

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR FILIPÉ DEBONZI
GORLA E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 30/07/2009


ORIENTADOR

Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay
NIPE / UNICAMP
Matricula: 04607-8

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira

Autor: **Filipe Debonzi Gorla**
Orientador: **Sergio Valdir Bajay**

87/2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira

**Autor: Filipe Debonzi Gorla
Orientador: Sergio Valdir Bajay**

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2009
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G678p Gorla, Filipe Debonzi
Potencial técnico de conservação de energia na
indústria brasileira / Filipe Debonzi Gorla. --Campinas,
SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Sergio Valdir Bajay.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Indústria - Conservação de energia. 2. Indústria -
Consumo de energia. 3. Energia elétrica - Conservação.
4. Inovações tecnológicas. I. Bajay, Sergio Valdir. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Technical Potential of Energy Savings in Brazilian Industry
Palavras-chave em Inglês: Industrial - Energy conservation, Industrial - Energy
consumption, Electric power conservation,
Technological innovations

Área de concentração: -

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Arnaldo Cesar da Silva Walter, Carlos Roberto Rocha

Data da defesa: 30/07/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

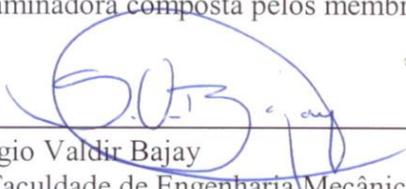
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Potencial técnico de conservação de energia na
indústria brasileira**

Autor: **Filipe Debonzi Gorla**

Orientador: **Sergio Valdir Bajay**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação;



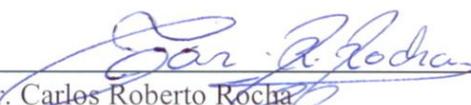
Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay

Instituição: Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP



Prof. Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter

Instituição: Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP



Prof. Dr. Carlos Roberto Rocha

Instituição: UNIFEI

Campinas, 30 de Julho de 2009

Dedicatória

Aos meus pais, Angela e Gilmar.

Ao meu avô, Pedro.

Agradecimentos

Ao Prof. Bajay, pela orientação e confiança depositadas em mim desde a graduação e durante todo o trabalho;

Ao Orlando Bordoni, pela colaboração e pela amizade, tão importantes desde o começo;

Aos pesquisadores do NIPE, Álvaro Leite, André Simões, Carlos Rocha, Ivo Dorileo, Marcelo Modesto, Mauro Berni e Paulo Henrique Santana, pela atenção, ajuda e colaboração imprescindíveis, sem as quais, de certo, não poderia concluir este trabalho;

Aos funcionários do NIPE e do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, sempre atenciosos com os estudantes.

Minha sincera gratidão a todas essas pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos.

Albert Einstein

Resumo

GORLA, Filipe Debonzi, *Potencial Técnico de Conservação de Energia na Indústria Brasileira*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 146 p. Dissertação (Mestrado)

Hoje em dia, existe mais reconhecimento de que a eficiência energética está intrinsecamente associada ao aumento da produtividade e à benefícios ao meio ambiente. As indústrias energo-intensivas, que demandam grande quantidade de energia, são objeto de estudo neste trabalho, cujo objetivo é simular potenciais técnicos de conservação de energia neste conjunto de empresas. A obtenção de tais potenciais pode permitir que tanto os agentes governamentais responsáveis pelas políticas energéticas, quanto a própria indústria, balizem-se e adotem medidas visando o uso racional de energia. Com este objetivo, foi elaborado um modelo de simulação cujos dados de entrada baseiam-se apenas em aspectos técnicos. Ponderações a respeito da confiabilidade de tais dados foram realizadas, evidenciando diferenças entre os segmentos industriais no que tange a qualidade das informações levantadas. Os resultados obtidos através das simulações indicam que, se fossem utilizadas as melhores tecnologias e práticas atualmente disponíveis no mercado, seria possível conservar quase um quinto da energia consumida na indústria nacional nos dias atuais.

Palavras chave:

Conservação de energia; indústrias, potencial técnico, consumo específico energético

Abstract

GORLA, Filipe Debonzi, *Technical Potential of Energy Savings in Brazilian Industry*, Campinas, Mechanical Engineering School, The State University of Campinas, 2009. 146 p. Dissertation (Master's Degree)

Nowadays, there is more acknowledgment that energy efficiency is intrinsically associated to the growth of productivity and to environment benefits. Industries, that demand great amount of energy, are the subject of this dissertation, whose aim is simulate technical potentials of energy savings in this type of companies. These potentials can allow both, government and enterprises, to adopt measures that lead to the rational energy use. It was used a simulation model whose data are based only in technical characteristics. Discussions about data's reliability were made, showing differences among them. The results obtained through simulations show that would be possible save almost a fifth of the energy consumed, in the present, by Brazilian industry.

Key words:

Energy savings; industries; technical potential; specific energy consumption

Índice

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvi
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Estrutura da dissertação	2
Capítulo 2 Conservação de energia	4
2.1 Potenciais de conservação	6
2.2 As medidas de eficiência energética adotadas no Brasil	6
Capítulo 3 Caracterização técnica e energética dos segmentos industriais energo intensivos brasileiros	9
3.1 Alimentos e bebidas	10
3.1.1 Consumo energético e usos finais	11
3.2 Siderurgia	12
3.2.1 Etapas do processo produtivo	13
3.2.1.1 Coqueificação	13
3.2.1.2 Sinterização	14
3.2.1.3 Redução	15
3.2.1.4 Refino	16

3.2.1.5 Laminação	16
3.2.2 Consumos energéticos, usos finais e subprodutos	17
3.3 Celulose e Papel	17
3.3.1 Processos produtivos	19
3.3.2 Consumos energéticos e usos finais de energia	20
3.4 Química	21
3.4.1 Cadeia do etileno	23
3.4.2 Cadeia do propileno	23
3.4.3 Cadeia do BTX	24
3.4.4 Cadeia dos fertilizantes	24
3.4.5 Cadeia do cloro-álcalis	25
3.4.6 Cadeia dos outros produtos com consumo energético elevado	26
3.4.7 Consumos energéticos e usos finais de energia	26
3.5 Metais não-ferrosos	27
3.5.1 Alumínio	27
3.5.2 Zinco	28
3.5.3 Cobre	29
3.5.4 Consumos energéticos e usos finais de energia	30
3.6 Cerâmico	30
3.6.1 Revestimentos cerâmicos	31
3.6.2 Cerâmica vermelha	32
3.6.3 Consumos energéticos e usos finais	33
3.7 Cimento	34
3.7.1 Preparação da matéria-prima	34
3.7.2 Clinquerização	34
3.7.3 Moagem	35
3.7.4 Consumos energéticos e usos finais	36

3.8 Extrativo Mineral	37
3.8.1 Extração	37
3.8.2 Beneficiamento	38
3.8.3 Consumos energéticos e usos finais de energia	38
3.9 Ferro-ligas	39
3.9.1 Consumos energéticos e usos finais	41
3.10 Indústria Têxtil	42
3.10.1 Fiação	42
3.10.2 Tecelagem e malharia	42
3.10.3 Beneficiamento	43
3.10.4 Confeção	43
3.10.5 Lavanderias industriais	43
3.10.6 Consumos energéticos e usos finais	44
3.11 Produção de Cal	44
3.11.1 Consumos energéticos	46
3.12 Vidro	46
3.12.1 Consumos energéticos	48
3.13 Fundição	48
3.13.1 Consumos energéticos e usos finais	49
Capítulo 4 Metodologia de cálculo do potencial técnico de conservação de energia	51
Capítulo 5 Base de dados e planilhas de cálculo	55
5.1 Alimentos e Bebidas	57
5.2 Siderurgia	58
5.3 Celulose e papel	61
5.4 Química	63
5.5 Metais não-ferrosos	65
5.6 Cerâmica	66

5.7 Cimento	68
5.8 Extrativa mineral	69
5.9 Ferro-ligas	70
5.10 Têxtil	71
5.11 Produção de cal	72
5.12 Vidros	73
5.13 Fundições	74
5.14 Planilha de cálculo	75
Capítulo 6 Resultados e análises	77
6.1 Alimentos e Bebidas	78
6.2 Siderurgia	80
6.3 Celulose e papel	83
6.4 Química	86
6.5 Metais não-ferrosos	88
6.6 Cerâmica	91
6.7 Cimento	93
6.8 Extrativa mineral	95
6.9 Ferro-ligas	97
6.10 Têxtil	99
6.11 Produção de cal	101
6.12 Vidros	102
6.13 Fundições	103
Capítulo 7 Conclusões	105
7.1 Recomendações para futuros trabalhos	108
Referências Bibliográficas	109
Anexo	115

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Desagregação dos segmentos industriais energo-intensivos	10
Figura 3.2 – Diagrama simplificado de inúmeros processos da indústria química. Fonte: Bajay (2008)	22
Figura 5.1 – Diagrama de funcionamento da planilha de simulação de potenciais	76
Figura 6.1 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de alimentos e bebidas brasileiro em 2004	78
Figura 6.2 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de alimentos e bebidas brasileiro em 2004	79
Figura 6.3 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento siderúrgico brasileiro em 2007	81
Figura 6.4 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento siderúrgico brasileiro em 2007	82
Figura 6.5 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de celulose e papel brasileiro em 2006	84
Figura 6.6 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de celulose e papel brasileiro em 2006	85
Figura 6.7 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento químico brasileiro em 2006	87
Figura 6.8 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento químico brasileiro em 2006	88
Figura 6.9 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de metais não-ferrosos brasileiro em 2006	89
Figura 6.10 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de metais não-ferrosos brasileiro em 2006	90

Figura 6.11 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica nas indústrias cerâmicas brasileiras em 2007	92
Figura 6.12 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica nas indústrias cerâmicas brasileiras em 2007	93
Figura 6.13 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento cimenteiro brasileiro em 2007	94
Figura 6.14 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento cimenteiro brasileiro em 2007	94
Figura 6.15 – Consumo médio de energia térmica no segmento extrativo mineral brasileiro em 2007	96
Figura 6.16 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento extrativo mineral brasileiro em 2007	97
Figura 6.17 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de ferro-ligas brasileiro em 2007	98
Figura 6.18 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica nas indústrias têxteis brasileiras em 2005	99
Figura 6.19 – Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica nas indústrias têxteis brasileiras em 2005	100
Figura 6.20 – Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica no segmento de cal em 2007	102
Figura 6.21 – Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica nas indústrias de vidro em 2007	103
Figura 6.22 – Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica no segmento de fundição em 2007	104

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Especificação do cimento Portland no Brasil, em %. Fonte: SNIC (2007)	35
Tabela 5.1 – Gradação da confiabilidade dos dados	56
Tabela 5.2 – Classificação da confiabilidade dos segmentos industriais	56
Tabela 5.3 – Produção e consumos energéticos específicos de Alimentos e Bebidas. Fonte: Brown, Hamel and Hedman (1985); Amostra de 137 empresas	57
Tabela 5.4 – Cadeias, produtos, produção e consumos específicos de energia na indústria química. Fonte: Brown, Hamel and Hedman (1985); Tolmasquim, Szklo e Soares (2003); IEA (2007); Visitas técnicas	63
Tabela 5.5 – Produção e consumos energéticos específicos dos metais não ferrosos. Fonte: ABAL (2004); MME (2008b); Tolmasquim, Szklo (2000); IEA (2007); Alvarado et alli (2002)	66
Tabela 5.6 – Produção e consumos energéticos específicos no segmento cimenteiro. Fonte: MME (2008a); SNIC (2009); Sares (1998); IEA (2007); Práticas da Votorantim	68
Tabela 5.7 – Produção e consumos energéticos específicos de energia elétrica no segmento de ferro-ligas. Fonte: MME (2008b); IEA (2007); Práticas da CVRD	71
Tabela 5.8 – Produção e consumos energéticos específicos para o segmento têxtil. Fonte: IEMI (2006); PREGA (2005); EMS-TEXTILE PROJECT (2006)	72
Tabela 7.1 – Potenciais técnicos, absoluto, em tEP, e relativo, em %, de conservação de energia térmica, eletricidade e consumo total de energia dos segmentos industriais energo-intensivos	106

Nomenclatura

Siglas

ABESCO - Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química

ABIVIDRO - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

ABRAFE - Associação Brasileira de Produtores de Ferroligas e de Silício

ACERVIR - Associação de Cerâmicas Vermelhas de Itú e Região

AIE - Agência Internacional de Energia

ANDA - Associação Nacional para a Difusão de Adubos

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica

ASPACER - Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento

BAT - Best Available Technology

BEN - Balanço Energético Nacional

BEU - Balanço de Energia Útil

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética

CNP - Conselho Nacional de Petróleo

CVRD - Companhia Vale do Rio Doce

IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia

NIPE - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PNE - Plano Nacional de Energia

Capítulo 1

Introdução

O setor industrial brasileiro demanda grande quantidade de energia, trinta e oito por cento de toda a consumida no país (MME, 2008a). É possível destacar um sub-conjunto denominado energia-intensivo, dentro das indústrias nacionais, que consome razoável parcela energética daquele setor. Dessa forma, a realização de simulações de potenciais técnicos de conservação de energia no contexto desse grupo de setores energia-intensivos é justificada.

Usar a energia de forma racional, evitando desperdícios nos mais variados estágios da cadeia de produção e consumo, é uma forma inteligente de gerir adequadamente as demandas e melhorar a produtividade em qualquer contexto, com benefícios ambientais e econômicos. Talvez essa seja uma das poucas alternativas para enfrentar as expectativas preocupantes de expansão da demanda. Em virtude disso, novos programas de conservação de energia que envolvem não só tecnologias mais eficientes, mas também novos arranjos gerenciais e melhores hábitos de consumo, têm sido adotados em inúmeros países. Tais programas visam otimizar o perfil e o mix do consumo, de forma a diminuir tanto os gastos com energia quanto os impactos ambientais associados ao consumo dela.

Esta dissertação está inserida no contexto de um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado por um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas, através do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. O projeto em questão foi encomendado pela Confederação Nacional das Indústrias e aborda a conservação de energia no setor industrial

visando a implementação de programas de eficiência energética nesse setor. Através da base de dados desenvolvida no projeto foi possível efetuar cálculos do potencial técnico de conservação de energia para cada segmento industrial energo-intensivo da indústria brasileira.

