449,0	0,8	1,6	2,4
2002	58,8	470,6	529,3	0,9	1,9	2,8
2003	65,6	462,0	527,6	1,0	1,9	2,9
2004	73,6	488,4	562,0	1,2	2,0	3,1
2005	77,4	494,6	572,0	1,2	2,0	3,2
2006	82,5	531,4	613,9	1,3	2,1	3,4
2007	88,5	534,9	623,4	1,4	2,1	3,6
2008	90,0	533,2	623,2	1,4	2,1	3,6
2009	86,0	480,5	566,6	1,4	1,9	3,3
2010	87,7	473,1	560,8	1,4	1,9	3,3
2011	73,2	480,1	553,2	1,2	1,9	3,1
2012	79,3	454,3	533,5	1,3	1,8	3,1
2013	69,2	423,6	492,8	1,1	1,7	2,8
2014	47,8	325,3	373,1	0,8	1,3	2,1
2015	40,8	251,5	292,2	0,6	1,0	1,7
2016	46,4	238,7	285,1	0,7	1,0	1,7

3.4.8 Diferenças para o Terceiro Inventário

Não houve diferenças para o Terceiro Inventário.

3.5 Produção de magnésio

O SF₆ 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 SF₆ é considerado um gás não reativo e se adapta idealmente a esse 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 pela Rima Industrial, única produtora de magnésio no Brasil, passou a utilizar SO₂ em vez de SF₆ devido a um projeto MDL¹¹, eliminando seu uso a partir do segundo semestre de 2009. O uso de dolomita - única matéria-prima usada no processo - também gera emissões de CO₂.

3.5.1 Metodologia

As emissões de SF₆ baseiam-se na quantidade do gás que era consumida antes do projeto MDL, quando 100% do gás era emitido após o uso. Pelas novas metodologias do IPCC 2006, as emissões de CO₂ derivadas da calcinação da dolomita (CaCO₃.MgCO₃) utilizada devem ser reportadas aqui. A abordagem usada foi Tier 1, com o fator de emissão de 5,13 t CO₂/t magnésio produzido (devido à calcinação da dolomita).

3.5.2 Dados

Foi considerada a série informada para o Terceiro Inventário Nacional, que se estendia até 2011. Para 2008 foram consideradas as mesmas emissões de SF₆ 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. Para os anos de 2010 a 2016, os dados foram adquiridos nos relatórios do projeto MDL diretamente no site da UNFCCC. Os dados de atividade são apresentados na Tabela 3-42.

¹¹ “Conversion of SF₆ to the alternative cover gas SO₂ at RIMA magnesium production”. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

3.5.3 Resultados

A Tabela 3-42 apresenta os dados de produção e as emissões da produção de magnésio no Brasil.

Tabela 3-42. Produção de magnésio e emissões associadas

Ano	Produção de magnésio	Emissões de CO ₂	Emissões de SF ₆
	t	t	
1990	5.731	29.400	5,8
1991	5.805	29.781	5,8
1992	6.945	35.625	7,0
1993	10.046	51.536	10,1
1994	9.833	50.444	9,9
1995	10.043	51.521	10,1
1996	9.706	49.793	9,7
1997	12.692	65.108	12,7
1998	10.025	51.427	10,1
1999	9.753	50.032	9,8
2000	10.256	52.615	10,3
2001	9.291	47.664	9,5
2002	10.092	51.772	12,2
2003	10.693	54.854	14,7
2004	12.105	62.097	17,0
2005	14.337	73.549	19,1
2006	16.648	85.404	21,6
2007	18.181	93.269	26,0
2008	20.043	102.818	26,0
2009	21.904	112.368	13,0
2010	18.545	95.135	-
2011	17.848	91.562	-
2012	21.002	107.740	-
2013	23.183	118.927	-
2014	23.629	121.218	-
2015	25.087	128.696	-
2016	27.363	140.374	-

3.5.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Não houve diferenças para o Terceiro Inventário.

3.6 Produção de chumbo

A produção no Brasil é de chumbo secundário. De acordo com o IPCC 2006, o processo utiliza redutores como carvão, gás natural e coque metalúrgico, podendo também usar coque de petróleo em fornos elétricos. As emissões correspondentes são analisadas como um todo em metais não ferrosos, mais à frente.

3.7 Produção de zinco

Em linhas gerais, a produção nacional de zinco tem início com a realização do desmonte do minério das minas, com um teor metálico que varia de 3,6% a 20,0%. Depois de submetido a sucessivas britagens, o minério é moído e posteriormente passa pelo processo de flotação e filtragem para a obtenção do concentrado, cujo teor de zinco já alcança 45,0%. Só então é convertido pelo processo de lixiviação química (hidrometalurgia), seguida de deposição eletrolítica, em lingote de metal do tipo SHG (Special High Grade) com teor de zinco maior ou igual a 99,99%. (BRASIL, 2009)

Pelo exposto, este processo não usa redutores, portanto não emite CO₂.

3.8 Metais não ferrosos de modo geral

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

A produção desses metais não ferrosos, exceto o cobre e o zinco, utiliza combustíveis como redutores de óxidos em fornos em alguma fase do processo, emitindo CO₂.

3.8.1 Metodologia

Para as emissões desse subsetor, na falta de fatores de emissão específicos para não ferrosos, exceto alumínio, adotou-se a abordagem do uso dos combustíveis utilizados no BEN e que, de acordo com o BEU, são usados como aquecimento direto, em geral como redutores. A metodologia para o cálculo das emissões de CO₂ é de acordo com a equação a seguir. Posteriormente, subtraíram-se as emissões de CO₂ da produção do alumínio, já reportadas, pois os combustíveis usados no processo são indicados conjuntamente no BEN com os dos outros não ferrosos.

