

ANEXO I

Adequação da Metodologia do IPCC para o Inventário das Emissões
de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis

Abordagem *bottom-up*

Índice

	Página
Apresentação	1
1. Emissões de CO ₂ – Abordagem <i>bottom-up</i> – Parte I	2
1.1 Adequação dos dados disponíveis (BEN e SIBE)	3
1.2 Determinação do consumo de combustíveis (Passo 1)	8
1.3 Conversão para uma unidade comum de energia (Passo 2)	10
1.4 Fatores de emissão de carbono (Passo 3)	11
1.5 Determinação do carbono estocado (Passo 4)	16
1.5.1 Quantidades de combustíveis para uso não energético	16
1.5.2 Fração de carbono estocada	17
1.5.3 Planilha auxiliar para cálculo do carbono estocado	17
1.6 Correção dos valores para considerar a combustão incompleta (Passo 5)	18
1.7 Conversão do carbono oxidado em emissões de CO ₂ (Passo 6)	20
2. Emissões de gases não-CO ₂ – Abordagem <i>bottom-up</i> – Parte II	21
2.1 Determinação do consumo	23
2.1.1 Coeficientes de destinação de uso final	23
2.1.2 Coeficientes de destinação de tecnologia	25
2.2 Fatores de emissão das tecnologias	26
2.2.1 Setor Energético	28
2.2.2 Setores Comercial e Público	31
2.2.3 Setor Residencial	36
2.2.4 Setor Agropecuário	37
2.2.5 Geração termelétrica	41
2.2.6 Produção de Carvão Vegetal	43
2.2.7 Setor Industrial	45
2.2.8 Setor de Transportes	53
Apêndice: Distribuição por tipo de uso para cada combustível e setor	57

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 – Equivalência entre os setores de atividade do IPCC e os utilizados para os cálculos (MCT- Cálculo)	4
TABELA 2 – Equivalência entre os combustíveis do IPCC e do MCT – Cálculo	6
TABELA 3 – Fatores de conversão (TJ/1000 tep)	11
TABELA 4 – Fatores de Emissão (FE) de Carbono Empregados (tC/TJ)	12
TABELA 5 – Frações de carbono estocado – (φ_b) – Brasil	17
TABELA 6 – Frações de carbono oxidado empregadas	20
TABELA 7 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ no Setor Energético	31
TABELA 8 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ nos Setores Comercial e Público	35
TABELA 9 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ no Setor Residencial	37
TABELA 10 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ no Setor Agropecuário	41
TABELA 11 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ na geração termelétrica	43
TABELA 12 – Fatores de Emissão de Gases não-CO ₂ nas Carvoarias	44
TABELA 13 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ no Setor Industrial	53
TABELA 14 – Fatores de emissão de gases não-CO ₂ no Setor de Transportes	56

Apresentação

Neste documento estão descritos os métodos utilizados para a elaboração dos cálculos das emissões de gases de efeito estufa – CO₂ e não-CO₂ (CO, CH₄, N₂O, NO_x e NMVOC) – por queima de combustíveis. A metodologia de referência é aquela do *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1997) adaptada às características particulares do setor energético brasileiro. Segundo as orientações do IPCC, as emissões do setor de produção e consumo de ENERGIA devem ser relatadas segundo a estrutura abaixo:

- **Combustão**

Emissões de CO₂

Reference approach (top-down) – Abordagem de referência

By main source categories (bottom-up) – Abordagem setorial

Emissões de não-CO₂

By main source categories (bottom-up) – Abordagem setorial

- **Fugitivas**

Emissões de metano do processo de extração e manipulação do Carvão Mineral

Emissões de metano do processo de extração de Petróleo e Gás Natural

Ozônio precursor e SO₂ do refino de petróleo

Neste relatório estão contabilizadas apenas as emissões de CO₂ (Parte I) e dos gases não-CO₂ (Parte II), por queima de combustíveis, utilizando-se a abordagem *bottom-up*. Nessa abordagem, as emissões são calculadas a partir da desagregação setorial do consumo final de energia.

1. Emissões de CO₂ – Abordagem *bottom-up* – Parte I

A inclusão das emissões de CO₂ (dióxido de carbono) na abordagem *bottom-up* foi feita na versão revisada do IPCC (1997). Na versão inicial do IPCC (1995), as emissões de CO₂ eram contabilizadas apenas na abordagem *top-down*.

A metodologia *bottom-up* do IPCC abrange os seguintes passos:

- 1) Determinação do consumo de combustíveis, por setor, nas suas unidades de medida originais.
- 2) Conversão para uma unidade de energia comum (terajoules (TJ)).
- 3) Multiplicação pelo fator de emissão de carbono.
- 4) Cálculo da quantidade de carbono estocada.
- 5) Correção dos valores para que seja considerada a queima incompleta do combustível.
- 6) Conversão da quantidade de carbono oxidado para emissões de CO₂.

Matematicamente, a emissão anual de CO₂ decorrente do consumo de combustíveis do setor energético pode ser determinada através da seguinte equação:

$$\Omega^{CO_2} = \sum_i \omega_i^{CO_2} \quad \text{Eq. 1}$$

onde,

Ω^{CO_2} = emissões anuais totais de CO₂ (Gg CO₂) do setor energético;

$\omega_i^{CO_2}$ = emissões anuais de CO₂ do setor i.

As emissões anuais de CO₂ do setor i, $\omega_i^{CO_2}$, são calculadas como:

$$\omega_i^{CO_2} = \sum_b (C_{bi} * FC_b * \varepsilon_b^{CO_2} * 10^{-3} - CS_{bi}) * \Lambda_b * 44/12 \quad \text{Eq. 2}$$

onde,

C_{bi} = consumo anual do combustível do tipo b utilizado pelo setor i (TJ);

FC_b = fator de conversão da unidade original (1000 tep) para terajoules (TJ);

$\varepsilon_b^{CO_2}$ = fator de emissão de carbono para o combustível do tipo b (tC/TJ);

CS_{bi} = quantidade anual de carbono do combustível b, utilizado no setor i, estocada em produtos não energéticos (t C);

Λ_b = fração de carbono do combustível do tipo b realmente oxidada na combustão;

44/12 = constante utilizada para converter a quantidade de carbono elementar liberada em massa de dióxido de carbono.

1.1 Adequação dos dados disponíveis (BEN e SIBE)

A determinação do consumo final dos combustíveis por setor exigiu a adequação da base de dados disponível. Foi necessária a adequação tanto dos combustíveis quanto dos setores de atividade. A principal fonte de dados utilizada para a determinação do consumo de combustíveis foi o Balanço Energético Nacional – BEN (BEN, 1998), complementado por informações do Sistema de Informações do Balanço Energético – SIBE e modificado por algumas hipóteses feitas no âmbito do próprio trabalho.

Os resultados dos cálculos das emissões estarão disponíveis de duas maneiras: no formato compatível com o BEN e no formato mais agregado, que consta das planilhas do IPCC.

a) Adequação dos setores

No quadro a seguir, os setores de atividades estão listados em duas colunas. Os setores definidos pelo IPCC são apresentados na coluna “IPCC” e os setores desagregados para a elaboração dos cálculos das emissões, na outra coluna, “MCT - Cálculo”.

Tabela 1 – Equivalência entre os setores de atividade do IPCC e os utilizados para os cálculos (MCT-Cálculo)

IPCC	MCT - Cálculo
<i>Energy Industries</i>	Centrais Elétricas do Serviço Público
	Centrais Elétricas Autoprodutoras
	Carvoarias
	Setor Energético
<i>Manufacturing Industries and Construction</i>	Não Energético
	Cimento
	Ferro-Gusa e Aço
	Ferro-Ligas
	Mineração e Pelotização
	Não Ferrosos e Outros da Metalurgia
	Química
	Alimento e Bebidas
	Têxtil
	Papel e Celulose
	Cerâmica
	Outros
<i>Transport</i>	Transportes
<i>Domestic Aviation</i>	Aéreo
<i>Road</i>	Rodoviário
<i>Rail</i>	Ferrovário
<i>National Navigation</i>	Hidroviário
<i>Pipeline Transport</i>	
<i>Commercial</i>	Comercial
<i>Institutional Sector</i>	Público
<i>Residential</i>	Residencial
<i>Agriculture Forestry Fishing</i>	Agropecuária
<i>Other</i>	Outros

Os setores listados na coluna “MCT-Cálculo” constam do BEN. Com relação às adaptações que foram feitas para adequar os dados disponíveis ao formato solicitado, cabem as seguintes observações:

Agregadas no setor *Energy Industries* estão, além da categoria do consumo final Setor Energético, as categorias do consumo intermediário (ou dos setores de transformação), que são as Centrais Elétricas de Serviço Público, as Centrais Elétricas Autoprodutoras e as Carvoarias. A metodologia do IPCC orienta a relatar o consumo das Centrais Elétricas Autoprodutoras no setor *Manufacturing Industries and Construction*, juntamente com o consumo da indústria onde essa energia é gerada como atividade secundária. Pelo fato de

não haver disponível a desagregação do consumo energético das Centrais Elétricas Autoprodutoras por categoria de indústria, optou-se por alocá-las no setor *Energy Industries* e não no setor *Manufacturing Industries and Construction*, como sugere o procedimento do IPCC.

Na categoria *Manufacturing Industries and Construction* foram agregados os consumos energético e não energético dos diferentes setores da indústria.

Para o Setor de Transportes, nos subsetores aéreo e hidroviário, a distinção entre transporte nacional e internacional é feita somente de forma indireta na linha referente à exportação, no SIBE. Na exportação, estão agregados tanto o combustível que é exportado como mercadoria quanto aquele que é fornecido às empresas de transporte aéreo para o transporte internacional, os chamados *international bunkers*.

Para o *Commercial/Institutional Sector* foram agregados os setores Comercial e Público. O setor *Agriculture Forestry and Fishing* corresponde à Agropecuária.

b) Adequação dos combustíveis.

No quadro a seguir, os combustíveis listados na coluna “IPCC” são os descritos no IPCC. Apenas os combustíveis presentes na coluna “MCT - Cálculo” é que foram considerados para a elaboração dos cálculos das emissões. As observações da última coluna correspondem a:

- A. Combustíveis que mantêm a mesma classificação do IPCC e que são obtidos diretamente no BEN: Gasolina, Óleo Diesel, Óleo Combustível, GLP, Nafta, Carvão Metalúrgico, Coque de Carvão Mineral, Gás Natural e Carvão Vegetal
- B. Combustíveis que foram adicionados à lista do IPCC e que também são obtidos diretamente no BEN: Carvão Vapor, Alcatrão, Lenha para Queima Direta, Lenha para Carvoejamento e Alcool Etílico.

Tabela 2 – Equivalência entre os combustíveis do IPCC e do MCT – Cálculo

IPCC	MCT – Cálculo	Observações
<i>Crude Oil</i>		C
<i>Orimulsion</i>		C
<i>Natural Gas Liquids</i>		C
<i>Gasoline</i>	Gasolina	A
<i>Jet Kerosene</i>	Querosene Aviação	D
<i>Other Kerosene</i>	Querosene Iluminante	D
<i>Shale Oil</i>		C
<i>Gas/Diesel Oil</i>	Óleo Diesel	A
<i>Residual Fuel Oil</i>	Óleo Combustível	A
<i>LPG</i>	GLP	A
<i>Ethane</i>		C
<i>Naphta</i>	Nafta	A
<i>Lubricants</i>	Lubrificantes	D
	Asfalto	D
	Out. Prod. Não energét. Petróleo	D
<i>Petroleum Coke</i>	Coque de Petróleo	D
<i>Refinery Gas</i>	Gás de Refinaria	D
	Out. Prod. Sec. de Petróleo	D
<i>Anthracite</i>		C
<i>Coking Coal</i>	Carvão Metalúrgico	A
	Carvão Vapor	B
<i>Other Bituminous Coal</i>		C
<i>Sub-Bituminous Coal</i>		C
<i>Lignite</i>		C
<i>Oil Shale</i>		C
<i>Peat</i>		C
<i>Patent Fuel</i>		C
<i>Brown Coal Briquettes</i>		C
	Alcatrão	B
<i>Coke Oven Coke</i>	Coque de Carvão Mineral	A
<i>Gas Coke</i>		C
<i>Gas Work Gas</i>		C
<i>Coke Oven Gas</i>	Gas de Coqueria	D
	Gas Canalizado	D
<i>Blast Furnace Gas</i>		C
<i>Natural Gas</i>	Gás Natural	A
<i>Municipal Solid Waste</i>		C
<i>Industrial Waste</i>		C
	Outras Primárias Fósseis	D
<i>Wood/Wood Waste</i>	Lenha para Queima Direta	B
	Lenha para Carvoejamento	B
<i>Charcoal</i>	Carvão Vegetal	A
<i>Other Solid Biomass</i>	Bagaço	D
	Resíduos Vegetais	D
<i>Liquid Biomass</i>	Lixívia	D
	Álcool Etílico	B
<i>Gaseous Biomass</i>		C

- C. Combustíveis da lista do IPCC e que não foram considerados, já que não constam nem do BEN nem do SIBE: *Crude Oil, Orimulsion, Natural Gas Liquids, Shale Oil, Ethane, Anthracite, Other Bituminous Coal, Sub-Bituminous Coal, Lignite, Oil Shale, Peat, Patent Fuel, Brown Coal Briquettes, Gas Coke, Gas Work Gas, Blast Furnace, Municipal Solid Waste, Industrial Waste e Gaseous Biomass.*
- D. Combustíveis obtidos no SIBE, a base de dados do BEN: Querosene de Aviação, Querosene Iluminante, Lubrificantes, Asfalto, Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo, Coque de Petróleo, Gás de Refinaria, Outros Produtos Secundários de Petróleo, Gás de Coqueria, Gás Canalizado, Outras Primárias Fósseis, Bagaço, Resíduos Vegetais e Lixívia.