O objetivo dessa dissertação é simular, a partir dos dados obtidos de consumos energéticos específicos, coeficientes de distribuição de energia e produção, os potenciais técnicos de conservação de energia nas indústrias energo-intensivas brasileiras. A obtenção desses potenciais permitirá que tanto os agentes governamentais responsáveis pelas políticas energéticas quanto a própria indústria balizem-se e adotem medidas visando à eficiência energética.

No Brasil, ainda não há políticas de incentivo à conservação de energia no setor industrial. Nos Estados Unidos da América, o *U.S. Department of Energy – DOE* – mantém o *Industrial Technologies Program – ITP* – cujos principais objetivos são melhorar a eficiência energética e diminuir os impactos ambientais das indústrias. O ITP trabalha com as oito indústrias mais energo-intensivas dos EUA, e para cada uma delas mantém um portfólio levando em conta a realidade industrial do segmento em questão.

Conhecendo o potencial técnico de conservação de energia, é possível estabelecer metas e traçar caminhos objetivando o uso racional de energia através da criação de um programa semelhante àquele do DOE, e alavancar de vez as ações de eficiência energética no país, que até o momento têm sido modestas.

1.1 Estrutura da dissertação

O Capítulo 2 aborda a importância da conservação de energia, que pode ser de cunho tecnológico, via aumento das eficiências energéticas de equipamentos e processos – reduzindo as perdas –, ou pode ser de cunho comportamental. Definem-se, também, os potenciais técnico, econômico e de mercado de conservação de energia. O capítulo é finalizado com um breve histórico das ações brasileiras no sentido de conservação.

O Capítulo 3 caracteriza os segmentos industriais energo-intensivos, que podem ser classificados como homogêneos ou heterogêneos, um a um, técnica e energeticamente. Através da caracterização técnica são apresentados os principais produtos, as matérias-primas e os processos de fabricação utilizados. Aspectos como demanda energética, parcelas de mercado dos principais energéticos e usos finais são apresentados na caracterização energética. Treze são os segmentos abordados: alimentos e bebidas, siderurgia, celulose e papel, química, metais não-ferrosos, cerâmica, cimento, extrativa mineral, ferro-ligas, têxtil, produção de cal, vidro e, por fim, fundição.

O Capítulo 4 desenvolve a metodologia usada para o cálculo dos potenciais de conservação de energia. Tal método utiliza dados de produção e consumos energéticos específicos médios e mínimos. Aqueles representam a média nacional da energia consumida por unidade física de produto dentro de uma etapa ou uma cadeia industrial, enquanto que estes representam a quantidade de energia que seria consumida pelas empresas industriais se todas elas adotassem tecnologias, equipamentos e práticas de gestão que correspondem ao estado da arte, em termos de eficiência energética.

O Capítulo 5 explica a obtenção de dados de consumos energéticos específicos médio e mínimo, de produção e de coeficientes de distribuição de energia por usos finais. O capítulo inclui, também, ponderações a respeito da confiabilidade das informações levantadas. Todos estes dados são estruturados em uma base de dados através de uma planilha Excel, que também é empregada na simulação dos potenciais de conservação de energia. A elaboração, o funcionamento e o uso de tal planilha são explicados.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos. Optou-se por apresentá-los em forma gráfica, de modo que, para cada segmento, um gráfico contempla apenas potenciais técnicos de conservação de energia térmica e o outro apenas potenciais de eletricidade. Quando possível, foram feitas comparações entre estes resultados e potenciais de conservação de energia publicados anteriormente em outros trabalhos.

E, por fim, o Capítulo 7 apresenta a conclusão e as recomendações para futuros trabalhos.

Capítulo 2

Conservação de Energia

O encarecimento do insumo energia torna um país menos competitivo, visto que este bem tem o poder de interferir em todos os segmentos da economia (MME, 2007). Portanto, investir em eficiência energética deve ser encarado como opção estratégica, afinal ela pode ser uma alternativa para o governo no atendimento à evolução da demanda de energia, minimizando os impactos sócio-ambientais de qualquer que seja a alternativa em expansão da geração e transmissão, no caso da energia elétrica, e da extração e distribuição, no caso do setor de óleo e gás. Promover a eficiência energética, geralmente, é o meio mais econômico e rápido de melhorar a segurança energética e reduzir emissões de gases estufa (IEA, 2008).

A demanda por energia pode ser atendida por diferentes fontes, sejam elas primárias, como as disponíveis na natureza, ou secundárias, como aquelas que resultam da conversão, em centros de transformação. Em cada setor da economia, requer-se energia para diversas finalidades, que são denominadas usos finais, por exemplo, força motriz, aquecimento direto, calor de processo e processos eletroquímicos.

Há perdas na conversão da energia primária ou secundária nos diversos usos finais. A energia efetivamente utilizada em cada uso final, ou seja, a energia consumida menos as perdas constitui o que se chama de energia útil. Esta pode ser determinada por meio da multiplicação da energia consumida no uso final pelo rendimento de conversão.

Diminuir as demandas de energia útil sem que se tenham prejuízos nas atividades econômicas e, principalmente, aumentar a eficiência de conversão nos usos finais são os principais objetivos dos programas de conservação de energia. Tais programas são caracterizados por mecanismos de fomento à ações de conservação, que podem estar direcionadas, por exemplo, para a troca de equipamentos obsoletos por outros mais eficientes, para mudanças de hábitos, ou, ainda, mudanças de uma fonte de energia por outra, com ganhos de eficiência. Sob tais conceitos, é possível classificar os mecanismos de fomento à eficiência energética em dois grandes perfis: tecnológicos e comportamentais. O primeiro implementa novos processos e utiliza novos equipamentos que permitem reduzir as perdas de energia. O segundo fundamenta-se em mudanças de hábito e padrões de utilização, reduzindo o consumo energético sem alterar o parque de equipamentos conversores de energia.

A eficiência energética, enquanto assunto de Estado, possui dois mecanismos de fomento: mecanismos voluntários e compulsórios. O primeiro atua como motivador do mercado na implementação voluntária de ações de eficiência. O segundo baseia-se em condicionantes de ordem legal, que impõem a adoção de procedimentos que determinam uma redução das perdas de energia, normalmente de perfil técnico.

A situação de incerteza relativa aos suprimentos mundiais de energia que apresentam, em determinados momentos, baixo e em outros, elevados preços do petróleo acompanhados de queda e incremento na demanda de energia, aliada aos sérios problemas ambientais associados à geração, transformação, transporte e utilização de energia, faz com que preocupações relacionadas ao uso eficiente da energia continuem a ser importante componente da política energética de qualquer país.

Para se planejar programas de eficiência energética, é necessário se conhecer os potenciais de conservação de energia, por setores da economia e, sempre que possível, por usos finais. Estes potenciais podem ser classificados como técnicos, econômicos ou de mercado.

2.1 Potenciais de conservação

Potenciais técnicos são aqueles que levam em conta apenas restrições tecnológicas para serem implementados, enquanto que potenciais econômicos são aqueles que, além de considerarem as restrições tecnológicas, levam em conta, também, eventuais restrições econômicas, como, por exemplo, acesso a créditos vantajosos, eventuais incentivos fiscais, taxas de retorno almejadas, etc. Dessa forma, o potencial econômico é menor do que o potencial técnico. Por fim, há o potencial de mercado, que é uma fração do potencial econômico, por contemplar restrições, freqüentemente de cunho comportamental dos decisores, adicionais à considerações puramente econômicas, mas que são determinantes para a implementação, de fato, de novos projetos no mercado. Evidentemente, esse último é o mais realista. Cabe ressaltar que, nesse trabalho, não estão previstos os cálculos dos potenciais econômico e de mercado, apenas o técnico.

2.2 As medidas de eficiência energética adotadas no Brasil

As crises de petróleo, na década 1970, fizeram os países repensarem suas políticas energéticas, no qual muitos se voltaram para buscar o uso eficiente de energia. Por outro lado, a década de 1980, marcada por um período de relativa instabilidade dos preços de petróleo, reduziu significativamente os investimentos em eficiência energética. Mas foi a preocupação com as emissões, no final desta década, que reverteu este cenário conferindo novamente a importância da eficiência energética nas políticas governamentais.

O Brasil vem desenvolvendo mecanismos de eficiência energética suportado principalmente por vários programas como o Procel e o Conpet e ações institucionais como a obrigação contratual das empresas distribuidoras de energia elétrica investirem um percentual de sua receita em programas de eficiência energética e a Lei de Eficiência Energética.

Motivado pelos choques do petróleo, o Brasil deu início a reformulação da política de oferta de energia. Assim, passou-se a focalizar com maior intensidade o óleo combustível consumido nas indústrias. Uma série de medidas impopulares foram adotadas pelo CNP – Conselho

Nacional de Petróleo, tais como cortes no fornecimento e cotas de combustíveis para as indústrias. Diante desse quadro, que desagradou o meio empresarial brasileiro, foi criado em 1981 pelo governo federal, o programa Conserve, que tinha como objetivo estimular a conservação e substituição do óleo combustível na indústria. Surge nessa época a prática de realizar diagnósticos energéticos em estabelecimentos industriais e comerciais para identificar o potencial de redução das perdas de energia em cada caso (NOGUEIRA, 2007). Foram desenvolvidos protocolos que produziram efeitos sobre a eficiência energética de setores como o de cimento, siderurgia e papel e celulose (MME, 2007).

Nos Estados Unidos, mais precisamente na Califórnia, na década de 1970, teve início um programa que visava o estabelecimento de padrões e/ou etiquetas de eficiência energética de equipamentos, de forma voluntária ou compulsória. A partir daí, diversos outros países se sentiram motivados a replicar essa experiência de padrões e etiquetas em vários produtos. No Brasil, em 1984 começaram as ações do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, voltado para a avaliação do desempenho de equipamentos energéticos e informação aos consumidores, com uma ampla cobertura de tipos de equipamentos e modelos etiquetados que inclui eletrodomésticos, motores elétricos, fogões e aquecedores de água a gás e coletores solares.

Todavia, a partir da segunda metade da década de 1980, devido à queda do preço do barril de petróleo e ao controle, por parte do governo brasileiro, do preço dos combustíveis como meio de conter a inflação, boa parte dos esforços obtidos em conservação foram anulados. Nessa época, agrava-se a conjuntura do setor elétrico, levando à criação, em 1985, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel, sob a coordenação da Eletrobrás, em que especial destaque é dado ao Selo e ao Prêmio Procel que, em conjunto com as atividades de etiquetagem e marketing, são responsáveis por quase 70% dos resultados obtidos. De modo complementar e sob o acompanhamento da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, desde 1999 o Programa de Eficiência Energética – PEE – tem orientado a aplicação de 0,5% do faturamento das concessionárias de energia elétrica em eficiência energética.

Com o reconhecimento de potenciais análogos de economia de energia no setor de combustíveis, em 1991 foi lançado o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural – Conpet, gerido pela Petrobras, no qual se destacam ações na área de transporte de carga, passageiros e combustíveis, bem como ações educacionais, de marketing e etiquetagem, com o Selo e o Prêmio Conpet.

Segundo Nogueira (2007), esses programas vêm acumulando um bom acervo de resultados, embora ainda não tenham contado com a visibilidade adequada e o nível de importância devido, além de carecer de uma maior coordenação entre si.

Um marco importante para a eficiência energética no Brasil foi a Lei n.10.295, sancionada em outubro de 2001, dispondo sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Tal lei prevê o estabelecimento de "níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país", responsabilidade do Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, constituído pelo Executivo nos termos do Decreto 4.059, também de 2001. Utilizando seus instrumentos, já foram estabelecidos níveis mínimos de desempenho, por exemplo, para motores elétricos trifásicos de indução e lâmpadas fluorescentes compactas. É interessante observar que essa lei permite definir níveis mínimos de desempenho, em caráter compulsório, portanto de modo diferenciado da etiquetagem classificatória de eficiência do PBE, que se realiza essencialmente de modo voluntário.

Hoje, existe mais reconhecimento de que a eficiência energética está intrinsecamente associada ao aumento da produtividade e à benefícios ao meio ambiente. Merece também atenção a qualidade e produtividade da indústria nacional, principalmente das indústrias energo-intensivas, que concorrem em um mercado global; portanto, programas de eficiência energética bem sucedidos podem melhorar substancialmente sua posição competitiva neste mercado (MME, 2007).

Capítulo 3

Caracterização Técnica e Energética dos Segmentos Industriais Energo-Intensivos Brasileiros

O setor industrial brasileiro pode ser dividido em vários segmentos, e, dentre eles, há os denominados energo-intensivos, ou seja, aqueles cuja demanda energética é alta. Podem ser assim classificados os seguintes segmentos industriais: alimentos e bebidas, siderurgia, celulose e papel, química, metais não-ferrosos, cerâmica, cimento, extrativa mineral, ferro-ligas, têxtil, produção de cal, vidro e, por fim, fundição.

Tais segmentos podem, por sua vez, ser desagregados de diferentes formas. Quando se trata de segmentos heterogêneos, como a indústria química, que possuem centenas, ou milhares, de produtos e uma infinidade de processos produtivos distintos, eles são desagregados em cadeias que reúnem produtos cujos processos produtivos são semelhantes. Por outro lado, quando se trata de segmentos homogêneos, nesse trabalho, utilizam-se dois níveis de desagregação, dependendo da disponibilidade de dados de produção e consumos energéticos. O nível 1 é aquele cujas informações do segmento são escassas, não podendo este ser desagregado. Por outro lado, quando se possuem informações de produção e consumos energéticos das etapas do processo produtivo, ou dos sub-segmentos que reúnem tais etapas, ocorre o nível 2. A Figura 3.1 ilustra todas as possibilidades de desagregações realizadas nos segmentos industriais energo-intensivos.

O objetivo desse capítulo é caracterizar de forma técnica e energética os segmentos citados acima apresentando os principais produtos, matérias-primas, processos de fabricação, demanda

energética total e parcelas de mercado dos principais energéticos. São, também, analisadas informações disponíveis sobre os usos finais de energia.