Equação 3-13 - Emissões de CO₂ pela produção de não ferrosos

$$E_{CO_2} = \sum_i (\text{Combustível redutor}_i * FE_i) / 10^3$$

E_{CO_2} = emissões de CO₂ (Gg)

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* (t CO₂/TJ)

Por falta de mais informações, o carbono contido nos não ferrosos não foi considerado.

Os fatores de emissão de CO₂ utilizados são os mesmos utilizados no Setor Energia, seguindo a Tabela 3-43 abaixo.

Tabela 3-43. Fatores de emissão de CO₂ para os redutores usados na produção de não ferrosos

Fornos (AD)	kg CO ₂ /TJ
Coque de petróleo	97.500
Carvão betuminoso (CV6000)	94.600
Coque de carvão mineral	107.000
Carvão vegetal	106.519

Fonte: IPCC 2006

3.8.2 Dados

Os combustíveis utilizados na produção de cada metal são informados na Tabela 3-44 considerados redutores para os metais não ferrosos e excluídos do setor Energia. Nessa Tabela foi incluída a informação do uso de coque de petróleo para a produção de alumínio, que deve ser subtraída do total desse combustível, pois as emissões já estão relatadas no respectivo subsetor.

Tabela 3-44. Energéticos usados como redutores para a produção de metais não ferrosos

Ano	Coque de Petróleo	Coque de Carvão Mineral	Carvão vegetal
	<i>mil m³</i>	<i>mil t</i>	<i>mil t</i>
1990	401,0	104,0	393,8
1991	447,0	98,0	315,9
1992	431,0	91,0	317,9
1993	474,0	253,9	174,9
1994	526,0	126,9	189,9
1995	547,0	243,9	225,9
1996	596,0	239,9	48,0
1997	492,0	117,0	40,0
1998	447,0	109,0	34,0
1999	462,0	109,0	4,0
2000	486,0	125,9	9,0
2001	437,0	125,9	9,0
2002	494,3	121,7	12,0
2003	578,0	157,0	12,0
2004	569,0	198,0	12,0
2005	587,2	201,3	12,2
2006	628,0	212,0	13,1
2007	668,3	219,0	13,7
2008	676,0	216,0	14,1
2009	676,0	199,8	13,1
2010	700,8	220,4	14,4
2011	843,8	335,4	13,9
2012	803,7	403,9	15,9
2013	751,5	400,0	17,5
2014	683,9	404,0	21,1
2015	586,7	355,5	16,4
2016	601,4	331,1	15,5

Fonte: BEN

3.8.3 Resultados

Na Tabela 3-45 a seguir encontram-se as emissões de GEE referentes à produção de metais não ferrosos, observando-se que as emissões de CO₂ (de origem fóssil) excluem as referentes à produção de alumínio primário, já relatadas no item 3.3.6. As emissões de CO₂ de origem de biomassa são apenas para informação, não entrando no Inventário.

Tabela 3-45. Emissões de GEE referentes à produção de metais não ferrosos

Anos	CO ₂ fóssil (s/ alumínio)	CO ₂ biomassa
	Gg	
1990	176	1.135
1991	0	910
1992	0	916
1993	527	504
1994	312	547
1995	738	651
1996	885	138
1997	140	115
1998	0	98
1999	0	12
2000	5	26
2001	67	26
2002	0	35
2003	347	35
2004	232	35
2005	243	35
2006	247	38
2007	319	40
2008	324	41
2009	474	38
2010	636	41
2011	1.658	40
2012	1.724	46
2013	1.749	50
2014	2.089	61
2015	1.902	47
2016	1.843	45

Fonte: Autor.

Obs.: Quando o abatimento das emissões de CO₂ de alumínio primário resultou em número negativo, o valor foi tornado nulo (1991-1992, 1998-1999 e 2002).

3.8.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Houve alterações no BEN, no sentido de alguma reclassificação de carvões minerais. Agora, apenas coque de petróleo e coque de carvão mineral contribuem para as emissões de CO₂ fóssil na produção dos não ferrosos, enquanto o CV-6000 é reportado no setor Energia. As emissões de CO₂ fóssil foram diminuídas das emissões de CO₂ da produção de alumínio, relatadas à parte, no item 3.3.

4 Produtos não energéticos de combustíveis e solventes

O BEN relaciona consumos não energéticos da química e de outros setores, para vários combustíveis. Para a química, existem consumos de gás natural seco, nafta, gás refinaria, álcool anidro, álcool hidratado, outros não energéticos de petróleo, a título de matéria-prima, consumos esses já considerados automaticamente no capítulo 2 deste relatório. Para outros setores, existem consumos não energéticos de lubrificantes, alcatrão, querosene iluminante, álcool anidro, álcool hidratado, solventes, outros não energéticos de petróleo e asfalto. Embora o IPCC 2006 não dê informações sobre percentuais desses combustíveis que tenham o carbono estocado de forma mais ou menos permanente, tal informação estava no IPCC 1996 e foi aqui utilizada.

4.1 Emissões evaporativas (NMVOC)

Foram considerados como emitidos 100% como NMVOC:

- Gás natural seco, querosene iluminante, álcool anidro, álcool hidratado, solventes

Além disso, foi considerada a emissão baseada no uso de asfalto utilizado na pavimentação.

4.1.1 Metodologia

É necessária a simples transformação de unidades dos valores informados no BEN para unidade de massa.