1.2 Determinação do consumo de combustíveis (Passo 1)

Como foi visto no item anterior, para alguns combustíveis o consumo pode ser obtido diretamente no BEN: **Gasolina, Óleo Diesel, Óleo Combustível, GLP, Nafta, Carvão Metalúrgico, Carvão Vapor, Alcatrão, Coque de Carvão Mineral, Gás Natural¹ e o Carvão Vegetal.**

Para outros combustíveis, utilizou-se o SIBE, a base de dados do BEN, o qual apresenta os combustíveis num nível de desagregação maior. As relações entre os combustíveis, nos dois níveis de agregação, encontram-se no quadro a seguir:

Agregação BEN	Agregação Utilizada
Querosene	Querosene de Aviação Querosene Iluminante
Outros Não Energéticos de Petróleo	Asfalto Lubrificantes Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo
Outras Secundárias de Petróleo	Coque de Petróleo Gás de Refinaria Outros Produtos Secundários de Petróleo (+metanol+MTBE)
Gás	Gás Canalizado Gás de Coqueria
Outras Primárias	Resíduos Vegetais Lixívia Outras Primárias Fósseis
Lenha	Queima Direta Carvoejamento
Álcool Etílico	Álcool Etílico (-metanol -MTBE)
Produtos da Cana	Bagaço

- “Querosene” foi desagregado em **Querosene de Aviação e Querosene Iluminante.**
- “Não Energéticos de Petróleo” foram desagregados em **Asfalto, Lubrificantes e Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo.**
- “Outras Secundárias do Petróleo” foram desagregadas em **Coque de Petróleo, Gás de Refinaria e Outros Produtos Secundários do Petróleo.** Para o setor de transporte rodoviário, na categoria “Outros Produtos Secundários do Petróleo”, foram ainda adicionados o metanol e o MTBE, subtraídos ao álcool combustível.
- “Gás” foi desagregado em **Gás Canalizado e Gás de Coqueria.**

¹ O IPCC distingue entre líquidos de gás e gás natural seco. Essa distinção, entretanto, não é feita explicitamente no BEN. Considera-se que todo o gás natural que vai para o consumo final seja gás natural seco.

- “Outras Primárias” foram desagregadas em **Resíduos Vegetais**, **Lixívia** e **Outras Primárias Fósseis**.
 - A **Lixívia** é obtida a partir das “Outras Primárias”, no SIBE, exceto para as Centrais Elétricas Autoprodutoras, cujo consumo de Lixívia se obtém diretamente no BEN².
 - A categoria **Outras Primárias Fósseis** agrega 50% do consumo de Resíduos Vegetais da indústria de Cimento e 50% do item “Outras Recuperações”, do consumo das Centrais Elétricas Autoprodutoras, por causa das hipóteses apresentadas a seguir.
 - Os **Resíduos Vegetais** foram obtidos no SIBE a partir das “Outras Primárias”, exceto para os setores de Cimento e Centrais Elétricas Autoprodutoras. Para o Setor de Cimento foi feita a hipótese de que somente 50% de “Outras Primárias” são **Resíduos Vegetais**. Os outros 50% são na realidade materiais diversos, como pneus, e foram computados em **Outras Primárias Fósseis**. No caso das Centrais Elétricas Autoprodutoras, foi subtraída das “Outras Primárias” o consumo de Lixívia e, do que sobrou, a mesma hipótese foi feita: 50% para **Resíduos Vegetais** e 50% para **Outras Primárias Fósseis**.
- No BEN, pode-se obter o consumo final da Lenha, assim como a quantidade que é consumida nas carvoarias³, definida aqui como **Lenha para Carvoejamento**. O consumo final de Lenha é classificado como **Lenha para Queima Direta**.
- O **Bagaço** foi obtido a partir dos “Produtos da Cana”. O **Bagaço** corresponde a 100% do consumo final dos “Produtos da Cana”.
- Uma pequena parte do **Álcool Etílico** consumido no setor de transporte rodoviário era, durante um período, metanol importado e MTBE (metil-t-butil-eter) produzido no país, ambos derivados de petróleo. Como o BEN não faz essa distinção, considerando todo o álcool como Álcool Etílico, calculou-se o metanol e o MTBE do etanol, a partir de dados obtidos junto à Petrobras. O metanol e o MTBE foram subtraídos do consumo de Álcool Etílico do transporte rodoviário e somados ao consumo rodoviário dos **Outros Produtos Secundários de Petróleo**.

² BEN 1998. Balanços de Centros de Transformação. Tabela 5.4 Centrais Elétricas Autoprodutoras. Pg.72

³ Na parte referente ao consumo intermediário.

1.3 Conversão para uma unidade comum de energia (Passo 2)

A conversão do consumo de cada combustível, medido na sua unidade original (1000 tep), para uma unidade comum de energia é efetuada multiplicando-se o consumo pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI). A unidade comum de energia adotada pelo IPCC é o terajoule (TJ). O uso do PCI do combustível, ao invés do seu poder calorífico superior (PCS), é necessário, pois os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível.

O BEN expressa as quantidades dos combustíveis em toneladas equivalentes de petróleo – tep. Um tep representa a energia contida em uma tonelada do petróleo médio consumido, sendo internacionalmente fixado no valor de 10.000 Mcal. No Brasil, o conteúdo energético de um tep, que é função do tipo de petróleo adotado como padrão, foi fixado em 10.800 Mcal ou $45,21744 \times 10^{-3}$ TJ, de acordo com o BEN. Os cálculos estão indicados abaixo:

$$1 \text{ tep standard} = 10.000 \text{ Mcal} = 41,868 \times 10^{-3} \text{ TJ}$$

$$1 \text{ tep brasileiro} = 10.800 \text{ Mcal} = 10.800/10.000 \times 41,868 \times 10^{-3} \text{ TJ}$$

$$1 \text{ tep brasileiro} = 45,21744 \times 10^{-3} \text{ TJ}$$

No entanto, é incorreto converter as quantidades expressas em tep diretamente para terajoules (TJ), pois, no BEN, o conteúdo energético dos combustíveis tem como base o PCS. Para contornar esse problema, a conversão dos valores do BEN para terajoules foi efetuada conforme recomendação do IPCC (1997), mediante a seguinte equação:

$$\text{Fator de conversão (tep com base em PCS} \rightarrow \text{TJ com base em PCI)} = 45,21744 \times 10^{-3} \times \text{fator de correção}$$

onde o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos.

Deve ser ressaltado que esse é um procedimento aproximado, uma vez que a relação entre o PCI e o PCS de um dado combustível é fortemente dependente do seu conteúdo de água e de hidrogênio. Seria mais adequado empregar-se o verdadeiro PCI de cada combustível, caso ele se encontrasse disponível.

Na tabela a seguir, são listados os fatores de conversão utilizados nos cálculos das emissões brasileiras, fatores esses que levam em consideração o conteúdo energético do tep brasileiro e os fatores de correção para o PCI, como descrito acima.

Tabela 3 – Fatores de conversão (TJ/1000 tep)

MCT- Cálculo	FC
Gasolina	42,96
Querosene de Aviação	42,96
Querosene Iluminante	42,96
Óleo Diesel	42,96
Óleo Combustível	42,96
GLP	42,96
Nafta	42,96
Lubrificantes	42,96
Coque de Petróleo	42,96
Gás de Refinaria	42,96
Carvão Vapor	42,96
Carvão Metalúrgico	42,96
Alcatrão	42,96
Coque de Carvão Mineral	42,96
Gás de Coqueria	40,70
Gás Canalizado	40,70
Gás Natural	40,70
Asfalto	42,96
Outras Secundárias Petróleo	42,96
Outros Não Energéticos de Petróleo	42,96
Outras Primárias Fósseis	42,96
Lenha para Queima Direta	42,96
Lenha para Carvoejamento	42,96
Carvão Vegetal	42,96
Resíduos Vegetais	42,96
Bagaçó	42,96
Álcool Etílico	42,96
Lixívia	42,96

1.4 Fatores de emissão de carbono (Passo 3)

Os fatores de emissão de carbono representam a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia. Os fatores de emissão de carbono utilizados neste trabalho estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores de Emissão (FE) de Carbono Empregados (tC/TJ)

MCT- Cálculo	FE
Gasolina (a)	18,9
Querosene de Aviação (a)	19,5
Querosene Iluminante (a)	19,6
Óleo Diesel (a)	20,2
Óleo Combustível (a)	21,1
GLP (a)	17,2
Nafta (a)	20
Lubrificantes(a)	20
Coque de Petróleo (a)	27,5
Gás de Refinaria (a)	18,2
Carvão Vapor (b)	25,8
Carvão Metalúrgico (a)	25,8
Alcatrão (b)	25,8
Coque de Carvão Mineral (a)	29,5
Gás de Coqueria (a)	29,5
Gás Canalizado (b)	15,3
Gás Natural (a)	15,3
Asfalto (a)	22
Outros Produtos Secundários do Petróleo (b)	20
Outros Produtos Não Energéticos do Petróleo (b)	20
Outras Primárias Fósseis (b)	20
Lenha para Queima Direta (a)	29,9
Lenha para Carvoejamento (c)	12,44
Carvão Vegetal (c)	32,16
Resíduos Vegetais (b)	29,9
Bagaço (b)	29,9
Álcool Etílico (c)	14,81
Lixívia (b)	20

A maior parte dos fatores apresentados na Tabela 4 é retirada do IPCC (1997) e está classificada com a letra (a). As exceções foram classificadas com a letra (b) – fatores que foram adaptados do IPCC – e com a letra (c) – fatores que foram calculados no âmbito deste trabalho.

Fator de emissão do tipo (b)

- Para os **Outros Produtos Não Energéticos do Petróleo e Outros Produtos Secundários do Petróleo** foi adotado o fator de emissão do *Other Oil*, definido no IPCC.

- Ao **Gás Canalizado** foi atribuído o fator de emissão do Gás Natural.
- Para o **Carvão Vapor**, uma vez que não há recomendação do IPCC, adotou-se o mesmo valor do fator de emissão do carvão betuminoso (*Other Bituminous Coal*).
- Para o **Alcatrão**, obtido como subproduto da transformação do carvão metalúrgico em coque, uma vez que não há recomendação do IPCC, adotou-se o mesmo fator de emissão do Carvão Metalúrgico (*Coking Coal*).
- É desconhecida a composição das fontes incluídas nas **Outras Primárias Fósseis**. Sendo assim, adotou-se o mesmo fator de emissão do petróleo (*Crude Oil*).
- Para os **Resíduos Vegetais** e o **Bagaço**, utilizam-se os fatores de emissão do *Other Solid Biomass*.
- Para a **Lixívia**, usa-se o fator de emissão do *Liquid Biomass*.

Fator de emissão do tipo (c):

- Para o **Álcool Etílico**, adotou-se o fator de emissão médio da frota nacional, calculado a partir dos dados obtidos na CETESB (1994), para o período 1990/1994.
- Para o **Carvão Vegetal**, considerou-se que a fração mássica de carbono desse combustível (em base seca) é igual a 0,87 (IPCC, 1995) e, portanto, o carbono emitido durante a sua combustão corresponde ao produto entre essa fração e a massa de carvão vegetal queimada ($m_{\text{carvão vegetal}} \times 0,87$). Observando-se que 1 tonelada de carvão vegetal equivale a 0,63 tep (BEN, 1996), tem-se que o carbono emitido por unidade de energia do Carvão Vegetal é igual a:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{carvão vegetal}}^{CO_2} &= \frac{(0,87 \times m_{\text{carvão vegetal}})}{(m_{\text{carvão vegetal}} \times 0,63 \times 45,21744 \times 10^{-3} \times 0,95)} = \\ \varepsilon_{\text{carvão vegetal}}^{CO_2} &= 32,15(tC / TJ), \end{aligned} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde

$\varepsilon_{\text{carvão vegetal}}^{CO_2}$ = fator de emissão do Carvão Vegetal; e

$m_{\text{carvão vegetal}}$ = massa de carvão vegetal.

- Para a **Lenha para Carvoejamento**, aquela consumida nas carvoarias durante o processo de carvoejamento (*Firewood to Charcoal Production*), utilizou-se o fator de emissão de 12,45 tC/TJ, cujo cálculo será descrito em seguida.
Nas carvoarias, há a transformação de lenha em carvão vegetal, com a conseqüente emissão de CO₂. A quantidade de carbono emitida é a diferença entre o carbono contido na Lenha para Carvoejamento e o carbono contido no Carvão Vegetal produzido.

$$\omega_{Carvoaria}^{CO_2} = \nu_{lenha} - \nu_{carvão\ vegetal} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde

$\omega_{carvoaria}^{CO_2}$ = emissão de carbono da carvoaria (tC);

ν_{lenha} = carbono total contido na lenha que vai para o carvoejamento (tC);

$\nu_{carvão\ vegetal}$ = carbono contido no Carvão Vegetal produzido (tC).

Considerando os valores de 0,5 e 0,87, respectivamente, para a fração mássica de carbono da Lenha e do Carvão Vegetal, em base seca (IPCC, 1995), definiu-se o carbono total contido na lenha como:

$$\begin{aligned} \nu_{lenha} &= 0,5 \cdot 0,75 \cdot m_{lenha} = \\ \nu_{lenha} &= 0,375 \cdot m_{lenha} \end{aligned} \quad \text{Eq. 5}$$

sendo 0,75 o fator que permite obter a massa da lenha em base seca, considerando-se 25% de umidade, e m_{lenha} , a massa da lenha.