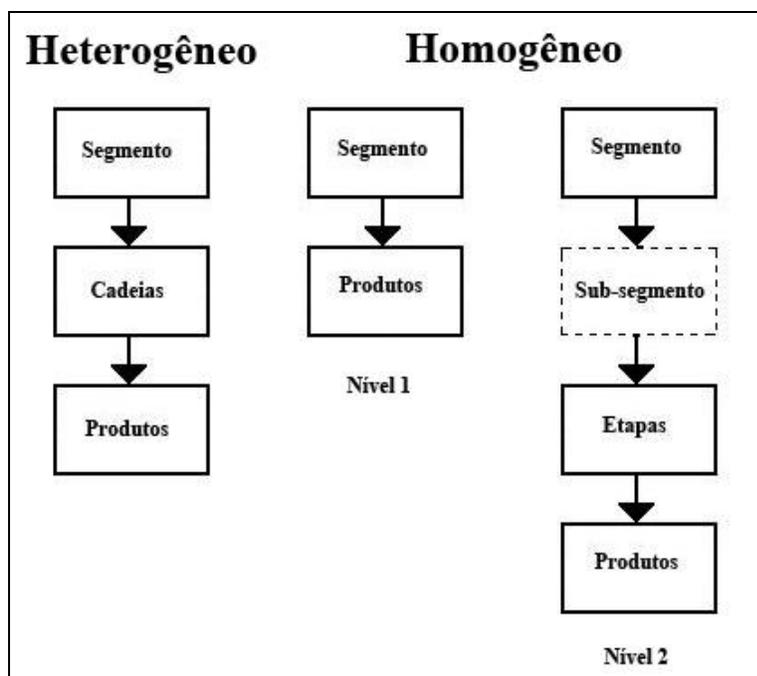


Figura 3.1: Desagregações dos segmentos industriais energo-intensivos

No Brasil, o consumo final de energia, em 2007, foi de 215.565 mil tEP, dos quais 81.915 mil tEP, ou seja, 38%, foram consumidos pelo setor industrial. Naquele ano, o consumo final de eletricidade foi de 35.443 mil tEP, com o setor industrial respondendo por 16.565 mil tEP, ou seja, 46,7% do total (MME, 2008a). Esses dados evidenciam a grande demanda energética deste setor, que, em 2007, foi o maior consumidor de energia do país. A seqüência de apresentação dos segmentos industriais segue a classificação de seu consumo energético total, do maior para o menor, segundo o Balanço Energético Nacional de 2008.

3.1 Alimentos e Bebidas

A indústria de alimentos é uma das principais indústrias de transformação do País. Trata-se de um segmento bastante diversificado cuja estrutura de produção agrega mais de 850 tipos de produtos, em incessante renovação, em um universo de 42 mil plantas industriais, responsáveis

por cerca de 12 milhões de postos de trabalho diretos, que são multiplicados por três quando se levam em conta os empregos indiretos (BAJAY, 2008).

A indústria de alimentos e bebidas pode ser subdividida nas seguintes cadeias: bebidas, que inclui tanto as alcoólicas como cerveja, cachaça, etc., quanto as não alcoólicas como refrigerantes, sucos, etc.; abate de carne; industrialização de carne; soja (esmagamento); refino de óleos vegetais; pasteurização do leite; industrialização do leite; trigo (produção de farinha e farelo); arroz (branco, polido e parboilizado); milho; café (torrado, moído e solúvel); rações e alimentos para animais; pescados; cacau, chocolate, balas e doces e, finalmente, suco de laranja.

Além das quinze cadeias anteriores, há ainda a cadeia da produção do açúcar, que não será abordada nessa dissertação, embora seja de grande importância econômica e energética para o Brasil. Os motivos dessa decisão são explicados na próxima seção.

3.1.1 Consumo energético e usos finais

O consumo final de energia (incluindo-se a produção de açúcar), em 2007, desse segmento foi de 21.262 mil tEP, o que equivaleu a 26% de toda a energia consumida pelas indústrias. Naquele mesmo ano, foram consumidos 1.926 mil tEP somente de eletricidade, ou seja, 11,6% do usado no setor industrial (MME, 2008a). Isso faz desse segmento o maior consumidor industrial de energia e o quarto maior de eletricidade.

No entanto, quando se desconsidera a produção de açúcar, o consumo final de energia cai para 4.738 mil tEP. O bagaço da cana é o principal insumo energético empregado na fabricação daquele produto. Por ser um resíduo do processo produtivo, esse energético tem praticamente custo zero aos usineiros. De acordo com o BEN (MME, 2008a), em 2007, 16.116 mil tEP tiveram como fonte esse resíduo, que foi consumido, quase em sua totalidade, na própria fabricação do açúcar. Só para se ter uma idéia, esse valor corresponde a 75,8% dos 21.262 mil tEP citados no começo dessa seção.

No contexto desse trabalho, portanto, não há razão para se considerar a produção de açúcar dentro do segmento de alimentos e bebidas, pois o principal energético é um resíduo de processo cujos custos são praticamente nulos e que supre quase na íntegra a demanda energética das usinas. Assim, medidas de conservação de energia não fazem sentido no mundo real.

Dessa forma, nesse segmento (desconsiderando-se a produção de açúcar), o energético mais consumido, em 2007, foi a lenha, ao invés do bagaço. Em segundo e terceiro aparecem, respectivamente, a eletricidade e o gás natural. Particularmente, a lenha é um combustível que tem se mantido com consumo estável desde a década de noventa (MME, 2008a). Por outro lado, o gás e a eletricidade tiveram a participação deles aumentada, enquanto que o óleo combustível teve seu consumo diminuído ao longo dos últimos anos.

Doravante, quando se falar em segmento de alimentos e bebidas, deve-se levar em conta que a produção de açúcar não está sendo abordada, a não ser que o contrário seja explicitado.

O principal uso final da energia consumida nessas indústrias foi na forma de calor de processo, seguido pelo aquecimento direto, força motriz e refrigeração segundo o Balanço de Energia Útil (MME, 2005). Considerando-se as quinze cadeias citadas na seção anterior, pode-se dizer que elas são compostas por vários produtos finais e diferentes processos industriais, que, por sua vez, são compostos de várias operações. Dentre estas, as principais consumidoras de energia são: secagem, processos de separação (evaporação e destilação), cozimento, refrigeração e fornecimento de vapor ou de água quente.

3.2 Siderurgia

O segmento siderúrgico brasileiro, por ser homogêneo, pode ser dividido em três sub-segmentos: (i) produtores independentes que produzem exclusivamente ferro-gusa; (ii) usinas integradas e (iii) não integradas. As duas últimas produzem aço bruto. O termo aço bruto refere-se ao produto que deixa a etapa de lingotamento. Após essa etapa, o aço pode ser convertido em uma série de produtos, como barras, chapas, trefilados, tubos, etc.

As principais matérias-primas são minério de ferro, sucatas de ferro e aço, materiais fundentes como calcário e dolomita, carvão mineral, carvão vegetal e coque. O carvão mineral, além de constituir uma importante fonte de matéria-prima dentro do processo produtivo, é a principal fonte energética consumida nas usinas siderúrgicas.

A produção de aço bruto atingiu 33,8 milhões de t em 2007, enquanto que a produção de ferro-gusa foi de 35,6 milhões de t naquele ano, 73% do total do ferro-gusa produzido originou-se de usinas integradas e o restante de produtores independentes (MME, 2008b).

A região Sudeste é a principal produtora de aço, e os fatores que explicam esta concentração são: a disponibilidade de minério de ferro de excelente qualidade no Estado de Minas Gerais; a proximidade de portos para exportação; e a proximidade dos principais mercados consumidores. O Estado de Minas Gerais, além de concentrar o maior número de produtores independentes, é responsável por 52,4% da produção de ferro-gusa do país. A região de Carajás, nos Estados do Pará e Maranhão, detém a fatia de 40,8% da produção desse ferro (BAJAY, 2008). O restante vem de plantas localizadas noutros Estados, principalmente Espírito Santo (MME, 2008b).

3.2.1 Etapas do processo produtivo

O segmento siderúrgico pode ser desagregado em cinco etapas, são elas: a coqueificação, a sinterização, a redução, o refino e a laminação. Os produtores independentes realizam as três primeiras, as usinas integradas, que podem utilizar altos-fornos a coque de carvão mineral ou altos-fornos a carvão vegetal, fazem todas as etapas e as usinas não integradas, que se concentram apenas na produção do aço bruto, desempenham apenas as duas últimas. A seguir, cada uma das etapas é caracterizada técnica e energeticamente.

3.2.1.1 Coqueificação

A produção de ferro-gusa a partir de coque tem início com a coqueificação que é a etapa na qual o carvão mineral é aquecido a altas temperaturas, promovendo a liberação de gases e a

formação do coque, um resíduo sólido, poroso, com alta concentração de carbono. Para essa etapa ser bem sucedida, é preciso que o carvão mineral seja do tipo metalúrgico, em outras palavras, tenha baixos teores de cinzas e de enxofre, além de baixa incidência de materiais voláteis, para não prejudicar a produtividade e o consumo energético nos altos-fornos.

Do processo de coqueificação tem-se, como subproduto, um gás combustível, o chamado gás de coqueria, usado como insumo energético na planta.

3.2.1.2 Sinterização

Em jazidas de minério de ferro, não raro, uma parte deste minério é constituída por material friável, que se desagrega facilmente, produzindo finos que não podem ser usados diretamente no alto-forno ou na redução direta. Tais finos necessitam ser aglomerados em processos de sinterização, ou de pelletização, produzindo material de granulometria controlada e bom rendimento nos altos-fornos.

Em linhas gerais, a sinterização consiste no aquecimento da mistura (minério de ferro, fundentes e coque) com vaporização da água, na calcinação dos carbonatos, na semifusão e na aglomeração do material carregado através da queima do próprio coque que constitui a mistura. A fração de minério de ferro, dentro da granulometria desejada, é destinada ao alto-forno.

A pelletização é uma etapa alternativa à sinterização e visa à aglomeração do minério de ferro na forma de pelotas, que hoje são aceitas como a melhor maneira de alimentação dos altos-fornos modernos e das unidades de redução direta. Há várias vantagens quanto ao produto obtido, tais como alto teor de ferro, uniformidade dimensional, alta resistência mecânica, maior redutibilidade e melhor aproveitamento metalúrgico dentro do alto-forno. Também do ponto de vista da mineração, a pelletização é muito importante, pois permite a utilização dos finos de minério, normalmente considerados como rejeitos.

A maior parte da produção de pelotas no Brasil é destinada à exportação. Em 2007, de um total de 54 milhões de toneladas produzidas, 50 milhões foram destinados à exportação (MME, 2008b).

3.2.1.3 Redução

A etapa de redução do minério de ferro se processa no alto-forno, por meio da gaseificação do coque, ou do carvão vegetal, que fornecem tanto o agente redutor quanto a energia necessária ao processo.

Têm-se como produtos dessa etapa: (i) o ferro gusa líquido, que é uma mistura de ferro, carbono e manganês, além de silício, potássio e enxofre em proporções menores; (ii) a escória, que é um composto formado por óxidos de cálcio, silício e magnésio; e (iii) o gás de alto-forno. O gás de alto-forno, com poder calorífico entre 2,58 e 3,03 MJ/Nm³ (BAJAY, 2008), é usada no pré-aquecimento de ar e como combustível em outras partes do processo. Além do coque, os altos-fornos também podem consumir, de uma forma complementar, outros energéticos, tais como óleos combustíveis, gases, alcatrão e finos de carvão.

No Brasil, uma rota alternativa empregada na produção de ferro-gusa baseia-se no uso de carvão vegetal como agente redutor, ao invés do carvão mineral. Quando tal rota é escolhida, o processo de produção de coque é substituído por uma planta de carvoejamento, usando, no caso das usinas integradas, madeira de florestas plantadas.

O processo de redução direta, no qual os óxidos metálicos sofrem redução no estado sólido, é uma alternativa ao processo de redução em altos-fornos. O produto desse processo é o ferro esponja, isto é, o minério de ferro do qual foi retirado, em grande parte, o oxigênio combinado. Este ferro é uma excelente carga para fornos elétricos, produzindo menos resíduos do que aqueles produzidos por sucatas não-selecionadas. Os elementos redutores usuais são o hidrogênio, o monóxido de carbono (derivados, ambos, de um processo de reforma do gás natural ou do carvão), certas misturas desses dois gases e o carbono.

3.2.1.4 Refino

Dois processos destacam-se na etapa de refino: a produção propriamente dita do aço na aciaria; e o lingotamento, onde ocorre a solidificação do aço. Na aciaria existem duas rotas tecnológicas predominantes: o conversor a oxigênio – também chamado LD (Linz-Donawitz) – e o forno elétrico a arco. O primeiro é utilizado em usinas integradas a coque, ou a carvão vegetal. O segundo é mais usado em usinas não integradas, cujo processo começa na aciaria, ou em usinas integradas que empregam a redução direta.

O consumo energético da aciaria é pequeno em comparação com as necessidades de todo o processo de produção: a demanda de energia nessa etapa é calculada em 3,5% do consumo global (BAJAY, 2008). Escória fundida e gás de aciaria, este último destinado ao sistema de gases da usina, são subprodutos da produção do aço na forma líquida.

A partir da obtenção do aço líquido, abrem-se duas possibilidades distintas no processo onde o aço é solidificado: os lingotamentos convencional e contínuo. Este último é o mais empregado por apresentar ganhos na qualidade do produto com perdas inferiores de material e um menor consumo de energia. Segundo Bajay (2008), o consumo global de energia no lingotamento é pequeno, perto de 2% do total.

3.2.1.5 Laminação

Na laminação, que pode ser a quente ou a frio, o consumo energético é baixo. Trata-se, basicamente, de uma etapa de ação mecânica sobre o produto, envolvendo o consumo predominante de energia elétrica.

Os produtos laminados a quente necessitam de energia térmica num processo preliminar: o reaquecimento do aço. Por outro lado, na laminação a frio, os produtos são geralmente recozidos antes das etapas finais do processamento, ou embarque. Os fornos de recozimento – utilizam, normalmente, gás de coqueria, óleo combustível e gás natural – não são equipamentos que respondem por parcelas elevadas do consumo global de uma instalação integrada.