No caso do uso do asfalto para pavimentação, há uma emissão de compostos voláteis na proporção de 320 kg NMVOC/t asfalto.

4.1.2 Dados

Para as emissões de NMVOC, devem ser considerados os combustíveis relacionados na Tabela 4-2, juntamente com a informação de densidade deles, mostrados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1. Densidade dos combustíveis para cálculo das emissões NMVOC

Querosene iluminante	790 kg/m ³
Álcool anidro	791 kg/m ³
Álcool hidratado	809 kg/m ³
Solventes	740 kg/m ³
Asfalto	1.040 kg/m ³
Outros não energéticos de petróleo	873 kg/m ³

Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE/MME, 2018)

Tabela 4-2. Consumo não energético fora a indústria química - sem oxidação

Ano	Consumo não energético fora a indústria química - sem oxidação				
	Querosene iluminante	Álcool anidro	Álcool hidratado	Solventes	Asfalto
	mil m ³				
1990	98	57	855	281	1.260
1991	96	0	654	390	982
1992	79	0	663	385	1.233
1993	75	114	732	353	1.130
1994	38	119	879	448	1.305
1995	41	113	1.021	354	1.222
1996	45	143	926	385	1.414
1997	33	128	846	470	1.479
1998	31	223	897	452	1.896
1999	32	257	871	545	1.472
2000	76	217	960	543	1.711
2001	115	124	1.128	565	1.554
2002	113	82	794	709	1.632
2003	88	128	720	804	1.138
2004	86	140	865	922	1.381
2005	29	131	530	1.287	1.435
2006	18	220	920	1.371	1.820
2007	13*	0	0	797*	1.634
2008	10	609	913	833	2.010
2009	9	564	832	642	2.098
2010	9	279	860	592	2.744
2011	20	177	834	586	2.422
2012	19	186	944	599	2.505
2013	10	251	994	549	2.599
2014	7	215	868	598	3.028
2015	3	168	735	427	1.904
2016	4	150	662	453	2.039

Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE/MME, 2018)

* Considerou-se que havia erro de alocação de consumo não energético de querosene iluminante no BEN em 2007, que não alocava o total de consumo nem para Química, nem para Outros, onde ficou finalmente; no mesmo ano, relativamente a Solventes, o consumo da Química foi passado para Outros. Ambas as alterações deram consistência às séries históricas.

4.1.3 Resultados

Na Tabela 4-3 são mostradas as emissões de NMVOC de consumos não energéticos de combustíveis, fora a indústria química.

Tabela 4-3. Emissões de NMVOC de outros consumos não energéticos

Ano	Emissões de NMVOC de outros consumos não energéticos					
	Querosene iluminante	Álcool anidro	Álcool hidratado	Solventes	Asfalto	Total
	Gg NMVOC					
1990	77	45	692	208	419	1.441
1991	76	0	529	289	327	1.220
1992	62	0	536	285	410	1.294
1993	59	90	592	261	376	1.378
1994	30	94	711	332	434	1.601
1995	32	89	826	262	407	1.617
1996	36	113	749	285	471	1.654
1997	26	101	685	348	492	1.652
1998	24	177	726	334	631	1.892
1999	25	203	705	403	490	1.826
2000	60	171	776	402	569	1.979
2001	91	98	912	418	517	2.037
2002	89	64	643	525	543	1.864
2003	70	101	583	595	379	1.727
2004	68	111	700	682	460	2.020
2005	23	103	429	953	478	1.985
2006	14	174	744	1.015	606	2.553
2007	10	0	0	590	544	1.144
2008	8	481	739	617	669	2.514
2009	7	446	673	475	698	2.300
2010	7	220	695	438	913	2.274
2011	16	140	674	434	806	2.070
2012	15	147	764	443	834	2.202
2013	8	198	804	406	865	2.282
2014	5	170	702	443	1.008	2.328
2015	3	133	595	316	634	1.679
2016	3	118	535	335	679	1.670

4.1.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Para as emissões ligadas ao asfalto para a pavimentação houve acerto no sentido de não descontar piche usado na indústria do alumínio, com aumento médio de 11% na série 1990-2010.

4.2 Uso de lubrificantes

Os lubrificantes são derivados de petróleo, para uso em máquinas e equipamentos, com finalidade de evitar atritos, fora o uso em processos na indústria química. Embora a fonte de informação seja o Balanço Energético Nacional (BEN), lubrificantes são tratados no setor Energia, mas reportados em IPPU, de acordo com o IPCC 2006. Considera-se que 80% dos lubrificantes sejam estocados de forma definitiva e 20% emitidos nos motores dois tempos, onde são queimados junto ao combustível.

4.2.1 Metodologia

Para o cálculo das emissões de CO₂ pelo uso de lubrificantes, foi usado o fator de emissão *default* de 20 t C/TJ, que depois precisa ser multiplicado por 44/12 para ir a CO₂.

4.2.2 Dados

O setor energético apresenta BEN com os valores de lubrificantes em mil m³. É preciso usar os fatores de conversão para tep, que variaram anualmente, e o fator de 41,868 mil tep/TJ, para conversão a terajoules (TJ). A Tabela 4-4 tem as quantidades consumidas e os fatores de conversão.

Apenas em 2007, a sequência de dados que vinha nesta série de dados se inverteu para Matéria-Prima da Química no BEN, o que se considerou um equívoco, sendo revertido.

4.2.3 Resultados

A Tabela 4-4 apresenta as quantidades utilizadas de lubrificantes em Outros Usos fora a Química, os fatores de conversão anuais e as emissões de CO₂ consideradas, para os anos de 1990 a 2016.