Já o carbono contido no Carvão Vegetal, considerando 0,87 a sua fração mássica de carbono e sendo $m_{carvão\ vegetal}$ a massa do Carvão Vegetal, pode ser calculado como:

$$\nu_{carvão\ vegetal} = 0,87 \cdot m_{carvão\ vegetal} \quad \text{Eq. 6}$$

Substituindo-se as equações 5 e 6 na equação 4, tem-se:

$$\omega_{Carvoaria}^{CO_2} = 0,375 \cdot m_{lenha} - 0,87 \cdot m_{carvão\ vegetal} \quad \text{Eq. 7}$$

Para se obter as emissões da carvoaria, falta definir a relação entre a massa de lenha que entra na carvoaria e a massa de carvão vegetal resultante do processo de carvoejamento. Partiu-se da informação, contida no BEN, de que o conteúdo energético do carvão que sai da carvoaria é a metade do conteúdo energético da lenha que entra no sistema⁴. Sabe-se também que os PCS do Carvão Vegetal e da Lenha são, respectivamente, 6,8 Gcal/t (com 0% de umidade) e 3,3 Gcal/t (com 25% de umidade).

⁴ Energia com base no PCS

Então

Energia contida na massa de carvão vegetal = 0,5 x Energia contida na massa de lenha

Ou

$$6,8 \frac{\text{Gcal}}{\text{t}} \cdot m_{\text{carvão vegetal}} = 0,5 \cdot 3,3 \frac{\text{Gcal}}{\text{t}} m_{\text{lenha}} \quad \text{Eq. 8}$$

Donde

$$m_{\text{carvão vegetal}} = 0,243 \cdot m_{\text{lenha}} \quad \text{Eq. 9}$$

Aplicando o resultado da Equação 9 na Equação 7, tem-se:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{Carvoaria}}^{\text{CO}_2} &= 0,375 \cdot m_{\text{lenha}} - 0,87 \cdot 0,243 \cdot m_{\text{lenha}} = \\ \omega_{\text{Carvoaria}}^{\text{CO}_2} &= 0,16359 \cdot m_{\text{lenha}} \end{aligned} \quad \text{Eq. 10}$$

Agora, o fator de emissão de CO₂ da lenha consumida na carvoaria ($\varepsilon_{\text{lenha} / \text{carv}}^{\text{CO}_2}$) pode ser definido como:

$$\varepsilon_{\text{lenha} / \text{carv}}^{\text{CO}_2} = \frac{\omega_{\text{Carvoaria}}^{\text{CO}_2}}{\text{Energia}_{\text{Carvoaria}}} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde

$\omega_{\text{Carvoaria}}^{\text{CO}_2}$ = emissões devidas ao consumo da lenha na carvoaria (tC)

$\text{Energia}_{\text{Carvoaria}}$ = energia correspondente ao consumo de lenha na carvoaria (TJ).

Finalmente

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{lenha} / \text{carv}}^{\text{CO}_2} &= \left(\frac{0,16359 \cdot m_{\text{lenha}}}{m_{\text{lenha}} \cdot 0,306 \cdot 45,21744 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} \right) = \\ \varepsilon_{\text{lenha} / \text{carv}}^{\text{CO}_2} &= 12,45 \text{ tC} / \text{TJ} \end{aligned} \quad \text{Eq. 12}$$

onde o valor de 0,306 é o fator de conversão de toneladas de Lenha para tep (BEN, pág. 121), o valor 45,21744x10⁻³ é o fator de conversão de tep para TJ e o fator 0,95 corresponde à correção do PCS para PCI, para combustíveis sólidos.

1.5 Determinação do carbono estocado (Passo 4)

Nem todo combustível consumido destina-se ao uso energético. Parte dele vai para o consumo não energético, ou seja, o combustível não é consumido na geração de energia mas como matéria-prima, como lubrificante ou outros usos. É o caso da Nafta para a fabricação de plásticos, do Gás Natural para a indústria química, etc. Na metodologia do IPCC, esse carbono é denominado “estocado” (*stored carbon*), e deve ser subtraído do carbono contido no consumo final dos combustíveis, em cada setor. Trata-se de determinar o CS_{bi} da Eq. 2. Como, no BEN, os combustíveis consumidos para fins não energéticos estão todos reunidos na categoria de consumo não energético, é necessário identificar-se a quantidade de carbono do consumo não energético que não será emitido. Sendo assim, a determinação de CS_{bi} fica reduzida à determinação de CS_b . O carbono estocado CS_b é calculado segundo a equação abaixo:

$$CS_b = C_b^{\tilde{n}E} * FC_b * \varepsilon_b^{CO_2} * 10^{-3} * \varphi_b \quad \text{Eq. 13}$$

Onde,

CS_b = carbono estocado no combustível b (Gg C);

$C_b^{\tilde{n}E}$ = quantidade de combustível para uso não energético (tep);

FC_b = fator de conversão de tep para TJ (TJ/tep);

$\varepsilon_b^{CO_2}$ = fator de emissão de carbono (tC/TJ);

φ_b = fração de carbono estocada para o combustível b .

O cálculo do carbono estocado requer, portanto, a determinação das quantidades de combustíveis destinadas ao uso não energético e das frações destas quantidades que efetivamente se mantêm fixadas aos bens produzidos (*fraction of carbon stored*). É o que será visto a seguir.

1.5.1 Quantidades de combustíveis para uso não energético

Os combustíveis que apresentam Consumo Não Energético são: Gás Natural, Nafta, Querosene Iluminante, Álcool Etílico, Gás de Refinaria, Asfalto, Lubrificantes, Outros Produtos Não Energéticos do Petróleo e Alcatrão. Do Gás Natural, assume-se que todo o consumo não energético venha do gás natural seco. Dos outros combustíveis, há informações no SIBE ou diretamente no BEN, como no caso da Nafta e do Alcatrão.

1.5.2 Fração de carbono estocada

Para os combustíveis com uso não energético no Brasil, que têm recomendação do IPCC quanto à fração de carbono estocada, foram utilizados os valores sugeridos.

Para os que não têm recomendação do IPCC, Querosene Iluminante, Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo e o Álcool Etílico, foi utilizado o valor unitário, o que significa dizer que foi estocada a totalidade desses combustíveis de uso não energético.

Os valores utilizados para a fração de combustível estocada são resumidos na tabela seguinte:

Tabela 5 – Frações de carbono estocado – (φ_b) – Brasil

Combustível de uso não energético	Fração C estocada
Querosene Iluminante	1
Nafta	0,8
Lubrificantes	0,5
Gás de Refinaria	1
Alcatrão	0,75
Gás Natural	0,33
Asfalto	1
Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	1
Álcool Etílico	1

1.5.3 Planilha auxiliar para cálculo do carbono estocado

A quantidade de carbono estocado por combustível (CS_b) é calculada na planilha auxiliar, conforme a Eq. 13, e relatada na planilha principal. Para o nível de agregação solicitado pelo IPCC na abordagem *bottom-up*, o carbono estocado é contabilizado no Setor Industrial. Para o nível de agregação compatível com o BEN, o carbono estocado é contabilizado no setor não energético.

Para o cálculo do carbono estocado na planilha auxiliar, são utilizadas as frações de carbono estocado conforme o item anterior. Essas frações referem-se somente ao Consumo Não Energético. Na planilha principal, há uma coluna para relatar uma fração de carbono estocado. Não se trata da mesma fração da planilha auxiliar. Nesta, a fração φ_b refere-se ao Consumo Não Energético e, na principal, a fração φ_b^* refere-se ao consumo total (energético mais não energético). A fração de carbono estocado da planilha auxiliar é a que foi anteriormente referenciada no Item 1.5.2, enquanto que a fração de carbono estocado da planilha principal é deduzida como descrito a seguir:

$$\varphi_b^* = \frac{CS_b}{C_{\text{conteúdo}}} = \frac{C_b^{\text{ñE}} * FC_b * \varepsilon_b^{\text{CO}_2} * 10^{-3} * \varphi_b}{C_b * FC_b * \varepsilon_b^{\text{CO}_2} * 10^{-3}} = \frac{C_b^{\text{ñE}}}{C_b} * \varphi_b \quad \text{Eq. 14}$$

Assim, a fração de carbono estocada na planilha principal não é um valor fixo, mas depende do percentual do combustível b que tem uso não energético, variando de ano para ano, portanto.

1.6 Correção dos valores para considerar a combustão incompleta (Passo 5)

A diferença entre o carbono contido no combustível consumido e aquele estocado em produtos não energéticos representa o carbono disponível para ser emitido na combustão. Porém, nem todo esse carbono será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono, que se incorpora às cinzas ou a outros subprodutos.

Na metodologia do IPCC, esse fato é levado em consideração no cálculo das emissões reais, multiplicando-se o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão.

A Tabela 6 apresenta os valores adotados neste trabalho para a fração de carbono oxidada na combustão.

Foram utilizados os valores recomendados pelo IPCC: 0,98 para carvões, 0,99 para o petróleo e seus derivados e 0,995 para o Gás Natural. Esses são os combustíveis que, na tabela, estão marcados com a letra (a).

Para os demais combustíveis fósseis, foram arbitrados os seguintes valores: 0,99 para os combustíveis líquidos, 0,98 para os combustíveis sólidos e 0,995 para os combustíveis gasosos. Esses combustíveis estão marcados com a letra (b).

Na versão de 1995, o *Workbook* do IPCC apresenta a Tabela I-5 com valores para a fração oxidada de biomassa (IPCC, 1995, v.2, pág.1.12). Os valores da Lenha (0,87), dos Resíduos Vegetais (0,88) e do Carvão Vegetal (0,88) foram utilizados nos cálculos de suas emissões de CO₂. Foi utilizado o mesmo fator dos Resíduos Vegetais (0,88) para o Bagaço e o mesmo dos combustíveis líquidos (0,99) para a biomassa líquida (Lixívia e Álcool Etílico). Esses combustíveis estão marcados com a letra (c).

No caso da lenha destinada ao carvoejamento, o processo de transformação produz uma série de subprodutos e rejeitos. O IPCC apenas indica os gases não CO₂ emitidos na

produção do carvão vegetal, sem se referir a subprodutos condensáveis. Como será visto no item 2.2.6 deste trabalho, nessa fase de produção são emitidos 2000 kg CO e 300 kg CH₄ por TJ de lenha. Assim:

$$\varepsilon_{lenha / carv}^{C-nãoCO_2} = \varepsilon_{lenha / carv}^{C-CO} + \varepsilon_{lenha / carv}^{C-CH_4} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde

$\varepsilon_{lenha / carv}^{C-nãoCO_2}$ = Emissões de carbono que não CO₂, devidas apenas às emissões de CO e CH₄ (tC/TJ).

Mas

$$\varepsilon_{lenha / carv}^{C-CO} = 2000 \cdot \frac{12}{28} \cdot 10^{-3} \quad \text{Eq. 16}$$

$$\varepsilon_{lenha / carv}^{C-CH_4} = 300 \cdot \frac{12}{16} \cdot 10^{-3} \quad \text{Eq. 17}$$

Então

$$\begin{aligned} \varepsilon_{lenha / carv}^{C-nãoCO_2} &= 0,86 + 0,22 \\ \varepsilon_{lenha / carv}^{C-nãoCO_2} &= 1,1 \end{aligned} \quad \text{Eq. 18}$$

A fração de oxidação será:

$$\text{fração de oxidação}_{lenha/carv} = \frac{12,45 - 1,1}{12,45} = 0,91 \quad \text{Eq. 19}$$

Essa fração de oxidação, calculada no âmbito deste trabalho, está marcada com a letra (d).

Tabela 6 – Frações de carbono oxidado empregadas

Combustível	Fração Oxidação
Gasolina (a)	0,99
Querosene de Aviação (a)	0,99
Querosene Iluminante (a)	0,99
Óleo Diesel (a)	0,99
Óleo Combustível (a)	0,99
GLP (a)	0,99
Nafta (a)	0,99
Lubrificantes (a)	0,99
Coque de Petróleo (a)	0,98
Gás de Refinaria (b)	0,995
Carvão Vapor (a)	0,98
Carvão Metalúrgico (a)	0,98
Alcatrão (a)	0,98
Coque de Carvão Mineral (b)	0,98
Gás de Coqueria (b)	0,995
Gás Canalizado (b)	0,995
Gás Natural (a)	0,995
Asfalto (b)	0,98
Outras Secundárias Petróleo (a)	0,99
Outros Não Energéticos de Petróleo (a)	0,99
Outras Primárias Fósseis (b)	0,98
Lenha para Queima Direta (c)	0,87
Lenha para Carvoejamento (d)	0,91
Carvão Vegetal (c)	0,88
Resíduos Vegetais (c)	0,88
Bagaço (c)	0,88
Álcool Etílico (c)	0,99
Lixívia (c)	0,99

1.7 Conversão do carbono oxidado em emissões de CO₂ (Passo 6)

Os cálculos até aqui descritos permitem calcular as emissões em termos da quantidade de carbono liberada na queima do combustível. A sua conversão para emissões de CO₂ é facilmente obtida, multiplicando-se as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do carbono, isto é 44/12.

2. Emissões de gases não-CO₂ – Abordagem *bottom-up* – Parte II

No IPCC, estão relacionados dois métodos (o simplificado e o detalhado) para o cálculo das emissões de gases não-CO₂, a saber, CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), NO_x (óxidos de nitrogênio), CO (monóxido de carbono) e NMVOC (compostos orgânicos voláteis não metânicos).

As emissões dos gases não-CO₂ não dependem somente do tipo de combustível utilizado, mas também da tecnologia de combustão, das condições de operação, das condições de manutenção do equipamento, da sua idade, etc. Sendo assim, o cálculo das emissões de gases não-CO₂ exige dados muito mais desagregados e metodologia detalhada. No entanto, como essas informações nem sempre existem, foi desenvolvido um método simplificado para avaliar tais emissões, a partir somente de informações sobre consumo de energia, por setor. Essa metodologia simplificada foi utilizada somente no caso do Setor de Transportes e será descrita no tópico correspondente ao setor. Para os outros setores, foi utilizado o método detalhado para cálculo das emissões de gases não-CO₂.