3.2.2 Consumos energéticos, usos finais e subprodutos

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008, o consumo final de energia, em 2007, para se produzir ferro-gusa e aço foi de 18.241 mil tEP, o que equivaleu a 22,3% de toda a energia consumida pelas indústrias. O energético mais consumido, naquele ano, foi o coque de carvão mineral, respondendo por 34,6% de toda a energia utilizada. Em segundo estava o carvão vegetal, com 26,2% do total consumido nesse segmento. A eletricidade ocupava, naquele ano, a quarta posição no ranking dos energéticos mais consumidos nas indústrias siderúrgicas com uma fatia de 8,7% (MME, 2008a). O principal uso final de energia na indústria siderúrgica brasileira de acordo com o BEU (MME, 2005) é o aquecimento direto seguido bem atrás pela força motriz.

Pode-se dizer que os principais subprodutos das indústrias siderúrgicas são a escória de alto-forno, o gás de alto-forno e a escória de aciaria. O Brasil produz cerca de 300 kg de escória de alto-forno por tonelada de aço bruto produzido (BAJAY, 2008), que é utilizada majoritariamente na indústria cimenteira como matéria-prima na produção de cimento. O gás de alto-forno possui baixo poder calorífico, $3,5 \text{ MJ/Nm}^3$, e é usado como combustível em diversas etapas da produção de aço. A escória de aciaria ainda é pouco utilizada, mas possui um grande mercado potencial, sobretudo como componente na pavimentação de estradas vicinais, corretivo de solos e lastro de ferrovias. Outros resíduos como carepas, pós e lamas têm sido, cada vez mais, reutilizados nas próprias usinas siderúrgicas, sobretudo na etapa de produção de sinter.

3.3 Celulose e Papel

De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel, esse segmento é altamente globalizado, capital intensivo e requer um longo prazo de maturação de investimentos. O Brasil, em 2007, foi responsável pela produção de 12 milhões de t de celulose e 9 milhões de t de papel, ocupando a 6ª e a 11ª posições, respectivamente, entre os produtores mundiais (BRACELPA, 2008). A quase totalidade dessas produções deu-se a partir da celulose obtida de madeiras de áreas de reflorestamento, que podem ser duras (eucaliptos) ou mais moles (pinus). A maior

difusão do eucalipto se deve às suas vantagens competitivas, como boa aclimação às condições brasileiras, permitindo aproveitamento da planta em até 7 anos (BAJAY, 2008).

A pasta celulósica pode ser obtida a partir de fibras virgens, provenientes predominantemente da madeira, ou de fibras secundárias (recicladas), através da reconstituição da polpa de papel reciclado (aparas). Por sua vez, a produção de papel pode ocorrer a partir de três formas distintas: (i) usando pasta celulósica de fibras virgens; (ii) usando pasta celulósica de fibras secundárias; ou (iii) usando uma combinação de ambas as pastas. Combinações entre o tipo de fibra, processo, alveamento e matéria-prima resulta na produção de diferentes tipos de pastas e, conseqüentemente, na obtenção dos vários tipos de papel, como é o caso da pasta branqueada, que resulta em um papel com maior grau de alvura.

Em termos de processos de obtenção das pastas de celulose, estas podem ser divididas em dois grupos: pastas químicas e semi-químicas, que originam a celulose através de processos químicos; e pastas de alto rendimento (PAR¹) obtidas por processos de base mecânica.

Quanto aos papéis, estes podem ser divididos em seis grupos: papel de imprensa, papel de imprimir e escrever, embalagens, papéis sanitários, cartões e cartolinas, e papéis especiais (BARBELI, 2003).

Pode-se desagregar o segmento de celulose e papel em quatro sub-segmentos homogêneos: (i) plantas de celulose; (ii) plantas integradas, que produzem celulose e papel; (iii) plantas de papel, que processam a polpa celulósica produzida fora para fabricar o papel, inclusive papel sanitário; e (iv) plantas de reciclagem, que produzem papel a partir de aparas.

Na próxima seção, descrevem-se, sucintamente, os processos produtivos empregados na obtenção de celulose e de papel.

¹ Atualmente as Pastas de Alto Rendimento são pouco produzidas no Brasil

3.3.1 Processos produtivos

A variedade de fibras disponíveis – longas (coníferas), curtas e secundárias – para a produção de papel acaba impondo determinadas soluções tecnológicas no processo produtivo. É nesse contexto que se explicam as diferenças existentes no processamento das diferentes fibras, que se refletem nos vários processos de fabricação de celulose e de PAR.

No Brasil, 81% da polpa química é produzida pelo processo sulfato, também conhecido como processo Kraft (CETCEP, 2004). Ele apresenta várias vantagens sobre outros processos químicos, tais como: (i) admite variada gama de matéria-prima e tamanhos de fibra; (ii) gera pasta mais resistente, com vários níveis de alvura; e (iii) possibilita a recuperação de subprodutos e reagentes químicos utilizados no processo. No entanto, há algumas desvantagens como necessidade de maior aporte de investimentos e gasto extra com operação de branqueamento.

É no contexto da recuperação de subprodutos que é obtido o licor negro, ou lixívia. Esse resíduo é utilizado em caldeiras de recuperação para gerar vapor para fins térmicos e/ou auto-produção de eletricidade. Somente produtores de celulose e plantas integradas produzem a lixívia, cujo poder calorífico é relativamente baixo.

As pastas de alto rendimento são uma alternativa à celulose branqueada em alguns nichos de mercado, onde as exigências por qualidade são menores. As madeiras de fibra longa, como as coníferas, são as mais adequadas para produzir PAR's, sendo que, no Brasil, predomina a utilização do pinus.

Embora existam diversos tipos de papel, a fabricação deles segue as mesmas etapas básicas. Inicialmente, há a preparação da massa a partir da celulose. Depois, ela é encaminhada até as telas da máquina de papel, onde, com a redução da umidade, forma-se a folha de papel. Então, a folha segue para a seção de secagem da máquina, onde a umidade residual é retirada através de cilindros aquecidos. Dependendo do tipo de produto requerido, a folha de papel é encaminhada para tratamento superficial e acabamento final.

A atividade de reciclagem de papel é complementar à produção de fibras virgens. A reciclagem dos papéis é, tecnicamente, muito difícil após quatro a cinco ciclos sem a entrada constante de matérias-primas fibrosas virgens no processo. O processo básico de produção a partir de aparas é muito similar ao que só emprega celulose virgem; a grande diferença diz respeito à necessidade muito maior por etapas de depuração e limpeza.

É importante comentar que a utilização de fibras secundárias, além de vantajosa em termos de um menor consumo de energia, do ponto de vista ambiental, elimina etapas intensivas no uso de produtos químicos (BAJAY, 2008).

3.3.2 Consumos energéticos e usos finais de energia

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008, o consumo final de energia, em 2007, no segmento de celulose e papel foi de 8.555 mil tEP, o que equivaleu a 10,4% de toda a energia consumida pelas indústrias. Naquele ano, a produção de celulose e papel respondeu pelo sexto maior consumo industrial de energia elétrica, 1.426 mil tEP, ou 8,6%.

Em 2007, o energético mais consumido foi a lenha, respondendo por 44,9% de toda a energia utilizada no segmento. Em segundo estava a eletricidade, com 16,7% do total consumido. A lenha, o gás natural e o óleo combustível ocupavam, respectivamente, a terceira, a quarta e quinta posições no ranking dos energéticos mais consumidos nas indústrias de papel e celulose (MME, 2008a).

A lenha é utilizada para gerar vapor de processo e eletricidade em plantas de cogeração. A lenha está fortemente inserida na indústria de papel e celulose, tanto como matéria-prima como combustível. O consumo de gás natural tem crescido à custa da parcela de mercado do óleo combustível. A continuação deste processo de substituição irá depender dos preços relativos futuros destes energéticos e da confiabilidade do suprimento futuro do gás natural.

O principal uso final de energia, de acordo com o BEU (MME, 2005), é o calor de processo, na forma de geração de vapor, seguido bem atrás pela força motriz e aquecimento direto, nessa ordem.

3.4 Química

A indústria química é um dos mais dinâmicos e complexos segmentos da indústria de transformação no País. É um dos segmentos de base da economia, fornecendo uma diversificada gama de insumos e produtos. Ela é intensiva em capital, matérias-primas, tecnologia e energia. O custo desta última pode, em geral, representar até 60% do custo de produção de produtos químicos básicos. No caso da amônia, esta porcentagem atinge 80% (IEA, 2007).

A Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM – não acompanha estatisticamente toda a produção dessa indústria. Com algumas exceções, concentra-se nos produtos químicos de uso industrial, que totalizam aproximadamente 3.000. Entretanto, para um acompanhamento estatístico mais detalhado do desempenho do segmento, a ABIQUIM toma como base um painel formado por cerca de 200 desses produtos.

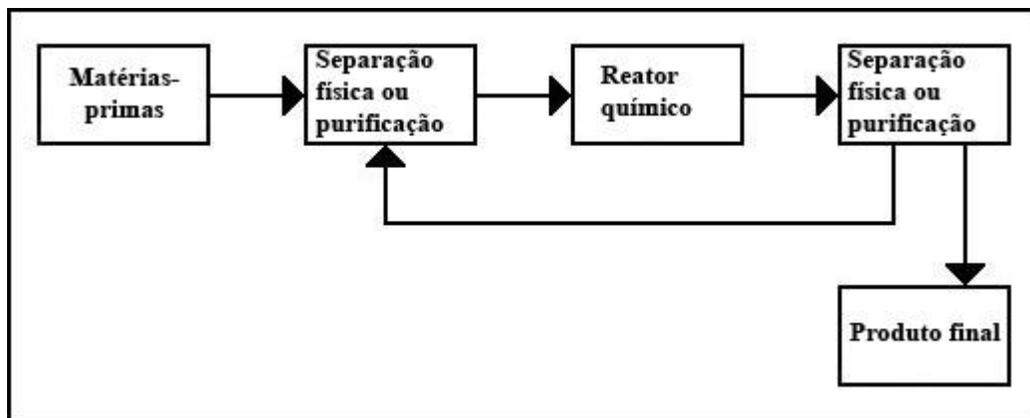
Alguns estudos energéticos sobre a indústria química, encontrados na literatura (BROWN, HAMEL AND HEDMAN, 1985; TOLMASQUIM, SZKLO E SOARES, 2003; IEA, 2007), apontam um universo bem mais reduzido de produtos que respondem por grande parte do consumo de energia nesse segmento. Logo, nesse trabalho, decidiu-se analisar individualmente o consumo energético de 60 produtos² químicos monitorados pela ABIQUIM (2007), para os quais se dispõem de dados de produção e de consumos energéticos específicos, fornecidos por um ou mais dos três estudos mencionados acima. Juntos, eles representam boa parte do consumo energético total da indústria química no País.

A indústria química não se presta à desagregação em segmentos homogêneos, tal qual está sendo feito para muitos dos segmentos industriais analisados. Seguindo a prática do *Office of Industrial Technologies* do *U.S. Department of Energy*, Tolmasquim, Szklo e Soares (2003)

² A listagem completa dos 60 produtos divididos em suas cadeias produtivas encontra-se no Capítulo 5.

dividem a indústria química nas seguintes cinco grandes cadeias produtivas: (i) Etileno ou eteno; (ii) Propileno; (iii) BTX (benzeno – tolueno – xileno); (iv) Fertilizantes; e (v) Cloro-álcalis. Nesse trabalho, acrescenta-se a essas cadeias um grupamento heterogêneo de produtos químicos denominado “Outros produtos com consumo energético elevado”.

A maior parte dos processos produtivos da indústria química podem ser resumidos de acordo com o diagrama da Figura 3.2. A unidade de reação (operação química) é precedida de operações físicas de purificação da matéria-prima e seguida de outras operações físicas de separação e purificação dos produtos. Estas operações físicas e químicas são interligadas por sistemas de transporte das matérias-primas e produtos, como tubulações e acessórios para o deslocamento de fluidos e os transportadores hidráulicos e pneumáticos para os sólidos. Associados a estes sistemas de transporte, estão as máquinas de fluxo, os equipamentos para troca de calor e dispositivos de controle e automação. Este conjunto de equipamentos e acessórios, quando interligados na seqüência lógica da produção, dá origem às plantas industriais. Estas plantas apresentam, de uma maneira geral, grandes semelhanças, com variações de equipamentos, a depender do objetivo de produção. No entanto, em função do processo produtivo, verificam-se diferenças nas matérias-primas e produtos e nas condições operacionais dos equipamentos, notadamente temperatura e pressão.



Fonte: BAJAY (2008)

Figura 3.2: Diagrama simplificado de inúmeros processos da indústria química

Nas seções a seguir, faz-se uma sucinta apresentação das cadeias do segmento químico. Para mais informações, como, por exemplo, produção individual de cada produto e consumos energéticos específicos, veja o Capítulo 5.

3.4.1 Cadeia do etileno

O etileno é um produto relativamente barato com uma alta reatividade química, sendo utilizado, por conseguinte, na produção de inúmeros derivados. Ele é uma importante matéria-prima para a produção do plástico mais usado no mundo, o polietileno. A aplicação de polietileno é bastante variada, dirigindo-se à fabricação de filmes plásticos, embalagens, componentes automotivos, isolamento de cabos, tubos e roupas. O processo de obtenção do etileno envolve a pirólise das matérias-primas, e a escolha destas influencia o consumo energético e o custo do processo.

Dentre os produtos químicos derivados do etileno, são abordados dez nesse trabalho, a saber: polietileno, cloreto de polivinila – PVC, dicloreto de etileno, estireno, cloreto de vinila, etilbenzeno, poliestireno, poliésteres – PET, óxido de etileno e etilenoglicóis. Em 2006, o etileno mais os dez produtos citados acima tiveram uma produção de 8.651,7 mil t, respondendo por 98,4% da produção física total desta cadeia.

3.4.2 Cadeia do propileno

O propileno grau polímero é a segunda matéria-prima mais importante, no mundo, para a produção de plásticos, como o polipropileno e fibras acrílicas. Há, ainda, o propileno grau químico, que é um importante intermediário químico. Mais de dois terços da produção mundial de propileno dá-se a partir do craqueamento térmico de hidrocarbonetos – tais como etano, propano, nafta e gásóleo – com vapor (IEA, 2007). Outras rotas podem ser empregadas, como a desidrogenação catalítica do propano e a desproporcionamento de olefinas. Todavia, segundo Tolmasquim, Szklo e Soares (2003), essas duas rotas alternativas de produção do propileno possuem altos custos operacionais e são mais energo-intensivas do que o processo de craqueamento.