Tabela 4-4. Consumo de lubrificantes, fora uso da Química, e emissões de CO₂

Ano	Consumo não energético (fora química)	Fator de conversão para tep	Emissões de CO ₂
	mil m ³	tep / m ³	Gg
1990	783	0,89031	428
1991	753	0,89031	412
1992	626	0,89031	342
1993	689	0,89031	377
1994	718	0,89031	393
1995	757	0,89031	414
1996	800	0,89031	437
1997	840	0,89031	459
1998	820	0,89408	450
1999	854	0,89320	468
2000	921	0,89232	505
2001	829	0,89056	453
2002	1.037	0,89100	567
2003	917	0,89100	502
2004	941	0,89100	515
2005	960	0,89100	525
2006	843	0,89100	461
2007	1.025	0,89100	561
2008	1.276	0,89100	698
2009	1.012	0,87000	541
2010	1.242	0,89100	679
2011	1.392	0,87000	744
2012	1.271	0,87000	679
2013	1.439	0,87000	769
2014	1.244	0,87000	665
2015	1.194	0,87000	638
2016	1.201	0,87000	642

4.3 Alcatrão

O alcatrão é um combustível secundário derivado do processamento do carvão mineral nas coquearias. Tem uso energético (com emissões consideradas no setor Energia) e não energético (com emissões consideradas no setor IPPU), segundo o BEN. Na falta de mais informações, considerou-se que, conforme *default* do IPCC 1996, 75% do carbono sejam estocados e o restante, 25%, finalmente emitido.

4.3.1 Metodologia

Para o cálculo das emissões de CO₂ pelo uso de alcatrão, foi usado o fator de emissão *default* de 22 t C/TJ, que depois precisa ser multiplicado por 44/12 para ir a CO₂.

4.3.2 Dados

O setor energético apresenta BEN com os valores de consumo de alcatrão em mil m³. É preciso usar os fatores de conversão para tep, que variaram anualmente, e o fator de 41,868 mil tep/TJ, para conversão a terajoules (TJ). A Tabela 4-5 apresenta os consumos e os fatores de conversão.

Nos anos de 2006 e 2007, a sequência de dados que vinha nesta série de dados se inverteu para matéria-prima da química no BEN, o que se considerou um equívoco, sendo revertido.

4.3.3 Resultados

A Tabela 4-5 apresenta as quantidades utilizadas de alcatrão em Outros Usos fora a Química, os fatores de conversão anuais e as emissões de CO₂ consideradas, para os anos de 1990 a 2016.

Tabela 4-5. Consumo de alcatrão, fora uso da química, e emissões de CO₂

Ano	Consumo não energético (fora química)	Fator de conversão para tep	Emissões de CO ₂
	mil m ³	tep / m ³	Gg
1990	128	0,8547	92
1991	139	0,8547	100
1992	57	0,8547	41
1993	65	0,8547	47
1994	89	0,8547	64
1995	78	0,8547	56
1996	195	0,8547	141
1997	259	0,8547	187
1998	222	0,8547	160
1999	160	0,8547	115
2000	166	0,8547	120
2001	160	0,8547	115
2002	142	0,8550	103
2003	204	0,8550	147
2004	204	0,8550	147
2005	187	0,8550	135
2006	175	0,8550	126
2007	172	0,8550	124
2008	174	0,8550	126
2009	167	0,8550	120
2010	167	0,8550	120
2011	142	0,8550	102
2012	136	0,8550	98
2013	141	0,8550	102
2014	171	0,8550	123
2015	157	0,8550	113
2016	168	0,8550	121

4.3.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

No Terceiro Inventário não havia sido considerado este combustível.

5 Indústria eletrônica

Vide “Relatório de Referência das categorias de uso de HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃ para o período 1990 a 2016”.

6 Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio

Vide “Relatório de Referência das categorias de uso de HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃ para o período 1990 a 2016”.

7 Fabricação e uso de outros produtos

Vide “Relatório de Referência das categorias de uso de HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃ para o período 1990 a 2016”.

8 Outros

8.1 Indústria de papel e celulose

De acordo com o Relatório de 2019 do IBA - Indústria Brasileira de Árvores, o setor de Papel e Celulose abrange uma região de influência de cerca de 1.000 municípios em 23 estados, sendo composto por 44 empresas associadas, nove entidades estaduais e mais cinco empresas colaboradoras de produtos originários do cultivo de árvores plantadas. Em 2018, essa indústria contava com 7,83 milhões de hectares de florestamentos próprios, principalmente os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, para a produção de papel e celulose.

A preparação da pasta celulósica para papéis e outras finalidades consiste na separação das fibras de celulose da lignina - substância que une essas fibras aos demais componentes da madeira, que confere rigidez à madeira. Alguns tipos de madeira, tais como pinho e araucária, possuem fibras longas (3 a 5 mm), enquanto as de eucalipto possuem fibras mais curtas e finas (0,8 a 1,2 mm). As do primeiro grupo são denominadas coníferas ou *softwood* (madeira macia), enquanto as do segundo grupo são conhecidas por folhosas ou *hardwood* (madeira dura).

Os processos de preparação da pasta celulósica são muitos e variam desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos, pressão e calor (temperaturas maiores que 150°C) para dissolver a lignina. O uso de produtos químicos no processo é que gera emissões de gases de efeito estufa.

A produção de papel e pasta de celulose possui três fases principais: a polpação, o branqueamento e a produção de papel. O tipo de polpação e a quantidade de branqueamento usados dependem da natureza da matéria-prima e da qualidade desejada do produto final. A polpação do tipo Kraft é o processo mais largamente utilizado.