Não foi realizado o cálculo das emissões de gases não-CO₂ relativas ao consumo de combustíveis para fins não energéticos.

As emissões totais de cada gás não-CO₂, pelas fontes estacionárias do setor energético, podem ser estimadas como:

$$\Omega^{n-CO_2} = \sum_i \omega_i^{n-CO_2} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde

Ω^{n-CO_2} = emissões anuais totais de gases não-CO₂ do setor energético (kg);

$\omega_i^{n-CO_2}$ = emissões anuais de gases não-CO₂ do setor ou subsetor *i*.

As emissões de gases não-CO₂ de cada setor ou subsetor dependem, como foi afirmado, do tipo de combustível consumido, dos equipamentos de uso final, das condições de utilização, enfim, de uma série de fatores. Tecnologias diferentes, consumindo a mesma quantidade de um mesmo tipo de combustível para satisfazer o mesmo uso final, podem produzir diferentes emissões de gases não-CO₂. Desse modo, as emissões variam de acordo com as especificações dos equipamentos de consumo, que vão desde parâmetros técnicos, como, por exemplo, a taxa de admissão de ar na combustão de uma caldeira, o desenho da câmara de combustão, o tipo de queimador, até variáveis como a idade do equipamento, a sua manutenção e operação.

Com base nessas considerações, as emissões de cada gás não-CO₂ podem ser expressas como:

$$\omega_i^{n-CO_2} = \sum_b \sum_j \varepsilon_{bij}^{n-CO_2} * C_{bij} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde

C_{bij} = consumo anual real do combustível do tipo b utilizado pelo setor ou atividade i , para a destinação ou uso final j (TJ);

$\varepsilon_{bij}^{n-CO_2}$ = fator de emissão do gás não-CO₂, por unidade de energia contida no combustível do tipo b , utilizado pelo setor ou atividade i , para a destinação ou uso final j (t/TJ).

Pode-se determinar o consumo de um dado combustível b , consumido pelo setor i , para atender a destinação ou no uso final j , como

$$C_{bij} = C_{bi} * f_{bij} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde

C_{bi} = consumo do combustível b no setor i ;

f_{bij} = coeficiente de destinação de uso final do combustível do tipo b , utilizado no setor ou atividade i , para a destinação ou uso final j .

Assim, pode-se reescrever a equação 21 como

$$\omega_i^{n-CO_2} = \sum_b \sum_j \varepsilon_{bij}^{n-CO_2} * C_{bi} * f_{bij} \quad \text{Eq. 18}$$

Definindo-se

$$\omega_{bij}^{n-CO_2} = \varepsilon_{bij}^{n-CO_2} * C_{bi} * f_{bij} \quad \text{Eq. 19}$$

pode-se associar o termo $\omega_{bij}^{n-CO_2}$ às emissões de gases não-CO₂, derivadas do consumo do combustível b , para atender a destinação ou uso final j no setor ou atividade i .

A Eq. 19 pode ser reescrita de uma forma ainda mais detalhada, para que as tecnologias de consumo também sejam consideradas:

$$\omega_i^{n-CO_2} = \sum_b \sum_j \sum_k \varepsilon_{bijk}^{n-CO_2} * C_{bi} * f_{bij} * g_{ijk} \quad \text{Eq. 20}$$

Onde

$\varepsilon_{bijk}^{n-CO_2}$ = fator de emissão do gás não- CO_2 , por unidade de energia contida no combustível do tipo b , utilizado pelo setor ou atividade i , para a destinação ou uso final j , através da tecnologia k (t/TJ);

g_{ijk} = coeficiente de destinação de tecnologia, que representa a fração, no setor i , para destinação ou uso final j , que é atendida pela tecnologia k .

Definido-se

$$\omega_{bijk}^{n-CO_2} = \varepsilon_{bijk}^{n-CO_2} * C_{bi} * f_{bij} * g_{jk} \quad \text{Eq. 21}$$

pode-se associar o termo $\omega_{bijk}^{n-CO_2}$ às emissões de gases não- CO_2 , derivadas do consumo do combustível b , no setor ou atividade i , para a destinação ou uso final j , através da tecnologia k .

O emprego da metodologia *bottom-up* do IPCC para o cálculo das emissões de gases não- CO_2 , portanto, abrange os seguintes passos:

1. Determinação do consumo real dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais;
2. Determinação da destinação ou uso final dos combustíveis em cada setor (ou subsetor) analisado;
3. Determinação da tecnologia empregada no atendimento de cada destinação ou uso final de cada setor (ou subsetor);
4. Conversão do consumo real por destinação e por tecnologia para uma unidade de energia comum (TJ);
5. Multiplicação pelo fator de emissão específico para o gás não- CO_2 emitido pelo combustível, quando consumido na tecnologia empregada, no atendimento à destinação específica.

As emissões totais do país são dadas pelo somatório das emissões de cada subsetor (ou setor).

2.1 Determinação do consumo

2.1.1 Coeficientes de destinação de uso final

Para a determinação dos coeficientes de destinação de uso final dos energéticos em cada setor (ou subsetor), utilizou-se o Balanço de Energia Útil (BEU, 1995), assumindo-se que

os coeficientes de destinação ali expressos, baseados em dados de consumo do ano de 1993, sejam aplicáveis para os anos aqui inventariados. Assume-se, ainda, que os coeficientes sejam válidos para todo o período do inventário, o que equivale a afirmar que não houve mudança estrutural na destinação dos energéticos para os anos inventariados. É provável que isso não corresponda à realidade.

As destinações listadas no BEU são: Força Motriz (FM), Calor de Processo (CP), Aquecimento Direto (AD), Iluminação (I), Eletroquímica (E) e Outros (O).

A planilha com as destinações dos combustíveis por setor encontra-se no Apêndice. A maior parte delas foi obtida diretamente do BEU, com o mesmo nível de agregação setorial deste relatório, ou seja, com o nível de agregação do BEN. As exceções foram feitas para os seguintes ramos da indústria:

- Setor de Mineração e Pelotização: Como, no BEU, o setor de mineração está separado do setor de Pelotização, é preciso agregá-los para se calcular os coeficientes de destinação dos combustíveis utilizados no setor, como uma média ponderada.

$$CD_{b,d}^{MIN+PEL} = \frac{CF_b^{MIN} * CD_{b,d}^{MIN} + CF_b^{PEL} * CD_{b,d}^{PEL}}{CF_b^{MIN} + CF_b^{PEL}} \quad \text{Eq. 22}$$

Onde

$CD_{b,d}^{MIN+PEL}$ = coeficiente de destinação do combustível b na destinação d do setor de mineração e pelotização;

$CD_{b,d}^{MIN}$ = coeficiente de destinação do combustível b na destinação d do setor de mineração;

CF_b^{MIN} = consumo final (1000 tep) do combustível b no setor de mineração.

Sendo, $CD_{b,d}^{PEL}$ e CF_b^{PEL} os análogos para o setor de pelotização.⁵

- Setor de Não-Ferrosos e Outros da Metalurgia: como o BEU distingue a indústria de metais não-ferrosos da indústria de alumínio, é preciso agregá-las para calcular os coeficientes de destinação dos combustíveis utilizados no setor,

⁵ Para o Carvão Vapor, nos anos de 1992 e 1991, e para o Coque de Petróleo, no ano de 1994, foram calculadas as distribuições por destinação segundo uma média ponderada, utilizando-se o peso relativo de cada um dos subsetores em 1993, por ausência de consumo dos combustíveis em questão no ano de referência.

como foi feito no item anterior.

- Setor de Alimentos e Bebidas: Como o BEU distingue a indústria de alimentos e bebidas da indústria de açúcar, é preciso agregá-las para calcular os coeficientes de destinação dos combustíveis utilizados no setor, como foi feito nos itens anteriores.
- Finalmente, os coeficientes de destinação da fonte “Outras Secundárias de Petróleo” foram utilizados para o Gás de Refinaria, o Coque de Petróleo e os Outros Produtos Secundários de Petróleo. Do mesmo modo, os coeficientes das destinações da fonte “Outras Fontes Primárias” foram utilizados para a Lixívia, os Resíduos Vegetais e Outras Primárias Fósseis; os do “Gás”, para o Gás de Coqueria e o Gás Canalizado; e os dos “Produtos da Cana”, para o Bagaço.

2.1.2 Coeficientes de destinação de tecnologia

A determinação das emissões de gases não-CO₂ das tecnologias de consumo, por setor inventariado, divide-se em duas partes:

- Identificação do tipo de tecnologia empregado na destinação do setor:
 - na destinação Calor de Processo, pode tratar-se de caldeiras ou aquecedores e
 - na destinação Aquecimento Direto, de fornos ou secadores.
- Identificação do equipamento a partir do qual se obtém o fator de emissão da tecnologia: por exemplo, caldeira de médio porte ou caldeira de grande porte; motor a diesel com potência acima de 600hp, etc.

Para a determinação das tecnologias empregadas em cada uso final e em cada setor, utilizou-se como referência básica o Balanço de Energia Útil (BEU, 1995). O BEU, além de contemplar as destinações dos energéticos nos setores, contém os resultados de uma pesquisa de campo aplicada aos setores de consumo de energia, visando a determinação da tecnologia utilizada nesses setores.

Com relação aos equipamentos a partir dos quais foram obtidos os fatores de emissão, procurou-se adaptar as tecnologias de combustão discriminadas no IPCC ao setor energético brasileiro. A lista de equipamentos, por setores de consumo final e transformação de energia, inclui caldeiras a óleo combustível, a carvão, a lenha, a gás natural e a bagaço, alto-fornos a coque e a carvão vegetal, fornos a óleo, a carvão e a gás natural, etc. Como não existem informações para muitos desses equipamentos e tecnologias utilizados, algumas adaptações foram feitas.

2.2 Fatores de emissão das tecnologias

Os fatores de emissão adotados são fatores médios aproximados. Para o estabelecimento de fatores de emissão mais precisos para os gases não-CO₂, deveriam ser consideradas outras variáveis, como a diferenciação da tecnologia de consumo do combustível e as condições de operação e de manutenção dos equipamentos de uso final e de controle. Como dados nesse nível de detalhamento não são produzidos no país, só foi possível empregar valores médios propostos pelo IPCC para os fatores de emissão dos gases não-CO₂.

Os fatores de emissão utilizados no cálculo das emissões de gases de efeito estufa encontram-se nos relatórios *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual* (IPCC, 1995) e *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual* (IPCC, 1997). O segundo relatório foi adotado, preferencialmente, como referência para os fatores de emissão, sendo o primeiro utilizado de forma complementar para os fatores de emissão inexistentes na versão revisada. Persistindo a inexistência de fatores de emissão adequados nas duas versões, utilizaram-se os fatores *default* da abordagem simplificada (*TIER 1*) do IPCC (1997). Algumas adaptações, no entanto, mostraram-se necessárias diante das particularidades dos setores e dos combustíveis.

Serão apresentados, a seguir, os fatores de emissão utilizados no cálculo das emissões para cada setor de atividade: Setor Energético (sem termelétricas e carvoarias), Setor Comercial e Público, Setor Residencial, Setor Agropecuário, geração termelétrica, carvoarias e Setor Industrial.

Para cada setor, existe uma tabela com os fatores de emissão segundo a destinação (com a correspondente tecnologia predominante): Força Motriz, Calor de Processo, Aquecimento Direto e Iluminação.

As tabelas estruturam-se em seis colunas:

- Na coluna “Comb.”, encontram-se os combustíveis para os quais existe consumo na destinação específica do setor. Os combustíveis que aparecem agrupados são aqueles a que foram atribuídos os mesmos fatores de emissão.
- Na coluna “Gás”, estão listados os cinco gases não-CO₂ inventariados.
- Na coluna “FE kg/TJ”, estão os fatores de emissão. Os valores, quando simplesmente apresentados, foram tirados da abordagem detalhada da versão revisada do IPCC 1996;

quando em fundo azul, da abordagem detalhada do IPCC 1995; quando em fundo cinza, da abordagem simplificada do IPCC 1996; e quando grafados em azul, são fatores de emissão calculados a partir dos dados obtidos na CETESB (1994).

- Na coluna “Pág.”, estão os números das páginas do relatório *Reference Manual* do IPCC (1996 ou 1995) onde se encontram os fatores de emissão.
- Na coluna “Setor/Combustível”, encontram-se a classificação do setor da economia e a classificação geral do combustível utilizado na abordagem simplificada.
- Na coluna “Tabela IPCC/Equipamento”, estão relacionados a tabela do IPCC utilizada e o nome do equipamento dos quais foram obtidos os valores dos fatores de emissão na abordagem detalhada.

Abaixo das tabelas, quando necessário, foram adicionados comentários para esclarecer alguns critérios de escolha de determinados fatores de emissão.

2.2.1 Setor Energético⁶

- Força Motriz

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel	CO	350	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance/ Large Diesel Fuel Engines > 600hp</i>
	CH ₄	4,0			
	NO _x	1.300			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Energy Industries/ Oil</i>	
	NMVOC	5	1.42		
GLP Gás Ref.	CO	350	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance/ Large Diesel Fuel Engines > 600hp</i>
	CH ₄	4,0			
	NO _x	1.300			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Energy Industries/ Natural Gas</i>	
	NMVOC	5	1.42		
Coq. Pet. Out. P. Sec.	CO	15	1.40	<i>Energy Industries/ Oil</i>	
	CH ₄	3	1.35		
	NO _x	200	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NMVOC	5	1.42		

Para os motores a combustível líquido ou gasoso, foram utilizados, quando possível, os fatores de emissão do *Large Diesel Fuel Engines > 600hp*. Para os gases onde os fatores de emissão não estão definidos, usou-se a abordagem simplificada. Nesta, os combustíveis são classificados segundo o seu estado físico. Os combustíveis líquidos utilizam os fatores de emissão do *Oil* e os gasosos do *Natural Gas*. Para o GLP, foram utilizados os fatores de emissão do *Natural Gas*, porque, apesar de líquido, é queimado já no estado gasoso.