Dentre os produtos químicos derivados do propileno, destacam-se: polipropileno, óxido de propileno, fenol, acetona, acrilonitrila, fibras de polipropileno e fibras acrílicas. Em 2006, o propileno mais estes sete produtos tiveram uma produção de 3.666,6 mil t.

3.4.3 Cadeia do BTX

Benzeno, tolueno e xileno – BTX – fazem parte da família dos hidrocarbonetos aromáticos, que possuem estruturas químicas cíclicas. Os derivados de BTX são os produtos originados pela sua transformação, que encontram aplicação na obtenção de polímeros, solventes, tintas e produtos farmacêuticos, entre outros.

Durante a reforma catalítica da nafta são produzidos benzeno, tolueno e xilenos. A proporção de cada um deles depende da demanda do mercado, mas, normalmente, a produção de benzeno é priorizada.

Dentre os produtos químicos derivados do BTX estão ácido tereftálico – TPA, ciclohexano, caprolactama, ácido adípico, nylon-6, nylon-6,6, anidrido maleico, anidrido ftálico e resinas fenólicas. Em 2006, a produção de BTX junto com os nove produtos derivados foi de 2.342,8 mil t.

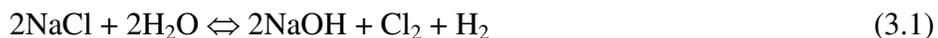
3.4.4 Cadeia dos fertilizantes

Gás natural, resíduos pesados do petróleo, nafta, enxofre natural, pirita, rochas fosfáticas “*in situ*” e rochas potássicas são as matérias-primas primárias dessa cadeia, a partir das quais se obtém as matérias-primas secundárias, que são a amônia, o enxofre processado e rochas fosfáticas processadas. Estes, por seu turno, possibilitam a produção dos seguintes produtos intermediários: ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido fosfórico. Finalmente, se tem os fertilizantes básicos, que incluem, entre outros, a uréia, o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, o fosfato de amônio e os superfosfatos. Estes fertilizantes são, então, granulados e misturados para se obter a composição NPK desejada, antes de serem distribuídos e comercializados.

A produção de ácido sulfúrico foi dominante em 2006, seguida pela produção de superfosfatos, A cadeia dos fertilizantes produziu, naquele ano, 17.506,7 mil t de produtos, sendo, dentre todas as cadeias analisadas nesse trabalho, a que apresentou a maior produção física.

3.4.5 Cadeia do cloro-álcalis

A soda cáustica (NaOH) e o cloro são obtidos simultaneamente a partir da dissociação eletrolítica do cloreto de sódio, ou cloreto de potássio. Nesse processo, o cloro é produzido no ânodo, e o hidróxido de sódio, juntamente com o hidrogênio, são produzidos no cátodo, partes integrantes de uma cuba eletrolítica. A reação principal do processo, no caso de se empregar cloreto de sódio como matéria-prima, é a seguinte:



Um cuidado especial neste processo envolve a redução do tempo de contato dos produtos, depois de formados, pois, caso contrário, formam-se compostos oxigenados de cloro. Ademais, do ponto de vista de segurança do processo, é essencial que os gases hidrogênio e cloro sejam separados, uma vez que a mistura resultante pode ser altamente explosiva (TOLMASQUIM, SZKLO E SOARES, 2003).

Os principais insumos deste segmento da indústria química no Brasil são o sal marinho, o salgema e a energia elétrica. Por causa do processo de eletrólise, a produção de cloro-álcalis é considerada eletro-intensiva, sendo a energia elétrica o principal fator na formação do custo desta indústria, com uma incidência média de 30% no preço da soda cáustica (BAJAY, 2008).

Existem três rotas tecnológicas empregadas na produção de soda e cloro no Brasil. As duas rotas mais antigas são as células a diafragma e as células de mercúrio, ambas desenvolvidas no final do século XIX e responsáveis pela grande maioria da produção no País. Bem mais recentemente, com o desenvolvimento de membranas de troca iônica, surgiu o processo que

emprega células de membrana. No Brasil, em 2006, somente 5,4% da produção foi através de células de membrana (ABICLOR, 2007).

3.4.6 Cadeia dos outros produtos com consumo energético elevado

Nesta seção são apresentados alguns outros produtos químicos com consumos energéticos elevados, que foram apontados como importantes na caracterização energética da indústria química elaborada por Brown, Hamel and Hedman (1985), e/ou no estudo mais recente, válido em escala global, realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2007).

Os produtos que formam essa cadeia são: metanol, butadieno, borracha de estireno-butadieno, polibutadieno, buteno-1, formaldeído, metacrilato de metila e metacrilato de etila, butanol-iso e butanol-n, isopropanol, éter metil-terc-butílico, dióxido de titânio, óxido de zinco, resinas fenólicas, resinas melamínicas e resinas uréicas. A produção total dessa cadeia, em 2006, foi de 2.749 mil t.

3.4.7 Consumos energéticos e usos finais de energia

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008 (MME, 2008a), o consumo final de energia, em 2007, no segmento químico foi de 7.715 mil tEP, o que equivaleu a 9,4% de toda a energia consumida pelas indústrias. Naquele ano, o consumo de energia elétrica foi de 1.985 mil tEP, o que correspondeu a 12% de toda a eletricidade consumida no setor industrial.

Em 2007, a categoria “outras fontes secundárias de petróleo” – constituída principalmente por resíduos, sobretudo gasosos, de processos de produção de derivados de petróleo e de produtos químicos que utilizam derivados de petróleo como matérias-primas – foi a mais consumida, respondendo por 34% de toda a energia utilizada no segmento. Em seguida estava o gás natural, com 29,3% do total consumido (MME, 2008a). A eletricidade apareceu em terceiro lugar no ranking dos energéticos mais consumidos na indústria química, e bem mais atrás, com apenas 6,2% de participação, ocupando a quarta posição, estava o óleo combustível. Este último sofreu um forte processo de substituição pelo gás natural e pelas “outras fontes secundárias de petróleo”

ao longo dos anos. Os demais energéticos somados representaram 4,8% do total consumido por esse segmento (MME, 2008a).

De acordo com o BEU (MME, 2005), o uso dominante da energia na indústria química brasileira, em 2004, era a força motriz, responsável por 42,6% do seu consumo energético total, seguido pelo calor de processo, com 39,9% do consumo total, eletroquímica, com 9,8%, e aquecimento direto, com 4,5%. Os outros usos finais respondem por 3,2% do consumo energético total.

3.5 Metais não-ferrosos

O segmento industrial de metais não ferrosos inclui a produção de alumínio, chumbo, cobre, estanho, magnésio, níquel, silício e zinco. No Brasil, em 2007, a produção primária de alumínio, zinco e cobre respondeu por 88,6%, da produção total de metais não ferrosos (MME, 2008b). Embora a produção de silício metálico tenha sido expressiva, 9,4% da produção do segmento, não foi possível obter dados energéticos suficientes para se calcularem os potenciais de conservação de energia. Por esse motivo, nesse trabalho, são abordados apenas aqueles três metais, que, nas próximas seções, são caracterizados técnica e energeticamente. Um destaque especial é dado ao alumínio, devido a sua grande importância econômica e energética nesse segmento industrial.

3.5.1 Alumínio

Por não se encontrar livre na natureza, são necessárias técnicas metalúrgicas para se obter o alumínio da bauxita, que é o minério de onde se extrai a alumina, que, por sua vez, é o óxido que contém o alumínio. A bauxita é a principal matéria-prima empregada no processo de produção da alumina, que é obtida através do Processo Bayer. Além desse minério, soda cáustica, óleo combustível e eletricidade são outros insumos necessários a produção da alumina. Em linhas gerais, nesse processo, a bauxita é dissolvida em soda cáustica e filtrada para se obter um concentrado apto à cristalização da alumina. Depois de gerados os cristais, estes são desidratados e calcinados para dar origem ao pó de alumina branca.

O metal alumínio, designado como alumínio primário, é obtido através da redução eletrolítica da alumina, que pode ser feita de duas formas: (i) via célula Soderberg, uma técnica mais antiga, mas que, recentemente, vem sendo modernizada; e (ii) através do processo Hall-Heroult, o mais empregado no Brasil. Esta etapa de redução eletrolítica é intensiva no consumo de eletricidade, pois é através da ação desse energético que a alumina é decomposta em alumínio primário e oxigênio. Dessa forma, a produção de alumínio primário só é economicamente viável em regiões que disponham de um suprimento abundante e barato de eletricidade (BAJAY et alii, 1995), em geral produzido em usinas hidrelétricas, como ocorre majoritariamente no Brasil.

Em 2007, o Brasil foi o 6º maior produtor mundial de alumínio com 1.654.800 t, respondendo por 4,4% da produção do mundo (MME, 2008b). No entanto, segundo Bajay (2008), o Brasil se destaca mais no cenário mundial no que tange às fases iniciais da cadeia de produção do alumínio. Isto se reflete no fato de que as exportações brasileiras de alumina são maiores do que as de alumínio primário.

Uma outra rota produtiva é a reciclagem do alumínio, com destaque para a reciclagem de latas de alumínio. Além de reduzir o desperdício de materiais, a reciclagem gera um ganho de energia significativo. Reciclar uma tonelada de latas requer apenas 5% da energia que seria necessária para produzir a mesma quantidade de alumínio a partir da bauxita (BAJAY, 2008).

3.5.2 Zinco

O zinco pode ser usado na sua forma metálica, como na produção de ligas e galvanização de estruturas de aço, ou na forma de compostos, como o óxido e o sulfato de zinco. O óxido é empregado na indústria cerâmica, na produção de borrachas e, ainda, na fabricação de tintas. Enquanto o sulfato tem aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco.

A produção brasileira de zinco primário foi, em 2007, de 265.126 t, representando 2,4% da produção mundial (MME, 2008b). No entanto, o Brasil ainda depende, parcialmente, da

importação de concentrados sulfetados de zinco, que naquele ano, foi de 138 mil t (MME, 2008b). De fato, há um amplo e sólido comércio de concentrado de zinco no mundo, o que permite aos produtores operarem de forma não integrada, ou seja, a atividade de metalurgia não precisa, necessariamente, estar agregada à de mineração (DE PAULA; XAVIER, 2006).

Os insumos envolvidos na produção de zinco são concentrado de sulfeto, ácido sulfúrico, pó de zinco, eletricidade e óleo combustível. De forma sucinta, pode-se dizer que a produção do zinco começa nas minas, onde o mineral é extraído para depois, através da flotação, dar origem aos concentrados de zinco. Uma série de etapas como ustulação, lixiviação, purificação, filtração e eletrolise dão origem ao zinco metálico. Um processo que, cada vez mais, vem recebendo maior atenção por parte dos produtores de zinco, com o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade, é o aproveitamento do pó de aciaria elétrica, um rejeito da indústria siderúrgica.

3.5.3 Cobre

As elevadas condutividades elétrica e térmica do cobre tornam este metal muito adequado para a fabricação de cabos elétricos, que é a finalidade responsável por, aproximadamente, 50% da demanda de cobre. As propriedades elétricas do cobre são melhores aproveitadas quando ele é empregado em estado puro, enquanto que as propriedades mecânicas, quando ele é usado nas ligas com chumbo, níquel, zinco e estanho. Os insumos envolvidos na produção de cobre primário são concentrado de cobre, sílica, eletricidade, gás natural, coque de petróleo e óleo combustível.

A produção total de cobre no Brasil é desagregada em produção primária e produção secundária. A produção de cobre metálico primário, no país, foi de 192.556 t em 2007. A produção secundária, nesse mesmo ano, foi de 139.860 t. Ainda em 2007, as exportações totalizaram 161.987 t, as importações somaram 272.237 t e o consumo aparente foi de 469.308 t (MME, 2008b). Um maior aporte de investimentos na prospecção de novas reservas e expansões na produção criam a expectativa de se atingir a auto-suficiência até 2010 (BAJAY, 2008).

O cobre metálico primário é obtido a partir de vários processos, como: moagem do minério; concentração do metal; eliminação do enxofre pela ustulação; refino para eliminar impurezas e eletrólise, onde se obtém o elemento quimicamente puro no cátodo. Por outro lado, no processo secundário de obtenção do cobre, é feita a fusão do metal já usado, proveniente da recuperação de sucatas e ligas de cobre, com um consumo de energia menor.

3.5.4 Consumos energéticos e usos finais de energia

Em 2007, a indústria de metais não-ferrosos foi responsável por 7,3% do consumo energético industrial no País e por 19,8% do seu consumo de energia elétrica (MME, 2008a), revelando a marcante característica eletro-intensiva desta indústria.

A eletricidade desempenha papel dominante devido ao grande uso final em processos eletroquímicos. O óleo combustível, segundo energético mais consumido, é o principal combustível utilizado nesse segmento, com um *share* de 18,8%, naquele ano. Analisando a série histórica de consumo publicada no Balanço Energético Nacional, pela primeira vez, o gás natural, em 2007, foi o terceiro energético mais consumido, evidenciando que, ao longo dos anos, ele tem entrado nesse segmento.

Os principais usos finais de energia na indústria de metais não ferrosos, como um todo, segundo o BEU (MME, 2005a), foram o aquecimento direto, os processos eletroquímicos, a força motriz e o calor de processo, nessa ordem. Ainda segundo esta mesma fonte, 31% do consumo de óleo combustível, na indústria de alumínio, destina-se a calor de processo e 69% a aquecimento direto; enquanto que 71% da eletricidade consumida foi em processos eletroquímicos e 21% em iluminação.

3.6 Cerâmico

O segmento cerâmico brasileiro consome uma grande variedade de substâncias minerais, dentre as quais, de certo, destacam-se as argilas. Em razão do volume de produção atingido, as argilas de queima vermelha, ou argilas comuns, respondem pelo maior consumo, sendo

especialmente utilizadas no sub-segmento de cerâmica vermelha, ou estrutural, e no sub-segmento de revestimentos cerâmicos. Tais argilas são caracterizadas como matérias-primas de baixo valor unitário, o que não viabiliza o seu transporte a grandes distâncias, condicionando a instalação de unidades industriais cerâmicas nas proximidades das jazidas.

O Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Sul, onde estão localizados os maiores pólos cerâmicos do país. A produção de matérias-primas cerâmicas é feita, em sua maioria, por empresas de pequeno e médio porte, de capital nacional.

A indústria cerâmica pode ser dividida nos seguintes sub-segmentos: i) revestimentos cerâmicos; ii) cerâmica vermelha, ou estrutural; iii) materiais refratários; iv) louça sanitária e de mesa; v) isoladores elétricos e térmicos; vi) cerâmica artística; e vii) filtros cerâmicos de água para uso doméstico. Dentre todos, apenas os sub-segmentos de revestimentos cerâmicos e de cerâmica vermelha serão abordados nesse trabalho devido à importância deles tanto em termos econômicos como de consumo energético.

3.6.1 Revestimentos cerâmicos

O sub-segmento de revestimentos cerâmicos tem como atividade principal a produção de pisos e azulejos. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de revestimento, após China, Itália e Espanha (BAJAY, 2008).

O processo produtivo pode ser via úmida ou via seca, sendo este último predominante no Brasil. De uma maneira geral, o processamento dos produtos por via úmida se diferencia da via seca somente na etapa de moagem, onde, na via seca, não se utiliza água. As vantagens da via seca estão nos menores custos energéticos e de manutenção das instalações e no menor impacto ambiental. No entanto, a via seca possui alguns limites tecnológicos, pois não permite obter granulometria comparável ao da via úmida e não processa uma mistura com vários componentes de natureza diversa (BAJAY, 2008).

O processo produtivo começa com a preparação da massa, ou pasta cerâmica, que é constituída a partir da composição de duas ou mais matérias-primas argilosas, além de aditivos e água. São empregadas misturas de diversos tipos e características distintas, que resultam na composição desejada. A massa cerâmica é, então, encaminhada aos moinhos onde é realizada a moagem, dando origem à barbotina. Em seguida, a massa cerâmica é conformada por meio de uma prensa, formando, assim, a peça. A próxima etapa consiste em secar as peças, em secadores, para posterior aplicação dos esmaltes. Por fim, ocorre a queima, onde os produtos adquirem suas propriedades finais. Segundo Alves, et alii (2007), as etapas que mais consomem energia, na via seca, são a queima e a secagem.

3.6.2 Cerâmica vermelha

O sub-segmento de cerâmica vermelha, também conhecido como cerâmica estrutural, pelo fato de seus produtos comporem as estruturas de edificações, distribui-se por todo país em micro e pequenas empresas (BAJAY, 2008). Utiliza basicamente argilas na fabricação dos produtos, que são classificados em função do processo de fabricação, sendo dois os principais: produtos extrudados e produtos prensados.

Entre os extrudados, podem-se citar os blocos de vedação ou tijolos furados, lajotas de forro, manilhas e tijolos maciços, entre outros. Observe-se que as empresas produtoras de cerâmica vermelha possuem uma grande variedade de produtos extrudados, devido a facilidade de substituição das boquilhas das extrusoras. No caso dos produtos prensados, têm-se, entre os mais representativos, as telhas e ladrilhos de piso, entre outros.

Esse sub-segmento tinha perfil artesanal até o fim dos anos 1960, quando experimentou um acelerado processo de industrialização, graças às implementações de grandes programas habitacionais no país. No entanto, mesmo com esta forte expansão produtiva, o Brasil ainda apresenta baixa produtividade, mostrando um espaço para inserção de novas tecnologias e investimentos.

De uma forma geral, o processo produtivo de uma planta de cerâmica vermelha pode ser dividido em quatro etapas distintas: i) a preparação da massa, em que a matéria-prima é armazenada em pátios e revolvida para a remoção de gases e produtos voláteis; ii) a conformação, onde ocorre a extrusão ou a prensagem, a fim de formar o produto; iii) a secagem, que pode ser natural ou artificial, em secadores; e iv) a queima, que confere ao produto as características finais típicas, como resistência, cor, etc., graças a uma série de transformações estruturais e químicas que ocorrem quando as argilas são submetidas ao calor.

3.6.3 Consumos energéticos e usos finais

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008, o consumo final de energia, em 2007, no segmento cerâmico foi de 3.841 mil tEP, o que equivaleu a 4,7% de toda a energia consumida pelas indústrias. Naquele ano, o consumo de energia elétrica foi de 284 mil tEP, correspondentes a 1,7% do consumo industrial.

Em 2007, o energético mais consumido foi a lenha, respondendo por 49,1% de toda a energia utilizada no segmento. Em segundo estava o gás natural, com 25% do total consumido. O óleo combustível, a eletricidade e o GLP ocupavam, respectivamente, a terceira, a quarta e quinta posições no ranking dos energéticos mais consumidos nas indústrias cerâmicas (MME, 2008a).

A lenha, desde o início da série histórica do BEN, tem se mantido como o principal energético desse segmento. O consumo de gás natural cresceu muito no início da atual década, deslocando o óleo combustível e o GLP.

O principal uso final de energia, de acordo com o BEU (MME, 2005), é o aquecimento direto, seguido bem atrás pela força motriz e calor de processo, nessa ordem. Ainda segundo o BEU (MME, 2005), a energia útil consumida na indústria cerâmica brasileira, em 2004, correspondeu somente a 48,6% da energia final adquirida. Este alto índice de perdas se deve ao elevado consumo de lenha nesta indústria, que possui baixos rendimentos de conversão, sobretudo nos fornos e secadores.

3.7 Cimento

A indústria de cimento é um importante segmento da economia de um país, tendo freqüentemente seu desempenho associado à saúde econômica de uma nação (SOARES, 1998). Essa indústria, por ser homogênea, pode ser desagregada em três etapas produtivas: (i) preparação da matéria-prima; (ii) clínquerização; e (iii) moagem.

3.7.1 Preparação da matéria-prima

Essa etapa consiste na britagem da matéria-prima, formada basicamente por calcário, argila e areia, com o propósito de reduzi-la a diâmetros adequados à moagem, onde, então, obtém-se um pó fino.

Duas rotas tecnológicas que diferem no preparo da matéria-prima são empregadas na produção do clínquer: a via seca e a via úmida. Naquela, os materiais são utilizados na forma de uma farinha, com um baixo teor de umidade, ao passo que, nesta, as matérias-primas são preparadas e homogeneizadas com água, formando uma espécie de lama, antes de serem aquecida no forno onde ocorrerá a clínquerização. O clínquer formado em qualquer dos processos possui as mesmas características. O processo por via úmida permite um controle mais fácil das reações químicas, entretanto, ele apresenta um elevado consumo de energia térmica para evaporar parte da água do material antes de aquecê-lo à temperatura de calcinação. No Brasil, mais de 98% da produção é pela via seca (BAJAY, 2008), devido principalmente à redução no consumo de energia térmica.

3.7.2 Clínquerização

Dentro de um forno rotativo, o material é submetido progressivamente a temperaturas mais altas. O intenso calor permite ao material moído ser aquecido, até o fim, a temperaturas até

1900° C, tornando-o parcialmente derretido. As reações alteram física e quimicamente o material, dando origem ao clínquer.

3.7.3 Moagem

Depois de resfriado, o clínquer é misturado com gesso e outros aditivos em proporções que determinam o tipo de cimento portland a ser produzido (Tabela 3.1), para, em seguida, essa mistura ser moída. Portanto, a produção dos diversos tipos de cimento apresenta procedimentos idênticos durante as duas primeiras etapas do processo produtivo, diferenciando-se somente na etapa final de moagem, quando ocorrem as adições de materiais distintos para a obtenção do cimento.

Tabela 3.1: Especificação do cimento Portland no Brasil, em %

	Tipo	Clínquer	Escórias de alto forno	Material pozolânico	Material Carbonático
CPI	CPI	100		0	
	CPI-S	95 a 99		1 a 5	
CPII	CPII-E	56 a 94	6 a 34	-	0 a 10
	CPII-Z	76 a 94	-	6 a 14	0 a 10
	CPII-F	90 a 94	-	-	6 a 10
	CPIII	25 a 65	35 a 70	-	0 a 5
	CPIV	45 a 85	-	15 a 50	0 a 5
	CPV	95 a 100	-	-	0 a 5

Fonte: SNIC 2009

A moagem da mistura até a granulometria desejada não requer, normalmente, energia térmica, já que a energia residual do clínquer e o calor gerado por atrito são suficientes para reduzir a umidade. Nesta etapa há significativo consumo de energia elétrica.

A produção nacional concentra a maior parte na fabricação do cimento portland comum e composto, CPI e CPII, respectivamente, que são aplicados em construções usuais de concreto. A produção deles somada, em 2007, foi de 30.788 mil t (SNIC, 2009). O cimento portland de alto forno, CPIII, utilizado nas obras civis de grande porte como portos, barragens e pontes, teve uma

produção de 7.659 mil t naquele ano (SNIC, 2009). As produções do cimento portland pozolânico, CPIV, e do cimento portland CPV juntas foram de 7.087 mil t (SNIC, 2009).

3.7.4 Consumos energéticos e usos finais

Em 2007, o consumo final de energia no segmento cimenteiro foi de 3.373 mil tEP, o que equivaleu a 4,1% de toda a energia consumida pelas indústrias brasileiras (MME, 2008a). Segundo a Agência Internacional de Energia, a energia consumida representa de 20 a 40% do custo de produção do cimento (IEA, 2007).

Analisando a série histórica do Balanço Energético Nacional (MME, 2008a), o principal energético consumido, na década 1970, pela indústria de cimento era o óleo combustível. No final daquela década, foi assinado um protocolo entre representantes desta indústria e o Ministério da Indústria e Comércio, no âmbito do Programa Conserve, visando a substituição do óleo combustível por carvão mineral e carvão vegetal. Estas substituições ocorreram em larga escala e se mantiveram até meados da década de oitenta, quando a parcela de mercado do óleo combustível voltou a crescer, em detrimento das participações dos dois tipos de carvões.

A partir do final da década de 1990, tiveram início uma forte substituição do óleo combustível por coque de petróleo, que é bem mais barato, e uma penetração cada vez maior de outras fontes de energia, sobretudo de resíduos (MME, 2008a). Os fornos da indústria de cimento operam a temperaturas muito elevadas e podem ser alimentados por praticamente qualquer tipo de combustível, inclusive resíduos dos mais diversos tipos, como, por exemplo, pneus velhos (BAJAY, 2008). Dada esta característica, a indústria de cimento tem buscado combinações de combustíveis baratos com resíduos disponíveis nas proximidades das plantas.

Em 2007 o coque de petróleo respondia por 68,2% do consumo energético total da indústria de cimento brasileira, seguido pela eletricidade, com 11%, outras fontes de energia, com 9,8%. O óleo combustível ocupava a sétima posição, no ranking dos energéticos mais consumidos, com uma fatia de 0,8%.

O principal uso final de energia, de acordo com o BEU (MME, 2005), é o aquecimento direto, seguido pela força motriz e calor de processo, nessa ordem. Ainda segundo o BEU (MME, 2005), a energia útil consumida no segmento cimenteiro brasileiro, nesse ano, correspondeu somente a 52,7% da energia final adquirida. Este alto índice de perdas deve-se aos baixos rendimentos de conversão dos diversos combustíveis no uso final dominante nesta indústria, que é o aquecimento direto.

3.8 Extrativo Mineral

O segmento extrativo mineral compreende toda a indústria extrativa de minerais metálicos e não metálicos, com exceção dos seguintes energéticos: carvão mineral, petróleo e xisto pirobetuminoso. Embora cada jazida requeira uma tecnologia específica, decorrente de suas características geológicas próprias, as atividades, no segmento extrativo mineral, são semelhantes. De fato, em sua maioria, o método de mineração empregado é o por desmonte em minas de superfície (BAJAY, 2008). Dessa forma, essas indústrias podem ser classificadas como homogêneas e desagregadas em duas etapas produtivas: a extração e o beneficiamento.

Dentre os minerais metálicos, destacam-se o minério de ferro, o titânio e a bauxita. Por outro lado, dentre os não metálicos, os destaques ficam com a areia e o calcário. A produção da indústria extrativa mineral, como um todo, foi, em 2007, de 1.157.467.630 t. O desempenho da produção mineral brasileira é reflexo natural das características da sua geodiversidade, dimensão territorial e dos atributos naturais de inúmeras e significativas possibilidades de aproveitamento para seus recursos minerais (DNPM, 2006).

3.8.1 Extração

Na etapa de extração, as principais atividades são: decapeamento, desmonte (extração), carregamento, transporte e reabilitação das áreas escavadas.

O decapeamento consiste na retirada da vegetação, solo e rocha para expor o minério à lavra. O desmonte é precedido de perfuração para execução de furos onde são colocados

explosivos. Com a detonação, obtém-se rocha fragmentada em blocos. O desmonte pode ser feito mecanicamente, retirando-se o material mineralizado através de escavadeiras ou outros equipamentos, e transportando-o em caminhões basculantes de grande porte até a planta de beneficiamento. A fragmentação do maciço rochoso na frente da lavra permite a obtenção de diâmetros compatíveis com os equipamentos de carregamento e transporte. Blocos maiores que um metro de diâmetro sofrem desmonte secundário. Outro método baseia-se na desagregação do material (rochas pouco consolidadas) por jatos de água (desmonte hidráulico).

3.8.2 Beneficiamento

A etapa de beneficiamento consiste basicamente das atividades de britagem, separação e concentração. Dado que o produto fragmentado influencia diretamente o rendimento dos processos subsequentes de concentração, um melhor aproveitamento dos recursos é função da distribuição granulométrica resultante do chamado circuito de cominuição (britagem e moagem) adotado (DELBONI, 2007).

O beneficiamento, como processamento adicional de produtos finais, representa uma melhoria do valor do produto, fazendo com que o concentrado assuma características propícias para o transporte, ou atinja um estado completamente seco. O processamento pode ir além, por meio da pelotização e sinterização. Para os materiais refugados, ou resíduos, o beneficiamento consiste em um processamento que visa proteger o meio ambiente e converter certas frações em material de valor (BAJAY, 2008).