No Brasil, o processo mais utilizado é uma variação do Kraft, o Sulfato, que utiliza os mesmos produtos químicos, empregando-se, porém, maiores dosagens de sulfeto de sódio e soda cáustica, além de o cozimento ser feito por mais tempo e a temperaturas mais elevadas. É considerado como o mais adequado para a obtenção de pastas químicas provenientes de eucalipto. Durante o processo, ocorrem emissões de CO, NO_x e NMVOC.

A Tabela 8-1 apresenta um resumo da produção brasileira de pastas de celulose, evidenciando o processo Sulfato, gerador de gases de efeito estufa indireto.

8.1.1 Metodologia

Neste Inventário, os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC 1996 para o processo Kraft foram utilizados para o processo Sulfato, responsável pela maior parte da produção, não estando disponível informação sobre ocorrência de emissões para os outros processos.

Foram então utilizados os fatores *default* de 1,5 kg NO_x, 3,7 kg VOC e 5,6 kg CO por tonelada de produção de celulose química pelo processo Sulfato.

8.1.2 Dados

A Tabela 8-1 apresenta os valores de produção de pastas de celulose por tipo de processo. A participação das produzidas pelo processo Sulfato só é conhecida até 1994, participação essa que foi utilizada para os demais anos da série histórica.

Tabela 8-1. Produção de pastas de celulose, de 1990 a 2016

Ano	Celulose química e semiquímica			Pastas de alto rendimento	TOTAL
	Sulfato*	Outros processos	Subtotal		
	toneladas				
1990	3.593.547	321.141	3.914.688	436.455	4.351.143
1991	4.018.086	328.434	4.346.520	431.596	4.778.116
1992	4.512.600	357.967	4.870.567	431.777	5.302.344
1993	4.723.283	286.905	5.010.188	460.742	5.470.930
1994	5.127.981	248.290	5.376.271	452.599	5.828.870
1995	5.191.573	251.369	5.442.942	492.965	5.935.907
1996	5.471.267	264.911	5.736.178	465.257	6.201.435
1997	5.631.457	272.668	5.904.125	427.037	6.331.162
1998	5.943.611	287.782	6.231.393	455.513	6.686.906
1999	6.452.406	312.417	6.764.823	444.309	7.209.132
2000	6.639.971	321.499	6.961.470	501.796	7.463.266
2001	6.622.799	320.667	6.943.466	468.561	7.412.027
2002	7.178.141	347.556	7.525.697	495.398	8.021.095
2003	8.212.564	397.641	8.610.205	459.042	9.069.247
2004	8.727.441	422.571	9.150.012	470.131	9.620.143
2005	9.397.450	455.012	9.852.462	499.651	10.352.113
2006	10.188.678	493.322	10.682.000	498.000	11.180.000
2007	10.946.963	530.037	11.477.000	521.000	11.998.000
2008	11.626.081	562.919	12.189.000	508.000	12.697.000
2009	12.291.845	595.155	12.887.000	428.000	13.315.000
2010	13.098.775	634.225	13.733.000	431.000	14.164.000
2011	12.864.136	622.864	13.487.000	435.000	13.922.000
2012	12.832.660	621.340	13.454.000	523.000	13.977.000
2013	13.935.273	674.727	14.610.000	520.000	15.130.000
2014	15.232.464	737.536	15.970.000	490.000	16.460.000
2015	16.119.515	780.485	16.900.000	500.000	17.400.000
2016	17.454.859	845.141	18.300.000	500.000	18.800.000

Fonte: IBA, 2019. Participação de 1994 usada para os demais anos.

8.1.3 Resultados

As emissões de gases de efeito estufa do setor são apresentadas na Tabela 8-2. As emissões de VOC foram consideradas NMVOC para o Inventário, mas poderiam conter metano.

Tabela 8-2. Emissões da produção do setor de papel e celulose

Ano	Emissões de CO	Emissões de NO _x	Emissões de VOC
	Gg		
1990	20,1	5,4	13,3
1991	22,5	6,0	14,9
1992	25,3	6,8	16,7
1993	26,5	7,1	17,5
1994	28,7	7,7	19,0
1995	29,1	7,8	19,2
1996	30,6	8,2	20,2
1997	31,5	8,4	20,8
1998	33,3	8,9	22,0
1999	36,1	9,7	23,9
2000	37,2	10,0	24,6
2001	37,1	9,9	24,5
2002	40,2	10,8	26,6
2003	46,0	12,3	30,4
2004	48,9	13,1	32,3
2005	52,6	14,1	34,8
2006	57,1	15,3	37,7
2007	61,3	16,4	40,5
2008	65,1	17,4	43,0
2009	68,8	18,4	45,5
2010	73,4	19,6	48,5
2011	72,0	19,3	47,6
2012	71,9	19,2	47,5
2013	78,0	20,9	51,6
2014	85,3	22,8	56,4
2015	90,3	24,2	59,6
2016	97,7	26,2	64,6

8.1.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Não houve diferenças em relação ao Terceiro Inventário.

8.2 Indústria de alimentos e bebidas

No processamento industrial de alimentos e na produção de bebidas pode ocorrer a emissão de NMVOC.

8.2.1 Metodologia

O IPCC 1996 apresenta fatores de emissão para alguns subsetores, conforme a Tabela 8-3.