O pequeno consumo final energético de Nafta para o ano de 1994 foi considerado consumo não energético, já que não há informação alguma que permita determinar a destinação no setor.

⁶ O Setor Energético é o mesmo do BEN, ou seja, não inclui a geração termelétrica nem as carvoarias, que serão tratadas nos itens específicos.

• Calor de Processo (100% de caldeiras):

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Nat.	CO	18	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance/ Natural Gas – Boiler</i>
Gás Coq.	CH ₄	0,1			
Gás Ref.	NO _x	250			
Gás Can.	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Energy Industries/ Natural Gas</i>	
GLP	NM VOC	5	1.42		
Óleo Diesel Queros.	CO	16	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance/ Distillate Fuel Oil – Normal Firing</i>
	CH ₄	0,9			
	NO _x	220			
	N ₂ O	0,4	1.42	<i>Energy Industries/ Oil</i>	
	NM VOC	5			
Óleo Comb	CO	15	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance/ Residual Fuel Oil – Normal Firing</i>
	CH ₄	0,9			
	NO _x	200			
	N ₂ O	0,3	1.42	<i>Energy Industries/ Oil</i>	
	NM VOC	5			
Coq.Pet. Out Sec Pet	CO	15	1.40	<i>Energy Industries/ Oil</i>	
	CH ₄	3	1.35		
	NO _x	200	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NM VOC	5	1.42		
Bagaço	CO	1.706	1.39		<i>Industrial Boiler Performance/ Bagasse/Ag. Waste Boilers</i>
	CH ₄	30	1.35	<i>Energy Industries/ Other Biomass</i>	
	NO _x	68	1.54		<i>Industrial Boiler Performance/ Bagasse/Ag. Waste Boilers</i>
	N ₂ O	4	1.36	<i>Energy Industries/ Other Biomass</i>	
	NM VOC	50	1.42		

Para o Gás de Coqueria, o Gás de Refinaria, o Gás Canalizado e o GLP, foram utilizados os mesmos fatores de emissão do Gás Natural, pelo estado físico gasoso na hora da queima.

Para o Coque de Petróleo e Outros Secundários de Petróleo, optou-se pela abordagem simplificada.

• Aquecimento Direto (100% fornos)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural	CO	83	1.55		<i>Kilns, Ovens and Dryers Source Perf/</i> Kilns – Natural Gas
GLP	CH ₄	1,1			
Gás Canalizado	NO _x	1.111			
Gás Coqueria	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Energy Industries/</i> Natural Gas	
Gás Refinaria	NMVOC	5	1.42		
Óleo Diesel	CO	79	1.55		<i>Kilns, Ovens and Dryers Source Perf/</i> Kilns – Oil
Óleo Comb.	CH ₄	1,0			
Querosene Ilum.	NO _x	527			
Out. P. Sec.	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Energy Industries/</i> Oil	
Coq. Petróleo	NMVOC	5	1.42		
Bagaço	CO	1.000	1.40	<i>Energy Industries/</i> Other Biomass	
	CH ₄	30	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NMVOC	50	1.42		

Na falta de outras informações, foram utilizados os mesmos fatores de emissão do Setor Industrial, para o equipamento “forno”, considerando-se que os portes dos equipamentos nos dois setores, energético e industrial, são equivalentes.

• Iluminação

O Setor Energético apresenta um pequeno consumo de Gás de Refinaria na destinação Iluminação. Como não existe fator de emissão mais apropriado, foram utilizados os fatores de emissão da abordagem simplificada.

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Refinaria	CO	20	1.40	<i>Energy Industries/</i> Natural Gas	
	CH ₄	1	1.35		
	NO _x	150	1.38		
	N ₂ O	0,1	1.36		
	NMVOC	5	1.42		
Out. P. Sec. Coq. Pet.	CO	15	1.40	<i>Energy Industries/</i> Oil	
	CH ₄	3	1.35		
	NO _x	200	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NMVOC	5	1.42		

A seguir, a tabela síntese dos fatores de emissão do Setor Energético.

Tabela 7 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ no Setor Energético

MOTORES (FORÇA MOTRIZ)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Óleo Diesel	350	4,0	1.300	0,6	5
GLP, Gás de Refinaria	350	4,0	1.300	0,1	5
Coque de Petróleo, Outros Produtos Secundários de Petróleo	15	3	200	0,6	5
CALDEIRAS (CALOR DE PROCESSO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Gás nat., Gás de Coqueria, Gás Refinaria, Gás Canaliz., GLP	18	0,1	250	0,1	5
Óleo Diesel, Querosene Iluminante	16	0,9	220	0,4	5
Óleo Combustível	15	0,9	200	0,3	5
Coque de Petróleo, Outros Produtos Secundários de Petróleo	15	3	200	0,6	5
Bagaço	1.706	30	68	4	50
FORNOS (AQUECIMENTO DIRETO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Gás nat., Gás de Coqueria, Gás Refinaria, Gás Canaliz., GLP	83	1,1	1111	0,1	5
Óleo Diesel, Querosene Iluminante, Óleo Comb., Outros P. Sec. Petróleo, Coq. Pet.	79	1,0	527	0,6	5
Bagaço	1.000	30	100	4	50
ILUMINAÇÃO	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Gás de Refinaria	20	1	150	0,1	5
Outros Produtos Secundários de Petróleo, Coque de Petróleo	15	3	200	0,6	5

2.2.2 Setores Comercial e Público

O Setor Público abrange as entidades do poder público e os serviços de utilidade pública. O poder público é composto pelas Forças Armadas, por escolas e hospitais da rede oficial e por órgãos da administração direta e autárquica federal, estadual e municipal. Os serviços de utilidade pública têm como destaque: o tratamento e a distribuição de água, o tratamento de esgotos, o saneamento e a limpeza urbana e a iluminação pública.

O Setor Comercial, por sua vez, tem um alto grau de heterogeneidade em relação às suas atividades, sendo constituído pelas atividades de comércio – varejista, atacadista, administração de imóveis, etc. – pelos serviços de comunicações e telecomunicações, de transportes (embarque), de alojamento e alimentação, de reparo, manutenção e conservação, pelos serviços pessoais (clínico-hospitalares, ensino, higiene, etc.), pelos serviços comerciais, pelos serviços de diversões, pelos escritórios centrais e regionais de gerência e administração, pelas entidades financeiras, pelas cooperativas, associações / entidades / fundações sem fins lucrativos e por outras atividades não específicas ou não classificadas. No Setor Comercial, verifica-se grande diversidade quanto à escala dos empreendimentos e

quanto ao nível de sofisticação das atividades.

Tanto a primeira versão do relatório do IPCC (1995), quanto a versão revisada (IPCC, 1997), não fornecem valores de emissão para os equipamentos utilizados no Serviço Público. No entanto, como parcela significativa das atividades deste setor se assemelha às atividades do Setor Comercial, foram considerados para ambos os fatores de emissão deste último. Ainda assim, algumas adaptações se mostraram necessárias para a aplicação dos fatores de emissão sugeridos no IPCC (1997):

- Força Motriz

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel	CO	0,4	1.54		<i>Industrial Boiler Performance/ Small Stationary Internal Comb. Boiler Diesel < 600hp</i>
	CH ₄	10	1.35	<i>Commercial/Institut. Oil</i>	
	NO _x	1,9	1.54		<i>Industrial Boiler Performance/ Small Stationary Internal Comb. Boiler Diesel < 600hp</i>
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Commercial/Institut. Oil</i>	
	NM VOC	5	1.42		

Na falta de informações sobre motores para o Setor Comercial, foram utilizados os fatores de emissão para motores de pequeno porte do Setor Industrial.

• Calor de Processo (100% caldeiras)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural Gás Canaliz.	CO	9,4	1.57		Commercial Source Performance/ Natural Gas – Boilers
	CH ₄	1,2			
	NO _x	45			
	N ₂ O	2,3			
	NM VOC	5	1.42	Commercial/Institut. Natural Gas	
GLP	CO	12	1.57		Commercial Source Performance/ Oil – LPG Boilers – Butane
	CH ₄	5	1.35	Commercial/Institut. Natural Gas	
	NO _x	70	1.57		Commercial Source Performance/ Oil – LPG Boilers – Butane
	N ₂ O	0,1	1.36	Commercial/Institut. Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Óleo Diesel	CO	16	1.57		Commercial Source Performance/ Oil – Distillate Fuel Oil
	CH ₄	0,7			
	NO _x	65			
	N ₂ O	0,4			
	NM VOC	5	1.42	Commercial/Institut. Oil	
Óleo Comb.	CO	15	1.57		Commercial Source Performance/ Oil – Residual Fuel Oil
	CH ₄	1,4			
	NO _x	170			
	N ₂ O	0,3			
	NM VOC	5	1.42	Commercial/Institut. Oil	
Coque Petról. Out. P. Sec. Pet.	CO	20	1.40	Commercial/Institut. Oil	
	CH ₄	10	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NM VOC	5	1.42		
Lenha	CO	199	1.41		Commercial Source Performance/ Wood Boilers
	CH ₄	15			
	NO _x	33			
	N ₂ O	4,3			
	NM VOC	600	1.42	Commercial/Institut. Wood/Wood Waste	

O equipamento típico considerado para esta destinação foi a caldeira de médio porte.

O fator de emissão adotado para o Gás Canalizado é o mesmo do Gás Natural.

Assume-se que grande parte do GLP seja butano.

Para o Coque de Petróleo e Outros Produtos Secundários de Petróleo, foram utilizados os fatores de emissão da abordagem simplificada.

Para a Lenha, foram utilizados os fatores de emissão dos *Wood Boilers* já que a versão revisada só traz fatores de emissão de Lenha para *Incineration*, que não se adequa às características das caldeiras a lenha do Setor Comercial.

• Aquecimento Direto (100% fornos)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural	CO	83	1.55		<i>Kilns, Ovens and Dryers Source Perf/</i> Kilns – Natural Gas
	CH ₄	1,1			
	NO _x	1.111			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Commercial/Institut.</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
GLP	CO	10	1.56		<i>Residential Source Performance</i> Propane/Butane Furnaces
	CH ₄	1,1			
	NO _x	47			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Commercial/Institut.</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Gás Canaliz.	CO	18	1.56		<i>Residential Source Performance</i> Natural Gas – Furnaces
	CH ₄	5	1.35	<i>Commercial/Institut.</i> Natural Gas	
	NO _x	43	1.56		<i>Residential Source Performance</i> Natural Gas – Furnaces
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Commercial/Institut.</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Óleo Diesel Óleo Comb. Out. P. Sec. Pet. Coque Petról.	CO	79	1.55		<i>Kilns, Ovens and Dryers Source Perf/</i> Kilns – Oil
	CH ₄	1,0			
	NO _x	527			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Commercial/Institut.</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		
Carvão Veget.	CO	7.000	1.40	<i>Commercial/Institut.</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	1	1.36		
	NM VOC	100	1.42		
Lenha	CO	440	1.57		<i>Commercial Source Performance</i> Wood – Incineration high effic.
	CH ₄	300	1.35	<i>Commercial/Institut.</i> Wood/Wood Waste	
	NO _x	130	1.57		<i>Commercial Source Performance</i> Wood – Incineration high effic.
	N ₂ O	4	1.36	<i>Commercial/Institut.</i> Wood/Wood Waste	
	NM VOC	600	1.42		

Na falta de outras informações e diante da constatação de que grande parcela dos equipamentos são fornos, foram considerados os fatores de emissão do Setor Industrial para as fontes Óleo Combustível, Óleo Diesel e Carvão Vegetal, e os fatores de emissão do Setor Residencial para as fontes GLP e Gás Canalizado, dado o uso desses combustíveis em fogões, à semelhança do que ocorre nesse setor.

- Iluminação

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Querosene Ilum.	CO	20	1.40	Commercial/Institut. Oil	
	CH ₄	10	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NMVOC	5	1.42		

Os setores Comercial e Público apresentam um pequeno consumo de Querosene Iluminante na destinação Iluminação. Como não existem fatores de emissão mais apropriados, foram utilizados os fatores de emissão da abordagem simplificada.

A tabela a seguir sintetiza os fatores de emissão do Setor Comercial/Público.

Tabela 8 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ nos Setores Comercial e Público

MOTORES (FORÇA MOTRIZ)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Óleo Diesel		0,4	10	1,9	0,6	5
CALDEIRAS E AQUECEDORES (CALOR DE PROCESSO)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural, Gás Canalizado		9,4	1,2	45	2,3	5
GLP		12	5	70	0,1	5
Óleo Diesel		16	0,7	65	0,4	5
Óleo Combustível		15	1,4	170	0,3	5
Coque de Petróleo, Outros Produtos Secundários de Petróleo		20	10	100	0,6	5
Lenha		199	15	33	4,3	600
FORNOS (AQUECIMENTO DIRETO)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural		83	1,1	1111	0,1	5
GLP		10	1,1	47	0,1	5
Gás Canalizado		18	5	43	0,1	5
Diesel, Óleo Combustível, Outros P. Sec. Petr., Coque Pet.		79	1,0	527	0,6	5
Lenha		440	300	130	4	600
Carvão Vegetal		7.000	200	100	1	100
ILUMINAÇÃO		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Querosene Iluminante		20	10	100	0,6	5

2.2.3 Setor Residencial

O consumo de combustíveis fósseis no Setor Residencial destina-se essencialmente a três usos finais: a cocção de alimentos (Aquecimento Direto), o aquecimento de água (Calor de Processo) e a Iluminação.

- Calor de Processo (aquecedores d'água) (**100% aquecimento**)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural GLP Gás Canaliz.	CO	10	1.56		<i>Residential Source Performance/ Gas Natural – Gas Heaters</i>
	CH ₄	1			
	NO _x	47			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Residential</i>	
	NM VOC	5	1.42	Natural Gas	

Os fatores de emissão do *Natural Gas – Gas Heaters* (IPCC, 1997, pág. 1.56) são aplicáveis ao GLP, ao Gás Natural e ao Gás Canalizado.