3.8.3 Consumos energéticos e usos finais de energia

A indústria extrativa mineral foi responsável por 4,1% do consumo energético total da indústria brasileira em 2007, ou seja, foram consumidos 3.342 mil tEP de energia.

Embora o óleo combustível tenha sido deslocado ao longo dos anos, sobretudo, por carvão mineral, coque de carvão mineral e, mas recentemente, por coque de petróleo e gás natural, ele,

ainda, continua sendo um combustível importante, respondendo por 22,8% do consumo energético total em 2007.

Dada a importância no transporte local dos minerais extraídos, antes e após o beneficiamento, o consumo de óleo diesel representou 7,2% do total em 2007. A energia elétrica, nesse mesmo ano, foi o energético mais consumido, responsável por 27,8%.

Segundo o Balanço de Energia Útil (MME, 2005), a distribuição de energia final no segmento extrativo mineral, em 2004, foi: aquecimento direto (57,1%), seguido pela força motriz (34,8%) e calor de processo (7,5%); os outros usos foram muito pequenos ou nulos.

3.9 Ferro-ligas

As ferro-ligas, como o próprio nome diz, são ligas de ferro com outros elementos químicos, como manganês, silício, cromo, níquel, nióbio, entre outros. As adições de tais elementos são efetuadas em proporções adequadas para aproveitamento industrial, ou para a introdução de novos elementos na própria liga. Na siderurgia, são matérias-primas fundamentais e sua falta impossibilitaria a produção de vários produtos siderúrgicos.

As ferro-ligas convencionais são: (i) ferro-manganês: utilizadas na fabricação de praticamente todos os tipos de aço e fundidos de ferro, devido à sua propriedade de dessulfurização; (ii) ferro-silício: destinado, em grande parte, à produção de aços comuns, na qual atua como desoxidante; (iii) ferro-silício-manganês; e (iv) ferro-cromo: insumo imprescindível para a produção de aços especiais. É a principal matéria-prima utilizada na fabricação do aço inoxidável.

As ligas não convencionais, como ferro-níquel, ferro-molibdênio e ferro-titânio, entre outras, servem como vetores para adição de elementos de liga na produção de aços especiais.

As principais matérias-primas e insumos empregados na indústria brasileira de ferro-ligas, no ano de 2001, foram os minérios de manganês, de cromo, de níquel e de ferro, carvões vegetal

e mineral, coque, energia elétrica e pasta soderberg. Desde 2002, a ABRAFE não divulga dados consolidados de consumo de matérias-primas e insumos para ferro-ligas.

Em 2007, a maior parcela da produção nacional de ferro-ligas foi devido às ligas à base de manganês, cuja produção foi de 419.230 t (MME, 2008b), o que representou 41,1% do total da produção física dessas indústrias. A produção de ligas à base de silício veio em seguida com 22,1% (MME, 2008b) do total. Ferro-ligas especiais, ferro-ligas de cromo e de níquel, ficaram, respectivamente, em terceiro, quarto e quinto lugares no ranking de produção nacional naquele ano.

As ferro-ligas podem ser obtidas por diversos processos, sendo que o mais empregado envolve a redução carbotérmica em fornos elétricos de arco submerso. Este processo envolve, basicamente, as seguintes etapas: (i) preparação das matérias-primas; (ii) fusão e redução das cargas; e (iii) preparação do produto final.

Dentre as etapas mencionadas, a fusão redutora é a mais importante, tanto do ponto de vista de produção física quanto sob o aspecto do consumo de energia (TOLMASQUIM E SZKLO, 2000). Quando as ferro-ligas são confeccionadas por fusão, fundem-se quantidades adequadas dos componentes da liga, a fim de que estes se misturem perfeitamente no estado líquido. A fusão é feita em cadinhos de ferro, de aço ou de grafite, em fornos de revérbero ou em fornos elétricos. A massa fundida, homogênea, é resfriada lentamente em formas apropriadas. São tomadas precauções especiais para se evitar a separação dos componentes da liga durante o resfriamento, para se evitar a oxidação dos metais fundidos, para se minimizar as perdas dos componentes voláteis, etc.

Um outro processo para a fabricação de ferro-ligas é a compressão. Neste processo, misturas em proporções adequadas são submetidas a elevadas pressões. Esse processo é de importância na preparação de ligas de alto ponto de fusão e aquelas cujos componentes são imiscíveis no estado líquido.

Pode-se, ainda, mencionar o processo eletrolítico e o processo de metalurgia associada. O primeiro fundamenta-se na eletrólise de uma mistura apropriada de sais, com o fim de provocar a deposição simultânea de dois ou mais metais sobre catodos. O segundo consiste na obtenção de uma liga constituída de dois ou mais metais, submetendo-se ao mesmo processo metalúrgico uma mistura de seus minérios.

3.9.1 Consumos energéticos e usos finais

A fabricação de ferro-ligas consumiu 1.803 mil tEP de energia em 2007, sendo responsável por 2,2% do consumo energético total da indústria brasileira. Naquele mesmo ano, foram consumidos 746 mil tEP de eletricidade, ou seja, 4,5% do usado no setor industrial (MME, 2008a).

Os dois principais energéticos consumidos na fabricação de ferro-ligas, em 2007, foram a energia elétrica, 41,4% do consumido no segmento, e o carvão vegetal/lenha, cuja participação foi de 39,6% (MME, 2008a). A categoria “outras fontes de energia não especificadas” atingiu 11,6% do consumo energético total em 2007 (MME, 2008a).

De acordo com o BEU (MME, 2005), o uso final quase que exclusivo da energia na indústria de ferro-ligas, em 2004, foi o aquecimento direto (98,5%); os outros usos foram muito pequenos ou nulos. Ainda, segundo a mesma fonte (MME, 2005), a energia útil consumida, nesse segmento, em 2004 correspondeu a 58% da energia final adquirida naquele ano. Trata-se de um valor intermediário entre as eficiências de conversão, em energia útil, dos combustíveis e da energia elétrica no uso dominante nesta indústria, que é o aquecimento direto.

O consumo de energia para a produção de ferro-ligas depende de vários fatores, tais como: a liga produzida, características físicas, químicas e metalúrgicas da carga, do projeto do forno elétrico e dos procedimentos operacionais.

O custo da energia representa uma parcela significativa dos custos de produção; a energia elétrica, por exemplo, corresponde, em média, a cerca de 30% dos custos variáveis desta indústria (BAJAY, 2008).

3.10 Indústria Têxtil

O segmento têxtil pode ser dividido em cinco grupos homogêneos de etapas produtivas: fiação, tecelagem, malharia, beneficiamento e confecção; isto sem contar a etapa opcional de lavagem industrial.

Em linhas gerais, pode-se dizer que, primeiro, as fibras são transformadas em fios, que podem ser crus ou já tingidos. Os fios são convertidos em tecidos e malhas, ou em outros produtos. Após a fabricação dos tecidos e malhas, estes são tingidos ou estampados, para serem, posteriormente, confeccionados, chegando ao produto final, que pode ou não ir às lavanderias industriais.

3.10.1 Fiação

Nesta fase do processo produtivo, as fibras são convertidas em fios através de operações de limpeza, agrupamento e torção. Embora grande parte das fibras seja processada através de torção, esta operação depende da origem delas, que pode ser natural, artificial, ou sintética.

3.10.2 Tecelagem e malharia

Os processos de tecelagem e malharia processam fios para obter tecidos. A fabricação destes é feita a partir de técnicas distintas: a tecelagem de tecidos planos é resultante do entrelaçamento de dois conjuntos de fios que se cruzam em ângulo reto; a malharia é resultado da formação de laços que se interpenetram e se apóiam lateral e verticalmente, provenientes de um ou mais fios (BAJAY, 2008). Após a fabricação do tecido crú, este é revisado e medido.

3.10.3 Beneficiamento

Existem dois tipos de beneficiamento: o de tecidos e o de fios. O primeiro consiste nas operações de limpeza e branqueamento para, posteriormente, o tecido poder ser ou tingido diretamente, ou poder ser seco e estampado, ou apenas seco. O processo de tingimento consome bastante calor de processo com o objetivo de fixar os corantes nas fibras do tecido. A secagem do tecido é realizada através das ramas, que são máquinas que podem prover calor indireto através da queima de óleo combustível ou óleo diesel, ou através de processos mais modernos de queima direta, utilizando gás natural, GLP ou eletricidade. O acabamento geralmente amacia ou encorpa o tecido. A última operação é opcional – sanforização – que nada mais é do que um pré-encolhimento do tecido.

O processo de beneficiamento de fios se inicia com o tingimento, e, posteriormente, há as operações de centrifugação e secagem, para que, a partir daí, o fio tingido seja levado à tecelagem ou à malharia.

3.10.4 Confeção

O processo de confeção é dividido em vestuário (roupas e acessórios), linha lar (cama, mesa e banho) e técnico (sacaria, encerados, fraldas, correias, automotivo, etc.). Basicamente, o processo recebe o tecido ou fio e realiza o corte e a costura para a obtenção do produto final.

3.10.5 Lavanderias industriais

Estas unidades, que consomem bastante calor de processo, efetuam acabamentos especiais, alguns tipos de tingimentos e lavam peças já confeccionadas. Existem também as lavanderias industriais que apenas lavam as vestimentas de hospitais e indústrias.

3.10.6 Consumos energéticos e usos finais

O segmento têxtil, em 2007, consumiu 1.275 mil tEP (MME, 2008a), sendo responsável por 1,6 % do consumo energético total da indústria brasileira.

Em 2007, a energia elétrica foi responsável por 53,7% do consumo energético total da indústria têxtil no Brasil. As parcelas de mercado dos combustíveis consumidos nesta indústria, naquele ano, foram 29,2% para o gás natural, 8,5% para o óleo combustível, 7,5% para a lenha, e 1,1% para outros combustíveis (MME, 2008a).

Verifica-se uma tendência de aumento da parcela de mercado da eletricidade desde o início da década de 1990. A explicação para isso é a abertura do mercado brasileiro às importações. A China exportou enormes quantidades de tecidos e fios já beneficiados para o Brasil, para serem, posteriormente, confeccionados no País. Como a confecção é eletro-intensiva, sua participação relativa na cadeia têxtil vem aumentando em decorrência deste fato.

De acordo com o BEU (MME, 2005), o maior uso final na indústria têxtil foi o calor de processo, seguido pela força motriz, refrigeração e aquecimento direto, nessa ordem. Os demais usos apresentaram uma participação muito pequena ou nula. Ainda segundo a mesma fonte (MME, 2005), a energia útil consumida correspondeu a 82,6% da energia final adquirida em 2004. Isso se deve ao fato da eletricidade e do gás natural apresentarem rendimentos elevados nos usos finais majoritariamente empregados nesse setor.

3.11 Produção de Cal

Há basicamente dois tipos de cales: a cal virgem, também chamada de cal viva, e a cal hidratada, obtida a partir da adição de água à primeira. São produtos de grande versatilidade, presentes, de forma direta ou indireta, em uma infinidade de produtos e processos industriais.

A matéria-prima utilizada na produção de cal é basicamente rocha calcária. A cal virgem resulta da calcinação destas rochas quando aquecidas em fornos com temperaturas superiores a

725°C. Necessita-se de 1,7 a 1,8 t de rocha calcária para a fabricação de uma tonelada de cal virgem. Com uma tonelada de cal virgem obtém-se, aproximadamente, 1,3 t de cal hidratada (MME, 2008d).

Respondendo por 2,7% da produção mundial, o Brasil, em 2007, produziu 7.393 mil t de cal, sendo que, deste total, 73% é cal virgem e os outros 27% hidratada (MME, 2008d). Pelo lado dos consumidores, os maiores são os segmentos siderúrgico, de construção civil, de celulose e papel e químico.

Na siderurgia, a cal é empregada nas etapas de pelotização e sinterização, no alto-forno e na aciaria. Na construção civil, a cal é utilizada principalmente na forma hidratada, como componente fundamental no preparo de argamassas de assentamento e de revestimento; é utilizada, também, no preparo de tintas alcalinas, atribuindo à pintura propriedades fungicidas e bactericidas. Na produção de celulose e papel, a cal virgem é fundamental na causticação do licor negro e como agente redutor de acidez na produção de papéis alcalinos. Na indústria química, é insumo básico na preparação de muitos produtos, tais como carbonato de cálcio precipitado, cloreto de cálcio, hipoclorito de cálcio e vários outros elementos.

As etapas de produção de cal são basicamente a trituração da matéria-prima, a calcinação – realizada em fornos verticais (60% da produção) e em fornos rotativos (40%) – e a moagem. Evidentemente, existe a etapa de hidratação, após a calcinação, na produção de cal hidratada.

Os produtores de cal podem ser classificados em quatro categorias: (i) produtor integrado, que produz cal virgem e/ou hidratada através de instalações industriais próprias, tendo como matéria-prima a rocha calcária necessariamente extraída de mina própria; (ii) produtor não integrado, que produz cal virgem e/ou hidratada por meio de instalações industriais próprias, tendo como matéria-prima a rocha calcária adquirida de terceiros; (iii) transformador, que realiza a moagem de cal virgem e/ou produz cal hidratada a partir de cal virgem adquirida de terceiro. Também é classificado como Transformador o que produz cal hidratada recuperada a partir do reprocessamento de subprodutos industriais e; (iv) produtor cativo, que produz e emprega a cal para uso próprio. Normalmente são as grandes indústrias siderúrgicas.

3.11.1 Consumos energéticos

A etapa de calcinação requer aquecimento direto, ao passo que as outras etapas requerem, essencialmente, força motriz, provida por energia elétrica. Segundo estimativas da ABPC compiladas pelo MME (2008d), a distribuição aproximada do consumo de energia térmica entre os diversos combustíveis consumidos no setor é a seguinte: lenha (45%); coque de petróleo (40%); gases naturais e industriais (12%); e outros combustíveis, como óleo e moinha de carvão (3%). A matriz energética desse segmento é bastante dinâmica, podendo apresentar variações significativas ano a ano. Com efeito, há poucos anos, o óleo combustível predominava com 50% (MME, 2008d).

Utilizando dados publicados pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2008d) é possível estimar o consumo energético total envolvido na produção de cal, em 2007, como sendo 768,9 mil tEP. Desse total, 1,26% corresponde à parcela de eletricidade, ou seja, 9,54 mil tEP.