Tabela 8-3. Fatores de emissão de NMVOC para a produção de alimentos e bebidas

Produção	Unidade	FE (kg NMVOC/unidade)
Carnes, peixes e aves	t	0,3
Açúcar	t	10
Margarinas e gorduras sólidas para cozinha	t	10
Bolos, biscoitos e cereais matinais	t	1
Pães	t	8
Rações animais	t	1
Torrefação de café	t	0,55
Vinho	hL	0,08
Cerveja	hL	0,035
Destilados	hL	15

8.2.2 Dados

A Tabela 8-4 apresenta a produção brasileira dos alimentos e das bebidas para os casos em que existem emissões de NMVOC associadas, para o período de 1990 a 2016.

Para as carnes de bovinos, suínos e aves, foi usada a produção do Relatório de Referência de Resíduos. Adicionou-se 0,67% a esse total para acrescentar as carnes de equinos, ovinos e caprinos, segundo a média de participação de 1990 a 1994. Para os peixes, a produção veio de informações do Ministério da Pesca e Aquicultura até 2011, atualizadas através de extrapolação linear a partir dos últimos sete anos de dados.

A produção de açúcar e de cervejas também veio do Relatório de Referência de Resíduos. Margarinas, rações para animais e destilados (cachaça) vieram da base de dados IDRA-IBGE. Para a produção de pães, bolos, biscoitos e cereais matinais, há divergências entre as fontes de informação. Optou-se pela Abitrigo - Associação Brasileira da Indústria do Trigo, que forneceu o

consumo total de farinha¹², da qual foi retirada a produção de pão média para a população, conforme dados pesquisados (Mídia do Pão, Abip - Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria)¹³, sendo o restante considerado usado para bolos e biscoitos.

Para a produção de vinho, considerou-se, de 2005 a 2016, a série do banco de dados Sidra-IBGE. Para o início da série desde 1990, fez-se uma correlação com a comercialização dos vinhos no Rio Grande do Sul, com informações da Ibravin - Instituto Brasileiro do Vinho¹⁴ e Uvibra - União Brasileira de Vitivinicultura¹⁵, entre os anos de 2005 e 2009, ou seja, 17% a mais se chegar à produção nacional.

Em relação à torrefação de café, os dados vieram basicamente da Abic - Associação Brasileira da Indústria de Café¹⁶, que considerava dados até 2010. Posteriormente, fez-se uma correlação com a série do banco de dados Sidra-IBGE para café torrado, o que dá números bem abaixo do considerado antes. A média de correção entre 2005 e 2010 foi de 143%.

¹² Disponível em: www.abitrigo.com.br/associados/arquivos/10_EVOLUCAO_DO_MERCADO_DE_FARINHAS_2005_2018.pdf

¹³ Disponível em: <https://thiagocompan.com.br/consumo-de-pao-no-brasil>;
<https://midiadopao.com.br/2016/11/23/pesquisa-sobre-o-consumo-de-pao-no-brasil>

¹⁴ Disponível em: www.ibravin.org.br/

¹⁵ Disponível em: www.uvibra.com.br/

¹⁶ Disponível em: <http://abic.com.br/>

Tabela 8-5. Produção nacional de alimentos e bebidas que geram NMVOC

Ano	Carnes, peixes e aves	Açúcar	Margarinas	Bolos, biscoitos e cereais matinais	Pães	Rações animais	Torrefação de café	Vinho	Cerveja	Destilados (cachaça)
	1000 t							1000 L		
1990	5.837	7.214	408	1.182	2.883	10.719	584	285.566	3.749.150	1.125.000
1991	6.242	7.365	385	1.323	3.226	11.180	624	270.825	3.881.100	1.080.000
1992	6.580	8.530	360	1.406	3.430	11.213	636	256.083	4.013.050	1.035.000
1993	6.805	9.264	348	1.492	3.638	11.679	642	241.341	4.145.000	1.080.000
1994	6.621	9.162	420	1.642	4.006	12.762	651	226.600	4.276.950	1.035.000
1995	6.367	12.652	436	1.797	4.383	13.771	685	236.853	8.037.262	1.139.503
1996	6.202	13.513	455	1.760	4.293	14.527	742	247.106	7.948.478	1.159.125
1997	6.037	14.828	472	1.787	4.359	14.182	781	259.742	8.089.990	1.178.746
1998	5.810	14.887	494	1.814	4.425	14.911	830	250.646	8.522.541	1.198.367
1999	6.759	18.024	511	1.910	4.658	15.932	886	278.329	8.519.562	1.217.989
2000	7.038	19.388	542	1.868	4.557	16.789	890	298.898	9.023.303	1.237.610
2001	9.614	16.198	554	1.895	4.622	17.773	943	293.333	9.140.460	1.257.232
2002	10.930	19.218	568	1.922	4.688	19.307	991	296.186	8.941.778	1.276.853
2003	12.133	22.567	602	2.021	4.929	18.954	991	281.480	8.458.608	1.296.474
2004	14.875	24.919	654	2.048	4.996	19.797	1.081	286.619	9.296.806	1.316.096
2005	16.556	26.685	688	2.278	5.214	19.971	1.134	293.369	9.865.939	1.073.583
2006	17.263	25.823	686	2.400	5.435	19.883	1.161	312.688	10.609.850	1.940.394
2007	19.028	29.988	744	2.056	5.661	20.997	1.218	297.970	11.486.301	1.266.089
2008	19.829	31.026	754	1.569	5.890	20.459	1.264	316.128	12.200.486	1.362.516
2009	20.168	31.049	833	1.534	6.123	22.394	1.279	289.376	12.481.097	1.347.986
2010	21.530	32.956	879	1.931	6.359	26.782	1.354	298.054	12.947.054	1.280.796
2011	24.088	38.006	883	2.134	6.567	30.367	1.286	376.635	13.743.457	1.536.869
2012	25.959	35.925	876	2.065	6.778	30.468	1.287	419.111	14.219.976	1.292.494
2013	33.397	38.246	897	1.735	6.991	28.811	1.336	278.266	13.599.280	1.110.957
2014	27.367	37.594	937	1.524	7.207	24.294	1.406	269.492	14.456.254	1.023.228
2015	28.188	35.571	809	752	7.427	24.686	1.419	348.576	14.260.955	1.064.073
2016	31.283	33.837	1.095	804	7.649	28.158	1.531	384.046	13.987.398	1.211.910