- Aquecimento Direto (cocção de alimentos) (**100% fornos**)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural Gás Canaliz.	CO	18	1.56		<i>Residential Source Performance Natural Gas – Furnaces</i>
	CH ₄	5	1.35	<i>Residential Natural Gas</i>	
	NO _x	43	1.56		<i>Residential Source Performance Natural Gas – Furnaces</i>
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Residential Natural Gas</i>	
	NM VOC	5	1.42		
GLP	CO	10	1.56		<i>Residential Source Performance Oil – Propane/Butane Furnaces</i>
	CH ₄	1,1			
	NO _x	47			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Residential Natural Gas</i>	
	NM VOC	5	1.42		
Lenha	CO	10.000	1.56		<i>Residential Source Performance Wood – Stoves Conventional</i>
	CH ₄	210			
	NO _x	120			
	N ₂ O	4	1.36	<i>Residential Wood/Wood Waste</i>	
	NM VOC	600	1.42		
Carvão Veget.	CO	7.000	1.40	<i>Residential Charcoal</i>	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	1	1.36		
	NM VOC	100	1.42		

- Iluminação

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Querosene Ilum.	CO	20	1.40	Residential Oil	
	CH ₄	10	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NMVOC	5	1.42		

A destinação Iluminação se baseia totalmente no Querosene Iluminante. Como não existem fatores de emissão mais apropriados foram utilizados os fatores de emissão da abordagem simplificada.

A seguir, a tabela com a síntese dos fatores de emissão do Setor Residencial.

Tabela 9 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ no Setor Residencial

AQUECEDORES (CALOR DE PROCESSO)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural, GLP, Gás Canalizado		10	1	47	0,1	5
FORNOS E FOGÕES (AQUECIMENTO DIRETO)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural, Gás Canalizado		18	5	43	0,1	5
GLP		10	1,1	47	0,1	5
Lenha		10.000	210	120	4	600
Carvão Vegetal		7.000	200	100	1	100
ILUMINAÇÃO		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Querosene Iluminante		20	10	100	0,6	5

2.2.4 Setor Agropecuário

O consumo de combustíveis fósseis no Setor Agropecuário destina-se essencialmente a três usos finais: a cocção de alimentos (Aquecimento Direto), o aquecimento de água (Calor de Processo) e a Força Motriz.

Como no relatório do IPCC, em sua primeira versão (IPCC, 1995) e na versão revisada (IPCC, 1997), não há fatores de emissão, para o Setor Agropecuário, buscou-se uma adaptação dos fatores de emissão apresentados para outros setores, considerando as similaridades entre os equipamentos utilizados em cada um.

• Força Motriz

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel	CO	0,4	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Small Stationary Int. Comb. Engine – Diesel < 600hp
	CH ₄	10	1.35	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
	NO _x	1,9	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Small Stationary Int. Comb. Engine – Diesel < 600hp
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		
Querosene Ilum.	CO	20	1.40	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
	CH ₄	10	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NM VOC	5	1.42		

Consideraram-se para o Óleo Diesel os fatores de emissão do Setor Industrial *Oil – Small Stationary Internal Combustion Engines – Diesel <600hp* (IPCC, 1997, pág. 1.54)

Para o Querosene Iluminante, preferiu-se utilizar os fatores de emissão da abordagem simplificada, já que Querosene Iluminante para o uso final de Força Motriz não é uma utilização usual que nos permita fazer alguma analogia válida. Embora o BEU atribua todo o consumo de querosene ao uso final de Força Motriz e nenhum ao uso final de Iluminação, vale a pena investigar se não houve um erro nessa distribuição, já que o senso comum diz que parte da iluminação no campo ainda é feita com candeieiros a querosene. Em termos de emissões, não fará diferença, já que, em ambos os casos, seriam utilizados os mesmos fatores de emissão da versão simplificada, *TIER 1*.

• Calor de Processo (100% de caldeiras de pequeno e médio portes)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel	CO	16	1.57		<i>Commercial Source Performance</i> Oil – Distillate Fuel Oil
	CH ₄	0,7			
	NO _x	65			
	N ₂ O	0,4			
	NM VOC	5	1.42	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
Óleo Combustível	CO	15	1.57		<i>Commercial Source Performance</i> Oil – Residual Fuel Oil
	CH ₄	1,4			
	NO _x	170			
	N ₂ O	0,3			
	NM VOC	5	1.42	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
Lenha	CO	199	1.41		<i>Commercial Source Performance/</i> Wood Boilers
	CH ₄	15			
	NO _x	33			
	N ₂ O	4,3			
	NM VOC	600	1.42	<i>Agriculture-Stationary</i> Wood/Wood Waste	
Carvão Veget.	CO	7000	1.40	<i>Agriculture-Stationary</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	1	1.36		
	NM VOC	100	1.42		

Para o Óleo Diesel, foram utilizados os fatores de emissão do Setor Comercial, *Oil – Distillate Fuel Oil*.

Para o Óleo Combustível foram utilizados os fatores de emissão do Setor Comercial *Oil – Residual Fuel Oil*.

A Lenha segue os mesmos fatores de emissão dos equipamentos do tipo *Wood Boilers*, utilizados no Setor Comercial e já mencionados.

Para o Carvão Vegetal, foram utilizados os fatores de emissão da versão simplificada.

O Carvão Vegetal utiliza os fatores de emissão carvão mineral do Setor Comercial *Coal-Boilers*.

• Aquecimento Direto (100% fornos)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel Óleo Comb.	CO	79	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Kilns – Oil
	CH ₄	1,0			
	NO _x	527			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Agriculture-Stationary</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		
GLP	CO	10	1.56		<i>Residential Source Performance</i> Propane/Butane Furnaces
	CH ₄	1,1			
	NO _x	47			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Agriculture-Stationary</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Lenha	CO	10.000	1.56		<i>Residential Source Performance</i> Wood – Stoves – Conventional
	CH ₄	210			
	NO _x	120			
	N ₂ O	4	1.36	<i>Agriculture-Stationary</i> Wood/Wood Waste	
	NM VOC	600	1.42		
Carvão Veget.	CO	7.000	1.40	<i>Agriculture-Stationary</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	1	1.36		
	NM VOC	100	1.42		

O Aquecimento Direto é usado, principalmente, para promover a secagem de produtos alimentícios, aumentando a sua capacidade de armazenamento (BEU, 1995). Os principais equipamentos empregados são: *sprays dryers*, tambor rotativo e forno do tipo túnel. Como os *sprays dryers* utilizam em sua maioria a eletricidade como fonte, considerou-se o equipamento “forno” como o principal equipamento na destinação Aquecimento Direto, com o consumo de combustíveis fósseis e biomassa. Neste sentido, fizeram-se as seguintes adaptações aos fatores de emissão do IPCC:

Para o Óleo Diesel e o Óleo Combustível, utilizou-se o mesmo fator de emissão do forno industrial, *Kilns – Oil*.

Para o GLP, utilizou-se o mesmo fator de emissão do Setor Residencial para o forno a GLP, *Propane/Butane Furnaces*.

Para a Lenha, utilizou-se o mesmo fator de emissão do Setor Residencial para o forno a lenha, *Conventional Wood Stoves*.

Para o Carvão Vegetal, foram utilizados os fatores de emissão da versão simplificada.

A seguir, encontra-se a tabela com a síntese dos fatores de emissão do Setor Agropecuário.

Tabela 10 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ no Setor Agropecuário

MOTORES (FORÇA MOTRIZ)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Óleo Diesel	0,4	10	1,9	0,6	5
Querosene Iluminante	20	10	100	0,6	5
CALDEIRAS (CALOR DE PROCESSO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Diesel	16	0,7	65	0,4	5
Óleo Combustível	15	1,4	170	0,3	5
Lenha	199	15	33	4,3	600
Carvão Vegetal	7000	200	100	1	100
FORNOS E SECADORES (AQUECIMENTO DIRETO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Óleo Diesel, Óleo Combustível	79	1,0	527	0,6	5
GLP	10	1,1	47	0,1	5
Lenha	10.000	210	120	4	600
Carvão Vegetal	7.000	200	100	1	100

2.2.5 Geração termelétrica

Para os centros de transformação, foram calculadas as emissões das centrais termelétricas, decorrentes do consumo de combustível fóssil ou de biomassa, para geração de vapor ou calor, via combustão. Para a transformação de energia primária ou secundária em eletricidade, via geração termelétrica, considerou-se a mesma divisão em Centrais Elétricas de Serviço Público e Centrais Elétricas Autoprodutoras, adotadas no Balanço Energético Nacional (BEN, 1998).

Esse cálculo segue a metodologia detalhada para fontes fixas. A Tabela 11 apresenta os fatores de emissão adotados no inventário.

Admitiram-se os usos finais Calor de Processo e Força Motriz.

- Força Motriz

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel	CO	350	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance</i> Large Diesel Fuel Engines > 600hp
	CH ₄	4,0			
	NO _x	1.300			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Energy Industries</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		

Para o cálculo das emissões do Óleo Diesel na destinação Força Motriz foram utilizados os mesmos fatores de emissão do Setor Energético.

- Calor de Processo (100% de caldeiras)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural Gás de Refin. Gás de Coque.	CO	46	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance</i> Natural Gas – Large Gas-Fired Turbines > 3MW
	CH ₄	6			
	NO _x	190			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Energy Industries</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Óleo Comb. Out. P. Sec. Pet. Out. Prim Fóss Alcatrão Lixívia	CO	15	1.53		<i>Utility Boiler Source Performance</i> Residual Fuel Oil – Normal Firing
	CH ₄	0,9			
	NO _x	200			
	N ₂ O	0,3			
	NM VOC	5	1.42	<i>Energy Industries</i> Oil	
Carvão Vapor	CO	14	1.39		<i>Utility Boiler Source Performance</i> Coal – Pulverised Coal
	CH ₄	0,6			
	NO _x	857			
	N ₂ O	0,8			
	NM VOC	5	1.42	<i>Energy Industries</i> Coal	
Lenha	CO	1.473	1.39		<i>Utility Boiler Source Performance</i> Wood-Fired Boilers
	CH ₄	18			
	NO _x	112			
	N ₂ O	4	1.36	<i>Energy Industries</i> Wood/Wood Waste	
	NM VOC	50	1.42		
Resíd. Veget Bagaço	CO	1.706	1.35	<i>Energy Industries</i> Other Biomass	<i>Industrial Boiler Performance</i> Wood – Bagasse/Ag. Waste Boilers
	CH ₄	30			
	NO _x	68	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Wood – Bagasse/Ag. Waste Boilers
	N ₂ O	4	1.36	<i>Energy Industries</i> Other Biomass	
	NM VOC	50	1.42		

Para a destinação Calor de Processo admitiram-se as seguintes hipóteses:

Ao Gás de Refinaria e ao Gás de Coqueria, foram atribuídos os mesmos fatores de emissão do Gás Natural.

Os fatores de emissão da caldeira à base de outros secundários de petróleo, Outras Primárias Fósseis, Alcatrão e Lixívia seguem os mesmos valores de uma caldeira a Óleo Combustível (*Residual Oil Boiler*), do Setor Energético.

O Carvão Vapor consumido no setor é predominantemente pulverizado (*Pulverised Coal*). Utilizam-se no relatório de suas emissões os fatores listados na primeira versão do relatório do IPCC (1995). Neste caso, assume-se que a queima direta seja preponderante em relação às caldeiras de leito fluidizado. Será necessária uma pesquisa mais aprofundada para se verificar a possibilidade de utilização dos fatores de emissão de 1996, que estão num nível mais detalhado.

Os Resíduos Vegetais seguiram os mesmos fatores de uma caldeira movida a Bagaço (*Bagasse Boilers*), no Setor Industrial.

Tabela 11 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ na geração termelétrica

MOTORES (FORÇA MOTRIZ)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Diesel	350	4,0	1.300	0,6	5
CALDEIRAS (CALOR DE PROCESSO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Gás Natural, Gás de Coqueria, Gás de Refinaria	46	6	190	0,1	5
Óleo Combustível, Outros Produtos Secundários de Petróleo, Outras Primárias Fósseis, Alcatrão, Lixívia	15	0,9	200	0,3	5
Carvão Vapor	14	0,6	857	0,8	5
Lenha	1.473	18	112	4	50
Bagaço, Resíduos Vegetais	1.706	30	68	4	50

2.2.6 Produção de Carvão Vegetal

Para as carvoarias, foram calculadas as emissões decorrentes do processo de transformação da Lenha em Carvão Vegetal, conhecido como carvoejamento, o que está descrito no item 1.6 deste Anexo.

O fator de emissão para o CO₂ da Lenha consumida no processo de carvoejamento é calculado e utilizado neste trabalho. Para os gases não-CO₂, no entanto, foram utilizados os fatores de emissão do IPCC, por falta de fatores de emissão próprios.

O IPCC sugere duas alternativas para se calcular as emissões de gases não-CO₂ da produção

de Carvão Vegetal. A primeira, a partir da lenha que vai para o carvoejamento e, a segunda, a partir do carvão produzido. Optou-se por utilizar os fatores de emissão para a Lenha, já que se trabalha com uma estrutura de dados que privilegia os dados de entrada nos centros de transformação (Lenha para Carvoejamento) e não os de saída (carvão produzido).

- Aquecimento Direto (100% fornos)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Lenha para Carvoejamento	CO	2.000	1.46	Default Non-CO ₂ Emission Factor for Charcoal Production	
	CH ₄	300			
	NO _x	5			
	N ₂ O	N/A			
	NMVOC	600			

A seguir, encontra-se a tabela síntese dos fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões não-CO₂ da lenha que é consumida no processo de produção do carvão.