8.2.3 Resultados

Tabela 8-6. Emissões de NMVOC da produção de alimentos e bebidas

Ano	Emissões de NMVOC											
	Carnes, peixes e aves	Açúcar	Margarinas	Bolos, biscoitos e cereais matinais	Pães	Rações animais	Torrefação de café	ALIMENTOS	Vinho	Cerveja	Destilados (cachaça)	BEBIDAS
	Gg											
1990	1,8	72,1	4,1	1,2	23,1	10,7	0,3	113,3	0,2	1,3	168,8	170,3
1991	1,9	73,7	3,9	1,3	25,8	11,2	0,3	118,0	0,2	1,4	162,0	163,6
1992	2,0	85,3	3,6	1,4	27,4	11,2	0,3	131,3	0,2	1,4	155,3	156,9
1993	2,0	92,6	3,5	1,5	29,1	11,7	0,4	140,8	0,2	1,5	162,0	163,6
1994	2,0	91,6	4,2	1,6	32,0	12,8	0,4	144,6	0,2	1,5	155,3	156,9
1995	1,9	126,5	4,4	1,8	35,1	13,8	0,4	183,8	0,2	2,8	170,9	173,9
1996	1,9	135,1	4,6	1,8	34,3	14,5	0,4	192,6	0,2	2,8	173,9	176,8
1997	1,8	148,3	4,7	1,8	34,9	14,2	0,4	206,1	0,2	2,8	176,8	179,9
1998	1,7	148,9	4,9	1,8	35,4	14,9	0,5	208,1	0,2	3,0	179,8	182,9
1999	2,0	180,2	5,1	1,9	37,3	15,9	0,5	243,0	0,2	3,0	182,7	185,9
2000	2,1	193,9	5,4	1,9	36,5	16,8	0,5	257,0	0,2	3,2	185,6	189,0
2001	2,9	162,0	5,5	1,9	37,0	17,8	0,5	227,6	0,2	3,2	188,6	192,0
2002	3,3	192,2	5,7	1,9	37,5	19,3	0,5	260,4	0,2	3,1	191,5	194,9
2003	3,6	225,7	6,0	2,0	39,4	19,0	0,5	296,3	0,2	3,0	194,5	197,7
2004	4,5	249,2	6,5	2,0	40,0	19,8	0,6	322,6	0,2	3,3	197,4	200,9
2005	5,0	266,9	6,9	2,3	41,7	20,0	0,6	343,3	0,2	3,5	161,0	164,7
2006	5,2	258,2	6,9	2,4	43,5	19,9	0,6	336,7	0,3	3,7	291,1	295,0
2007	5,7	299,9	7,4	2,1	45,3	21,0	0,7	382,0	0,2	4,0	189,9	194,2
2008	5,9	310,3	7,5	1,6	47,1	20,5	0,7	393,6	0,3	4,3	204,4	208,9
2009	6,1	310,5	8,3	1,5	49,0	22,4	0,7	398,5	0,2	4,4	202,2	206,8
2010	6,5	329,6	8,8	1,9	50,9	26,8	0,7	425,1	0,2	4,5	192,1	196,9
2011	7,2	380,1	8,8	2,1	52,5	30,4	0,7	481,9	0,3	4,8	230,5	235,6
2012	7,8	359,3	8,8	2,1	54,2	30,5	0,7	463,3	0,3	5,0	193,9	199,2
2013	10,0	382,5	9,0	1,7	55,9	28,8	0,7	488,7	0,2	4,8	166,6	171,6
2014	8,2	375,9	9,4	1,5	57,7	24,3	0,8	477,8	0,2	5,1	153,5	158,8
2015	8,5	355,7	8,1	0,8	59,4	24,7	0,8	457,9	0,3	5,0	159,6	164,9
2016	9,4	338,4	11,0	0,8	61,2	28,2	0,8	449,7	0,3	4,9	181,8	187,0

8.2.4 Diferenças para o Terceiro Inventário

Houve melhora na coleta de dados para alimentos, com aumento médio de 2% em relação ao Terceiro Inventário. Para bebidas, não houve alterações.

9 Referências

- ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. **Anuário Estatístico**. 2013.
- ABAL. **Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Alumínio 2006/2007**. São Paulo. p. 32.
- ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados. **Anuário da Indústria Química Brasileira 1993 / 1995 / 1997 / 2000 / 2005 / 2008 / 2012 / 2013**. Abiquim, 1995.
- ABIQUIM. **Guia da Indústria Química Brasileira 2013/2014**.
- BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral do Brasil**. Antonio Fernando da Silva Rodrigues (coord.). Cap. 4 Mineração de metais não ferrosos, 4.6 Zinco, de Carlos Augusto Ramos Neves. Brasília: DNPM, 2009. 764 p. Disponível em: www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-6-zinco/view.
- CABRAL JR., M.; MOTTA. J. F. M.; ALMEIDA, A. S.; TANNO, L.C. **Argila para Cerâmica Vermelha**. Rochas e Minerais Industriais, cap. 33. 2. ed. CETEM/2008.
- CEPED. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. **Manual Econômico da Indústria Química, MEIQ**. Produtos inorgânicos, v. II. 6.-8. ed. Camaçari: Ceped, 2006.
- CORREIA, S. L.; BLOOT, E. L.; FOLGUERAS, M. V.; HOTZA, D. Caracterização de argilas da região norte de Santa Catarina. *In*: 53 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2009, Guarujá, SP. **Anais do 53 Congresso Brasileiro de Cerâmica**. São Paulo: ABC, 2009. v. 1. p. 1-12.
- FIESP, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Cerâmica Branca e de Revestimento: pisos e revestimentos, isoladores elétricos, louças sanitárias, louças de mesa**. Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento. Série P+L. 2006.
- FOSFERTIL. **Documento de Concepção de Projeto: Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso na PAN2 Fosfertil Piaçaguera**. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int>.
- FOSFERTIL. **Documento de Concepção de Projeto: Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso na PAN4 Fosfertil Cubatão**. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int>.
- GRUN, E. **Caracterização de Argilas Provenientes de Canelinha/SC e Estudo de Formulações de Massas Cerâmicas**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2007.
- IBS. Instituto Brasileiro de Siderurgia. **Anuário Estatístico 1998** (ano-base 1997). Rio de Janeiro, maio 1998.

INT. **Cerâmica Vermelha**. Projeto EELA no Brasil. HENRIQUES JR., M. F.; RODRIGUES, J. A. P. (orgs.). Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2017. 135 p.

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

IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. v. 3 IPPU. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

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

LIMA, L. K. S. *et al.* **Estudo da composição química de argilas na formação de novas fases cristalinas em materiais cerâmicos**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 6-10 nov. 2016.

MCT. **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: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010.

MME. **Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não Metálicos 2006 / 2007 / 2009 / 2012 / 2014 / 2015 / 2016 / 2017 / 2018 / 2019**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2006 (ano-base 2005). Disponível em: www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html. Acesso em: mar. 2010.

MME. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 1995 / 2000 / 2003 / 2005 / 2006 / 2008 / 2010 / 2012 / 2014 / 2015 / 2016 / 2017 / 2018**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - Ministério das Minas e Energia. Disponível em: www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html.

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

MOTTA, J. F. M. *et al.* **Características do Polo de Revestimentos Cerâmicos de Santa Gertrudes - SP, com Ênfase na Produção de Argilas**. Cerâmica Industrial, 9 (1) jan.-fev. 2004.

MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CABRAL JR. M. Argilas plásticas para cerâmica branca no estado de São Paulo: Potencialidade geológica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 2, p. 158-173, jun. 1993.

OLIVEIRA, O. M. **Caracterização de uma argila caulínica de Vitória da Conquista - Bahia**. Dissertação (Mestrado Profissional de Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia. São Paulo, 2011.

PEREIRA, P. S. *et al.* **Caracterização de argila utilizada para fabricação de cerâmica vermelha**. 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Porto de Galinhas: 29 maio-1 jun. 2011.

PRADO, C. M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão-SE, 2011.

PROZON. **Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO**. Revisão Geral. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1999.

ROCHA, R. R.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T.; SOUZA, C. E. M. **Comparação das características mineralógicas da formação Corumbataí com uma massa para revestimentos cerâmicos via úmida**. 2009. Disponível em: www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/21513739.

RODHIA. **Documento de Concepção de Projeto: Redução de emissões de N₂O em Paulínia, SP**. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int>.

RODRIGUES, H. M.; SALVETTI, A. R. **Estudo de Argilas do Estado de Mato Grosso do Sul. Parte 2: Regiões Norte e Leste**. CCET Campo Grande MS. **Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Florianópolis: 2-5 jun. 1999 -salvetti@nin.ufms.br.

RODRIGUES, H. M.; SALVETTI, A. R. **Estudo de Argilas do Estado de Mato Grosso do Sul - Parte 3: Região Sudeste**. CCET Campo Grande MS. **Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Florianópolis-SC: 2-5 jun. 1999. salvetti@nin.ufms.br.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Capítulo 16 - Calcário e Dolomito. *In*: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (eds.). **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Cetem, 2008.

SAVAZZINI-REIS, A.; DELLA-SAGRILLO, V. P.; VALENZUELA-DIAZ, F. R. **Caracterização e propriedades cerâmicas de argilas usadas em cerâmica vermelha no estado do Espírito Santo**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 6-10 nov. 2016.

SENNA, J. A. **Caracterização de argilas de utilização na indústria cerâmica por espectros de reflectância**. Dissertação (Mestrado). - Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. Campinas, 2003.

SILVA, S. A. B. **Estudos para a utilização dos argilominerais das jazidas de gipsita do Araripe PE para produção de pigmentos naturais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CCEN, Química Fundamental. 2008.

SILVEIRA, G. C. L.; SALLET, R. G. **Caracterização físico-química de argilas do município de Itajá-RN para utilização em indústria cerâmica vermelha**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002. rhenus@eol.com.br

SILVEIRA, G. C. L.; SILVA, D. D.; GALHIANE, M. S. **Caracterização físico-química de argilas para aplicação de cerâmica estrutural**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14, 2000, São Pedro - SP. **Anais**.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório Anual 2012**. Disponível em: www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf.

SOUSA, S. J. G. Desenvolvimento de massas cerâmicas processadas por via seca com matérias-primas do norte fluminense visando aplicação em revestimento poroso. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. Campos dos Goytacazes, 2008.

VIEIRA, J. D. P. **Estudo do efeito da substituição de caulim por resíduo de caulim na fabricação de cerâmica de revestimento**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

WHITE MARTINS. 2010. **Comunicação da empresa**.