Tabela 12 – Fatores de Emissão de Gases não-CO₂ nas Carvoarias

FORNO (AQUECIMENTO DIRETO)		Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível		CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
Lenha para Carvoejamento		2.000	300	5	N/A	600

2.2.7 Setor Industrial

O Setor Industrial está desagregado nos subsetores Cimento, Cerâmica, Alimentos e Bebidas, Ferro-Gusa e Aço, Ferro-Ligas, Papel e Celulose, Química, Têxtil, Mineração e Pelotização, Não-Ferrosos e Outros da Metalurgia e Outras Indústrias, conforme a divisão proposta no Balanço Energético Nacional (BEN, 1996).

Para que fossem utilizados os fatores de emissão do IPCC (1997) foram necessárias algumas adaptações, apresentadas a seguir:

- Força Motriz (motores)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel GLP	CO	0,3	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i>
	CH ₄	0,0			Oil – Large Stationary Diesel Engines > 600hp
	NO _x	1,3	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	N ₂ O	0,6			
	NM VOC	5			
Querosene Ilum.	CO	0,4	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Small Stationary Int. Comb. Engines – Diesel < 600hp
	CH ₄	2	1.35	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	NO _x	1,9	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Small Stationary Int. Comb. Engines – Diesel < 600hp
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		

Na destinação Força Motriz, foram utilizados, para o Óleo Diesel e o GLP, os fatores de emissão para motores a óleo diesel com potência acima de 600 hp (447 kW), presentes na versão revisada do relatório do IPCC.

Para o Querosene Iluminante, foram adotados os fatores de emissão de um motor menor, o “*small stationary*”, a diesel e com menos de 600hp, já que o consumo é muito pequeno e localizado na indústria de ferro gusa e aço.

• Calor de Processo (caldeiras)

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Óleo Diesel Querosene Ilum.	CO	16	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Distillate Fuel Oil Boilers
	CH ₄	0,2			
	NO _x	65			
	N ₂ O	0,4			
	NM VOC	5	1.42	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
Óleo Comb. Lixívia	CO	15	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil – Residual Fuel Oil Boilers
	CH ₄	3,0			
	NO _x	170			
	N ₂ O	0,3			
	NM VOC	5	1.42	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
Gás Natural Gás Canaliz. Gás de Coque. Gás de Refin.	CO	17	1.39		<i>Industrial Boiler Performance</i> Natural Gas-Fired Boilers
	CH ₄	1,4			
	NO _x	67			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
GLP	CO	16	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil -LPG Boilers – Butane
	CH ₄	5	1.35	<i>Manufacturing Industr</i> Natural Gas	
	NO _x	97	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Oil -LPG Boilers – Butane
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Carvão Vapor	CO	93	1.39		<i>Industrial Boiler Performance</i> Coal-Fired Boiler
	CH ₄	2,4			
	NO _x	329			
	N ₂ O	1,6	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Bit./Sub-bitBoilers
	NM VOC	20	1.42	<i>Manufacturing Industr</i> Coal	
Carvão Vegetal	CO	4.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NM VOC	100	1.42		
Lenha	CO	1504	1.39		<i>Industrial Boiler Performance</i> Wood-Fired Boiler
	CH ₄	15			
	NO _x	115			
	N ₂ O	4	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Wood/Wood Waste	
	NM VOC	50	1.42		
Bagaço Resíd. Veget.	CO	1.706	1.39		<i>Industrial Boiler Performance</i> Bagasse/Ag. Waste-Fired Boilers
	CH ₄	30	1.35	<i>Manufacturing Industr</i> Other Biomass	
	NO _x	68	1.54		<i>Industrial Boiler Performance</i> Wood – Bagasse/Ag. Waste Boilers
	N ₂ O	4	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Other Biomass	
	NM VOC	50	1.42		
Out.Sec.Pet. Coque de Pet.	CO	10	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	CH ₄	2	1.35		
	NO _x	200	1.38		
	N ₂ O	0,6	1.36		
	NM VOC	5	1.42		

Para o Óleo Diesel e o Óleo Combustível, existem fatores de emissão bastante apropriados.

Foram utilizados os fatores de emissão das caldeiras a diesel para o Querosene Iluminante.

Optou-se por utilizar os fatores de emissão do Óleo Combustível para a Lixívia, já que não existe fator de emissão para a biomassa líquida.

Para o Gás Natural, o Gás Canalizado, o Gás de Coqueria e o Gás de Refinaria, foram utilizados os mesmos fatores de emissão das caldeiras a gás natural, da versão de 1995. Na versão revisada os *boilers* estão divididos em grandes e pequenos. Como não existem informações nesse nível de detalhamento, preferiu-se utilizar os fatores de emissão da versão anterior, mais abrangente.

No caso do GLP, os fatores de emissão de uma caldeira a GLP, com a predominância do butano, foram adotados.

Para o Carvão Vapor, foram utilizados os fatores de emissão do relatório do IPCC de 1995, que é mais abrangente e faz referência a “*coal-fired boilers*” já que não se tem informações detalhadas sobre a tecnologia do setor que possibilitaria uma opção por um dos fatores do relatório de 1996. Para as emissões de N₂O, foram utilizados os fatores de emissão da versão revisada do IPCC (1997), considerando-se que o carvão brasileiro, basicamente de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, é sub-betuminoso ou betuminoso e que, independente da tecnologia, o fator de emissão tem o mesmo valor.

Para a Lenha, foram utilizados os fatores de emissão das caldeiras a lenha do relatório de 1995.

Para o Bagaço e Resíduos Vegetais, os fatores de emissão adotados foram os das caldeiras a Bagaço (*bagasse/agricultural waste-fired boiler*). O fator de emissão do CO, especificamente, foi encontrado somente na versão de 1995.

- Aquecimento Direto

Aquecimento Direto, segundo o BEU (1995), é uma das aplicações mais frequentes e diversificadas da energia, encontrando-se, em cada setor e subsetor, relacionada a equipamentos muito diferenciados e que usam o mesmo insumo energético. Como o IPCC

distingue, nessa destinação, os secadores dos fornos, é necessário fazer essa mesma distinção nos setores industriais analisados.

- Para o subsetor Cimento, vale notar que o equipamento típico é o forno de clínquerização – forno tipo tambor rotativo através do qual fluem os gases de combustão. Nesse subsetor, a destinação Aquecimento Direto está basicamente relacionada ao equipamento “forno”.
- Subsetor Ferro-Gusa e Aço, cabe destacar a presença dos alto-fornos usados para redução dos minérios como o principal equipamento da destinação Aquecimento Direto.
- O equipamento típico do subsetor Ferro-Ligas, na destinação Aquecimento Direto, é o forno de eletrodo submerso.
- Para mineração, o uso mais freqüente dos combustíveis na destinação Aquecimento Direto é o da secagem e calcinação dos minérios, sendo, portanto, o secador o equipamento mais utilizado nesse subsetor. Na pelotização, por sua vez, o equipamento mais utilizado nessa destinação é o forno. De acordo com BEU (1995), que utiliza os dados de consumo de 1993, 47,7% do Aquecimento Direto do subsetor “Mineração e Pelotização” se devem à mineração, sendo o restante atribuído à pelotização. Esse percentual se reproduz, por hipótese, nos usos dos combustíveis, sendo a parcela de secadores vinculada à mineração e a de fornos vinculada à pelotização. Considerou-se, no presente trabalho, que os resultados válidos para o ano de 1993 possam ser aplicados nos outros anos da análise.
- Para o subsetor Não-Ferrosos e Outros da Metalurgia, setor que apresenta uso intensivo de Aquecimento Direto, o principal equipamento é o forno, seja do tipo cadinho, para o Óleo Combustível, seja do tipo a arco direto e a indução, com o consumo de energia elétrica.
- No caso do subsetor Têxtil, os combustíveis têm grande uso nos processos de secagem, sendo o “secador” o principal equipamento da destinação Aquecimento Direto.
- Na indústria de Papel e Celulose, verifica-se o uso intensivo de processos de secagem, sendo, portanto, o secador o principal equipamento dessa destinação.
- Na Cerâmica, os fornos se notabilizam como os principais equipamentos de consumo energético nos processos produtivos, podendo ser os fornos tipo câmara, tipo túnel ou descontínuos.
- Para os Outros Setores Industriais, a Indústria Química e a Indústria de Alimentos e Bebidas, verifica-se grande utilização tanto de fornos (caso da produção de

fertilizantes e de óxidos metálicos, da indústria de biscoitos e bolachas, da indústria de panificação, da produção de vidro, etc.), quanto de secadores (caso da secagem de massas e farinhas, da secagem de matérias-primas para a indústria de alimentos, etc.). Não há, desse modo, uma indicação segura quanto às parcelas de fornos e de secadores existentes nesses subsetores. Na falta de outras informações utilizaram-se os resultados da pesquisa de campo apresentada no BEU (1995), envolvendo 56 empresas do Setor de Alimentos e Bebidas, 28 empresas do Setor Químico e 47 empresas das Outras Indústrias (BEU, 1995). No Setor de Alimentos e Bebidas, em torno de 87% do consumo em equipamentos de Aquecimento Direto se deve aos fornos, sendo o restante devido aos secadores; no Setor Químico, 89% do consumo em Aquecimento Direto se devem aos fornos, sendo o restante devido aos secadores; nas Outras Indústrias, por sua vez, a proporção obtida é de 91% para fornos e 9% para secadores.

É, portanto, necessário que sejam adaptados os fatores de emissão do IPCC para a gama de equipamentos existente no Setor Industrial.

• Fornos

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural	CO	83	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Kilns – Natural Gas
Gás Refin.	CH ₄	1,1			
Gás Canaliz.	NO _x	1.111			
Gás Coque.	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Natural Gas	
GLP	NMVOC	5	1.42		
Carvão Vapor Carvão Metal.	CO	79	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Kilns – Coal
	CH ₄	1,0			
	NO _x	527			
	N ₂ O	1,4	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Coal	
	NMVOC	20	1.42		
Óleo Diesel Out.Prim.Fóss. Óleo Comb. Querosene Ilum. Out.Sec.Pet. Alcatrão Coque de Pet.	CO	79	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Kilns – Oil
	CH ₄	1,0			
	NO _x	527			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	NMVOC	5	1.42		
Coque CM	CO	211	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Coke Oven
	CH ₄	1			
	NO _x	35			
	N ₂ O	1,4	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Coal	
	NMVOC	16	1.55		<i>Kilns, Ovens, And Dryers Source Perf.</i> Coke Oven
Lenha	CO	2.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Wood/Wood Waste	
	CH ₄	30	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NMVOC	50	1.42		
Bagaço Resíd. Veget.	CO	4.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Other Biomass	
	CH ₄	30	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NMVOC	50	1.42		
Carvão Veget.	CO	4.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NMVOC	100	1.42		

Os fatores de emissão do Gás de Refinaria, do Gás Canalizado, do Gás de Coqueria e do GLP são os mesmos do Gás Natural (*Kilns – Natural Gas*).

Os fatores de emissão do Carvão Vapor e do Carvão Metalúrgico estão bem definidos no IPCC (*Kilns – Coal*).

Os fatores de emissão do Coque de Carvão Mineral são os do *Coke Oven* na versão revisada do relatório do IPCC (1997).

Para o Óleo Diesel, Óleo Combustível, Querosene Iluminante, Coque de Petróleo, Outros Produtos Secundários de Petróleo e também para o Alcatrão e Outras Primárias Fósseis foram utilizados os fatores de emissão do *Kilns-Oil*.

Não há fatores de emissão disponíveis para as fontes de biomassa na destinação Aquecimento Direto. Desse modo, foram utilizados, para a Lenha, o Bagaço, o Carvão Vegetal e os Resíduos Vegetais, os fatores de emissão da abordagem simplificada.

- Secadores

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível	Tabela IPCC / Equipamento
Gás Natural Gás Refin. Gás Canaliz. GLP	CO	11	1.55		<i>Kilns, Ovens, and Dryers Source Perf.</i> Dryer – Natural Gas
	CH ₄	1,1			
	NO _x	64			
	N ₂ O	0,1	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Natural Gas	
	NM VOC	5	1.42		
Carvão Vapor	CO	179	1.55		<i>Kilns, Ovens, and Dryers Source Perf.</i> Dryer – Coal
	CH ₄	1,0			
	NO _x	226			
	N ₂ O	1,4	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Coal	
	NM VOC	20	1.42		
Óleo Diesel Óleo Comb. Querosene Ilum. Out.Sec.Pet. Lixívia Coque Pet.	CO	179	1.55		<i>Kilns, Ovens, and Dryers Source Perf.</i> Dryer – Oil
	CH ₄	1,0			
	NO _x	226			
	N ₂ O	0,6	1.36	<i>Manufacturing Industr</i> Oil	
	NM VOC	5	1.42		
Lenha	CO	2.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Wood/Wood Waste	
	CH ₄	30	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NM VOC	50	1.42		
Bagaço Resid. Veget.	CO	4.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Other Biomass	
	CH ₄	30	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NM VOC	50	1.42		
Carvão Veget.	CO	4.000	1.40	<i>Manufacturing Industr</i> Charcoal	
	CH ₄	200	1.35		
	NO _x	100	1.38		
	N ₂ O	4	1.36		
	NM VOC	100	1.42		

Seguiu-se a mesma lógica que orientou a atribuição dos fatores de emissão para os fornos.

Os fatores de emissão do Gás de Refinaria, do Gás Canalizado e do GLP são os mesmos do Gás Natural (*Dryer – Natural Gas*).

Os fatores de emissão do Carvão Vapor estão bem definidos no IPCC (*Dryer – Coal*).

Para o Óleo Diesel, Óleo Combustível, Querosene Iluminante, Coque de Petróleo, Outros Produtos Secundários de Petróleo e também para a Lixívia foram utilizados os fatores de emissão do *Dryer-Oil*.

Não há fatores de emissão disponíveis para as fontes de biomassa na destinação Aquecimento Direto. Desse modo, assim como para os fornos, foram utilizados, para a Lenha, o Bagaço, o Carvão Vegetal e os Resíduos Vegetais, os fatores de emissão da abordagem simplificada.

Os fatores de emissão para cada tecnologia e combustível utilizados no Setor Industrial estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ no Setor Industrial

MOTORES (FORÇA MOTRIZ)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	NMVOC
Óleo Diesel, GLP	0,3	0,0	1,3	0,6	5
Querosene Iluminante	0,4	2	1,9	0,6	5
CALDEIRAS INDUSTRIAIS (CALOR DE PROCESSO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	NMVOC
Óleo Diesel, Querosene Iluminante	16	0,2	65	0,4	5
Óleo Combustível, Lixívia	15	3,0	170	0,3	5
Gás Natural, Gás Canalizado, Gás de Coqueria, Gás de Refinaria	17	1,4	67	0,1	5
GLP	16	5	97	0,1	5
Carvão Vapor	93	2,4	329	1,6	20
Outros Produtos Secundários de Petróleo, Coque de Petróleo	10	2	200	0,6	5
Carvão Vegetal	4.000	200	100	4	100
Lenha	1.504	15	115	4	50
Bagaçο, Resíduos Vegetais	1.706	30	68	5	50
FORNOS INDUSTRIAIS (AQUECIMENTO DIRETO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural, Gás Canalizado, Gás de Refinaria, Gás de Coqueria e GLP	83	1,1	1.111	0,1	5
Carvão Vapor e Carvão Metalúrgico	79	1,0	527	1,4	20
Carvão Vegetal	4.000	200	100	4	100
Óleo Diesel, Outras Primárias Fósseis, Óleo Combustível, Querosene Iluminante, Outros P. Sec. de Petróleo, Alcatrão, Coque de Petróleo	79	1,0	527	0,6	5
Coque de Carvão Mineral	211	1	35	1,4	16
Lenha	2.000	30	100	4	50
Bagaçο, Resíduos Vegetais	4.000	30	100	4	50
SECADORES INDUSTRIAIS (AQUECIMENTO DIRETO)	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH ₄	NOx	N ₂ O	NMVOC
Gás Natural, Gás Canalizado, Gás de Refinaria, GLP	11	1,1	64	0,1	5
Carvão Vapor	179	1,0	226	1,4	20
Carvão Vegetal	4.000	200	100	4	100
Óleo Diesel, Óleo Combustível, Querosene Iluminante, Outros Produtos Secundários de Petróleo, Lixívia, Coque de Petróleo	179	1,0	226	0,6	5
Lenha	2.000	30	100	4	50
Bagaçο, Resíduos Vegetais	4.000	30	100	4	50

2.2.8 Setor de Transportes

Para o cálculo das emissões de gases não-CO₂ do Setor de Transportes, seguiu-se uma metodologia mais simplificada que a utilizada para os outros setores. A abordagem simplificada (*TIER 1*) não se baseia na desagregação da tecnologia de consumo, mas sim na quantidade de combustíveis consumida em cada modo de transporte (aéreo, rodoviário, ferroviário e marítimo) e nos fatores de emissão médios dos combustíveis, conforme apresentado na abordagem simplificada do IPCC.

Assim sendo, a Eq. 16 ficará reduzida a:

$$\omega_i^{n-CO_2} = \sum_b \varepsilon_{bi}^{n-CO_2} * C_{bi} \quad \text{Eq. 23}$$

Somente para o álcool foram utilizados fatores específicos para o Brasil, calculados a partir de testes de medição. Para Outros Produtos Secundários de Petróleo, que inclui o metanol e o MTBE, optou-se por não atribuir nenhum fator de emissão para os gases não CO₂, por ausência de fator de emissão ou de analogias aceitáveis.

Para a Lenha, apesar de constar consumo no transporte ferroviário, não existe fator de emissão sequer na versão simplificada.

O quadro a seguir resume os fatores de emissão utilizados.

- Transporte Rodoviário

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível
Gás Natural	CO	400	1.40	<i>Transport – Road Natural Gas</i>
	CH ₄	50	1.35	
	NO _x	600	1.38	
	N ₂ O	0,1	1.36	
	NMVOC	5	1.42	
Óleo Diesel	CO	1.000	1.40	<i>Transport – Road Oil – Diesel</i>
	CH ₄	5	1.35	
	NO _x	800	1.38	
	N ₂ O	0,6	1.36	
	NMVOC	200	1.42	
Gasolina	CO	8.000	1.40	<i>Transport – Road Oil – Gasoline</i>
	CH ₄	20	1.35	
	NO _x	600	1.38	
	N ₂ O	0,6	1.36	
	NMVOC	1.500	1.42	
Out. P. Sec. Pet	CO	N/A		
	CH ₄	N/A		
	NO _x	N/A		
	N ₂ O	N/A		
	NMVOC	N/A		
Álcool	CO	5.462		<i>MCT – Módulo Específico de Transportes</i>
	CH ₄	224		
	NO _x	421		
	N ₂ O	N/A		
	NMVOC	N/A		

- Transporte Ferroviário

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível
Carvão Vapor	CO	150	1.40	Transport – Railways Coal
	CH ₄	10	1.35	
	NO _x	300	1.38	
	N ₂ O	1,4	1.36	
	NM VOC	20	1.42	
Óleo Diesel	CO	1.000	1.40	Transport – Railways Oil
	CH ₄	5	1.35	
	NO _x	1200	1.38	
	N ₂ O	0,6	1.36	
	NM VOC	200	1.42	

- Transporte Aéreo

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível
Gasolina	CO	15.000	1.40	Transport – Aviation Oil
	CH ₄	0,5	1.35	
	NO _x	300	1.38	
	N ₂ O	2	1.36	
	NM VOC	300	1.42	
Querosene Ilum.	CO	100	1.40	Transport – Aviation Oil
	CH ₄	0,5	1.35	
	NO _x	300	1.38	
	N ₂ O	2	1.36	
	NM VOC	50	1.42	

- Transporte Hidroviário

Comb.	Gás	FE kg/TJ	Pág. IPCC	Setor / Combustível
Óleo Diesel Óleo Comb.	CO	1.000	1.40	Transport – Navigation Oil
	CH ₄	5	1.35	
	NO _x	1.500	1.38	
	N ₂ O	0,6	1.36	
	NM VOC	200	1.42	

Os fatores de emissão não-CO₂ encontram-se resumidos no quadro a seguir:

Tabela 14 – Fatores de emissão de gases não-CO₂ no Setor de Transportes

TRANSPORTE RODOVIÁRIO	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Gás Natural	400	50	600	0,1	5
Diesel	1.000	5	800	0,6	200
Gasolina	8.000	20	600	0,6	1.500
Outros Secundários de Petróleo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Alcool	5.462	224	421	N/A	N/A
TRANSPORTE FERROVIÁRIO	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Carvão Vapor	150	10	300	1,4	20
Diesel	1.000	5	1.200	0,6	200
TRANSPORTE AÉREO	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Gasolina	15.000	0,5	300	2	300
Querosene Iluminante	100	0,5	300	2	50
TRANSPORTE HIDROVÁRIO	Fatores de Emissão (kg/TJ)				
Combustível	CO	CH4	NOx	N2O	NMVOC
Diesel Óleo Combustível	1.000	5	1.500	0,6	200

Apêndice: Distribuição por tipo de uso para cada combustível e setor

	Não Energético	Energético	Residencial	Comercial	Público	Agropecuário	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Hidroviário	Cimento	Ferro-gusa e aço	Ferro-ligas	Mineração e Pelotização	Não-Ferrosos	Química	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e Celulose	Cerâmica	Outros da Indústria	Não Identificado	Termelétricas	Carvoejamento
Gasolina																								
Força Motriz		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1	1	1	1			
Calor de Processo																								
Aquecimento Direto																								
Iluminação																								
Querosene																								
Força Motriz						1	1	1	1	1		0,001												
Calor de Processo		0,5												1		0,074	0,452	0,87	1	0,017	0,176			
Aquecimento Direto		0,5								1	0,999	1				0,926	0,548	0,13		0,983	0,824			
Iluminação			1	1	1																			
Óleo Diesel																								
Força Motriz		0,9	0,5	0,369	0,431	0,99	1	1	1	1	0,998	0,559		0,814		0,768	0,931	0,6	0,954	0,883	0,65		1	
Calor de Processo		0,009	0,25	0,456	0,391	0,004					0,001	0,002		0,185		0,13	0,029	0,204	0,007	0,009	0,129			
Aquecimento Direto		0,091	0,25	0,175	0,178	0,006					0,001	0,439	1	0,001		0,102	0,04	0,196	0,039	0,108	0,221			
Iluminação																								
Óleo Combustível																								
Força Motriz										0,7														
Calor de Processo		0,52	0,5	0,946	1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3	0,03	0,149		0,0036	0,4575	0,939	0,836	0,937	0,937	0,283	0,37		1	
Aquecimento Direto		0,48	0,5	0,054		0,2	0,5	0,5	0,5		0,97	0,851	1	0,9964	0,5425	0,061	0,164	0,063	0,063	0,717	0,63			
Iluminação																								
GLP																								
Força Motriz		0,495					1			1		0,261				0,049	0,481	0,031	0,663	0,003	0,183			
Calor de Processo		0,019	0,01	0,018				0,5	0,5						0,5	0,149		0,837	0,011	0,245	0,024			
Aquecimento Direto		0,486	0,99	0,982	1	1		0,5	0,5		1	0,739	1	1	0,5	0,802	0,519	0,132	0,326	0,752	0,793			
Iluminação																								

Fonte: BEU

Apêndice: Distribuição por tipo de uso para cada combustível e setor

	Não Energético	Energético	Residencial	Comercial	Público	Agropecuário	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Hidroviário	Cimento	Ferro-gusa e aço	Ferro-ligas	Mineração e Pelotização	Não-Ferrosos	Química	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e Celulose	Cerâmica	Outros da Indústria	Não Identificado	Termelétricas	Carvoejamento
Nafta																								
Força Motriz																								
Calor de Processo																								
Aquecimento Direto																								
Iluminação																								
Outros Não Energéticos de Petróleo																								
Força Motriz																								
Calor de Processo																								
Aquecimento Direto																								
Iluminação																								
Outras Secundárias de Petróleo																								
Força Motriz		0,048																						
Calor de Processo		0,768	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,277				0,935		0,5	0,5		0,4228		1	
Aquecimento Direto		0,181	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,723	1		1	0,065		0,5	0,5	1	0,5772			
Iluminação		0,003																						
Carvão Vapor																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		1	1	1	1	1	1	1	1	1		0,112			1	0,091	0,928	0,645	1		0,92		1	
Aquecimento Direto											1	0,888	1			0,909	0,072	0,355		1	0,08			
Iluminação																								
Carvão Metalúrgico																								
Força Motriz																								
Calor de Processo																								
Aquecimento Direto		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1	1	1	1			
Iluminação																								

Fonte: BEU

Apêndice: Distribuição por tipo de uso para cada combustível e setor

	Não Energético	Energético	Residencial	Comercial	Público	Agropecuário	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Hidroviário	Cimento	Ferro-gusa e aço	Ferro-ligas	Mineração e Pelotização	Não-Ferrosos	Química	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e Celulose	Cerâmica	Outros da Indústria	Não Identificado	Termelétricas	Carvoejamento
Gás Natural																								
Força Motriz							1																	
Calor de Processo		0,228	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5				0,006			0,836	0,937	1		0,37		1	
Aquecimento Direto		0,772	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,994	1	1	0,164	0,063		1	0,63			
Iluminação																								
Gás																								
Força Motriz							1																	
Calor de Processo		0,4	0,183	0,018											0,064		0,003		0,032		0,582		1	
Aquecimento Direto		0,6	0,817	0,982	1	1		1	1	1	1	1	1		0,936	1	0,997	1	0,968	1	0,418			
Iluminação																								
Lenha																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		1		0,208	0,259	0,446	0,5	0,5	0,5	0,5		0,869			0,675	0,846	0,778	0,82	0,999		0,501		1	
Aquecimento Direto			1	0,792	0,741	0,554	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,131	1		0,325	0,154	0,222	0,18	0,001	1	0,499			1
Iluminação																								
Alcatrão																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5						0,5		0,5	0,5		0,5		1	
Aquecimento Direto		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1			0,5		0,5	0,5	1	0,5			
Iluminação																								
Coque de Carvão Mineral																								
Força Motriz																								
Calor de Processo																					0,08			
Aquecimento Direto		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	0,92			
Iluminação																								

Fonte: BEU

Apêndice: Distribuição por tipo de uso para cada combustível e setor

	Não Energético	Energético	Residencial	Comercial	Público	Agropecuário	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Hidroviário	Cimento	Ferro-gusa e aço	Ferro-ligas	Mineração e Pelotização	Não-Ferrosos	Química	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e Celulose	Cerâmica	Outros da Indústria	Não Identificado	Termelétricas	Carvoejamento
Carvão Vegetal																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		0,2				0,2	0,2	0,2	0,2	0,2						0,2		0,2	0,2					
Aquecimento Direto		0,8	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	1	1	1	0,8		0,8	0,8	1	1			
Iluminação																								
Produtos da Cana																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		0,996	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	0,992	1	0,999		1		1	
Aquecimento Direto		0,004															0,008		0,001	1				
Iluminação																								
Alcool Etílico																								
Força Motriz		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1	1	1	1			
Calor de Processo																								
Aquecimento Direto																								
Iluminação																								
Outras Primárias																								
Força Motriz																								
Calor de Processo		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5						0,5		0,5	0,5		0,5		1	
Aquecimento Direto		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1			0,5		0,5	0,5	1	0,5			
Iluminação																								

Fonte: BEU