3.12 Vidro

A indústria do vidro é uma importante consumidora de matérias-primas não metálicas e de pequenas quantidades de aditivos, como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio, entre outros. As matérias-primas empregadas são, tipicamente, a areia (SiO_2) – 70%, barrilha (Na_2O) – 15%, calcário (CaO) – 10%, dolomita (MgO) – 2% e feldspato – 2% (MME, 2008d).

Os vidros podem, geralmente, ser classificados em quatro tipos: (i) vidros planos, que são fabricados em chapas, têm larga aplicação na indústria de construção civil, automobilística, moveleira e decoração; (ii) vidros especiais, que compreendem uma vasta gama de produtos (tijolos e blocos de vidros, as ampolas para garrafas térmicas, os bulbos de lâmpadas, os vidros para tubo de imagem, etc) utilizados em diversas indústrias, como a de construção civil, a farmacêutica, a alimentícia, a automobilística, a têxtil, etc; (iii) de embalagem, que são largamente utilizadas nas indústrias de bebidas, alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos; e

(iv) de uso doméstico, que são aqueles usados em utensílios como louças de mesas, copos, xícaras, vasos e objetos de decoração em geral.

A indústria vidreira é energo-intensiva, na medida em que utiliza fornos de elevada temperatura, onde as matérias-primas são misturadas a uma temperatura em torno de 1.500° C, formando uma massa semi-líquida que dá origem aos vários produtos de vidro (BAJAY 2008).

De acordo com o MME (2008d), a produção total, em 2007, foi estimada em torno de 80% da capacidade instalada, ou seja, 2.326 mil t. Conforme a mesma fonte, os vidros de embalagens, naquele ano, foram os mais produzidos – 1.042 mil t, vindo, em seguida, os vidros planos – 992 mil t, os domésticos – 183 mil t, e os especiais – 146 mil t.

Não há grandes diferenças entre os processos produtivos dos diversos tipos de vidro. Sendo que, normalmente, pode-se dividir a fabricação nas seguintes etapas: (i) preparação das matérias-primas: consiste na moagem, peneiragem, secagem e análise do material, envolvendo o consumo tanto de energia elétrica como térmica. Para a secagem, normalmente, é utilizado gás natural ou óleo combustível; (ii) fusão: os fornos de fusão de vidro constituem o centro do processo produtivo e é onde ocorre a formação da massa de vidro e se registram os maiores consumos de combustíveis; (iii) conformação: envolve baixo consumo de energia térmica e consumo elevado de eletricidade. Estão presentes, nessa etapa, operações como sopragem, prensagem, estiramento, centrifugação, laminação, etc.; (iv) recozimento: consiste em submeter as peças conformadas, durante um determinado tempo, a uma certa temperatura, permitindo que sejam eliminadas tensões internas provocadas durante o processo de conformação. É uma etapa consumidora de energia térmica; e (v) têmpera: é uma etapa opcional, em que se submete a peça de vidro a altas temperaturas, seguida por um resfriamento rápido. Dessa forma, aumenta-se a resistência mecânica do vidro.

No caso da fabricação de vidro plano, a etapa de conformação é substituída pela etapa de estiragem e/ou impressão. Após a massa fundida sair do forno de forma contínua e plana, ela é resfriada e cortada em chapas.

3.12.1 Consumos energéticos

Os consumos energéticos, nesse segmento, não são tratados de forma individualizada no Balanço Energético Nacional e, também, não são publicados pela Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO.

Uma parte da matéria-prima mineral virgem pode ser poupada e substituída por vidro reciclado – cacos de vidro, propiciando economias no consumo de energia e no uso da água. O vidro comum funde a uma temperatura entre 1000° C e 1200° C, menor do que a temperatura de fabricação do vidro – 1550° C. Para cada 10% de caco de vidro na mistura economizam-se 3 a 4% da energia necessária para a fusão nos fornos industriais e reduz-se em 10% a utilização de água (MME, 2008d). No Brasil, a reciclagem de embalagens é estimada em 46%, tendo alcançado, em 2006, 98% da sua meta, correspondendo a 448 mil t recicladas (MME, 2008d). No entanto, a reciclagem de vidro de todos os tipos no Brasil não é conhecida. Admitindo-se que o mínimo reciclado é o que provém das embalagens, pode-se calcular a reciclagem de vidros no país em pelo menos 18% (MME, 2008d).

3.13 Fundição

A indústria de fundição se caracteriza por produzir bens intermediários que são fornecidos a empresas de diversos segmentos. De acordo com Bajay (2008), o principal destino dos produtos fundidos são as indústrias montadoras de veículos e de autopeças, as indústrias de bens de capital, o segmento siderúrgico e o setor de infra-estrutura. As exportações, segundo MME (2008b), representaram 21% da produção nacional em 2007.

O segmento de fundição utiliza matérias-primas de origem nacional, garantindo, assim, total independência do mercado externo (BAJAY, 2008). Dentre estas, destacam-se o ferro-gusa, o alumínio e as ferro-ligas. A produção de fundidos, em 2007, foi de 3.227.128 t (MME, 2008b). Dentre os produtos, existe preponderância dos fundidos de ferro – 83,4% da produção em 2007 – que atendem ao principal demandante do segmento de fundição do país, a indústria automotiva

(MME, 2008b). Os fundidos de aço e de metais não ferrosos responderam por 9,4% e 7,3%, respectivamente, da produção, naquele ano (MME, 2008b).

O processo utilizado pela indústria de fundição, em sua essência, consiste na fusão de ferro, aço ou metais não ferrosos – cobre, zinco, alumínio e magnésio – visando obter certas propriedades para o produto final. Na forma líquida, os metais e suas ligas são vazados no interior de moldes confeccionados com areias especiais aglomeradas com resinas próprias para esse fim, com formatos que reproduzem o objeto pretendido.

Considerando que o grande gargalo e fator determinante do volume a ser produzido, em uma fundição, é a etapa de moldagem, onde os moldes são confeccionados, ações modernizadoras estão sendo implantadas. A etapa de vazamento, onde a liga fundida é colocada dentro do molde, tem sido, também, modernizada com a adoção de painéis vazadoras e fornos automáticos. É interessante observar que todo esse processo de modernização traduziu-se em um aumento na demanda por eletricidade, que traz um revés de considerável importância: dependência por energia elétrica barata e confiável.

3.13.1 Consumos energéticos e usos finais

O segmento das fundições não é representado individualmente no Balanço Energético Nacional, no entanto, a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM – através do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 2008b) compila dados sobre consumos de matérias-primas e dos principais insumos energéticos.

Assim, de acordo com esta fonte, estima-se que o consumo energético total, em 2007, foi de 532,3 mil tEP. O energético mais consumido nas fundições é a energia elétrica, responsável por 51,4% do total (MME, 2008b). Entre os combustíveis, o de maior consumo é o coque de carvão mineral – 27,9%, vindo, a seguir, o óleo combustível – 17,8% e, bem atrás, o óleo diesel – 2,9% (MME 2008b). As fundições ainda consomem gases combustíveis, que não são monitorados pela SGM.

Segundo Bajay (2008), 88,2% da energia térmica, oriunda dos combustíveis, é destinada aos fornos, e o restante é destinado a calor de processo. Praticamente toda a energia elétrica é usada em força motriz.

Durante a década de noventa, modificações ocorridas tanto nos processos tecnológicos como nos equipamentos ocasionaram reduções nos consumos específicos de coque de carvão mineral, óleo combustível e óleo diesel e aumentos nos consumos específicos de eletricidade e de gases combustíveis (INDI, 1999; IBS, 2003).

Capítulo 4

Metodologia de Cálculo do Potencial Técnico de Conservação de Energia

Como comentado no Capítulo 3, os segmentos industriais são divididos em duas classes: segmentos homogêneos e segmentos heterogêneos. Para ambas, a metodologia de cálculo do potencial técnico de conservação de energia é a mesma, como descrito a seguir.

Os consumos médio e mínimo de energia térmica e de energia elétrica para cada produto principal, ou para cada etapa produtiva, foram calculados multiplicando-se a produção física anual nacional pelos consumos energéticos específicos médio e mínimo de energia térmica e eletricidade. As equações de 4.1 a 4.4 mostram tal procedimento.

O consumo específico médio representa a média nacional da energia consumida por unidade física de produto dentro de uma etapa ou uma cadeia industrial. Por outro lado, o consumo específico mínimo representa a quantidade de energia que seria consumida pelas empresas industriais se todas elas adotassem tecnologias, equipamentos e práticas de gestão que correspondem ao estado da arte, em termos de eficiência energética.

As diferenças entre os consumos médio e mínimo das energias térmica e elétrica fornecem os correspondentes potenciais técnicos de conservação de energia, como mostram as equações 4.5 e 4.6.

$$CDT(I,J) = CSMT(I) \cdot PROD(I) \cdot CD(I,J) \quad (4.1)$$

$$CMT(I,J) = CSMT(I) \cdot PROD(I) \cdot CD(I,J) \quad (4.2)$$

$$CDE(I,J) = CSDE(I) \cdot PROD(I) \cdot CD(I,J) \quad (4.3)$$

$$CME(I,J) = CSME(I) \cdot PROD(I) \cdot CD(I,J) \quad (4.4)$$

$$PCT(I,J) = CDT(I,J) - CMT(I,J) \quad (4.5)$$

$$PCE(I,J) = CDE(I,J) - CME(I,J) \quad (4.6)$$

$$POT(I) = \sum_{J=0}^n PCT(I,J) + \sum_{J=0}^n PCE(I,J) \quad (4.7)$$

Onde n é o número de usos finais presentes no produto/etapa I

Em que:

$CDT(I,J)$: Consumo médio de energia térmica pelo produto/etapa I no uso final J

$CMT(I,J)$: Consumo mínimo de energia térmica pelo produto/etapa I no uso final J

$CDE(I,J)$: Consumo médio de energia elétrica pelo produto/etapa I no uso final J

$CME(I,J)$: Consumo mínimo de energia elétrica pelo produto/etapa I no uso final J

$CSMT(I)$: Consumo específico médio de energia térmica pelo produto/etapa I

$CSMT(I)$: Consumo específico mínimo de energia térmica pelo produto/etapa I

$CSDE(I)$: Consumo específico médio de energia elétrica pelo produto/etapa I

$CSME(I)$: Consumo específico mínimo de energia elétrica pelo produto/etapa I

$PROD(I)$: Produção do produto/etapa I

$CD(I,J)$: Coeficiente de distribuição de energia do produto/etapa I no uso final J

$PCT(I,J)$: Potencial de conservação de energia térmica do produto/etapa I no uso final J

$PCE(I,J)$: Potencial de conservação de energia elétrica do produto/etapa I no uso final J

$POT(I)$: Potencial total de conservação de energia do produto/etapa I

Embora o Capítulo 5 aborde em detalhes o método de obtenção de cada consumo energético específico empregado neste trabalho, pode-se dizer, por agora, que eles, junto com os dados de produção física, foram obtidos de literatura técnica, de anuários estatísticos e de visitas técnicas a algumas plantas industriais.

Os potenciais técnicos de conservação de energia, tanto térmica como elétrica, foram estimados por usos finais com o auxílio de coeficientes de distribuição – $CD(I,J)$ – da energia consumida, tal qual feito no Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005).

Os usos finais da energia considerados, neste trabalho, foram os mesmos do BEU:

(i) aquecimento direto: energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas;

(ii) calor de processo: energia usada em caldeiras e aquecedores de água ou de fluídos térmicos;

(iii) força motriz: energia usada em motores estacionários ou em veículos de transporte individual ou coletivo, de carga, tratores, etc;

(iv) refrigeração: energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar condicionado, tanto de ciclo de compressão quanto de absorção;

(v) processos eletroquímicos: energia usada em células eletrolíticas, processos de galvanoplastia, eletroforese e eletrodeposição;

(vi) iluminação: energia utilizada em iluminação de interiores e externa; e

(vii) outros usos finais: energia utilizada em computadores, telecomunicações, máquinas de escritório, xerografia e equipamentos eletrônicos de controle.

Diferente do BEU, no entanto, o uso final “aquecimento direto” foi desagregado, graças à existência de dados em muitos dos segmentos analisados, em aquecimento direto em fornos, ou reatores químicos, e aquecimento direto em secadores.

Capítulo 5

Base de Dados e Planilha de Cálculo

Como explicado no capítulo anterior, o cálculo do potencial de conservação de energia baseia-se em dados de consumos energéticos específicos, de produção e de coeficientes de destinação da energia por usos finais. No presente capítulo, o método de obtenção de todos esses dados, para cada segmento industrial, é apresentado em detalhes, incluindo ponderações a respeito da confiabilidade de tais informações levantadas.

Como esta dissertação aborda treze segmentos industriais energo-intensivos, sendo que muitos deles são desagregados para se obter um nível de detalhamento maior, é evidente, portanto, visto que a quantidade de dados coletadas é muito grande, que o grau de confiabilidade deles varia de segmento para segmento, ou, mesmo dentro de um segmento, de etapa para etapa.

Sendo assim, foram feitos contatos com os membros do grupo de pesquisa do NIPE a fim de se avaliar a confiabilidade dos dados. Elaborou-se uma escala de gradação (Tabela 5.1) que permite classificar cada segmento e/ou etapa de acordo com a representatividade das informações disponíveis.

Tabela 5.1: Gradação da confiabilidade dos dados

Escala	Descrição
1	Baixíssima confiabilidade, com variabilidade muito grande das informações
2	Baixa confiabilidade com variabilidade alta
3	Média confiabilidade
4	Boa confiabilidade
5	Alta confiabilidade
6	Altíssima confiabilidade, caracterizando a realidade

Portanto, foi possível, através da escala acima, atribuir valores à confiabilidade dos dados encontrados. A Tabela 5.2 mostra a classificação de cada segmento/etapa.

Tabela 5.2: Classificação da confiabilidade dos segmentos industriais

Segmento	Confiabilidade
Alimentos e Bebidas	4
Siderurgia	
<i>Integradas</i>	6
<i>Semi-integradas</i>	3
<i>Produtores independentes</i>	2
Papel e Celulose	5
Química	
<i>Fertilizantes</i>	5
<i>Restante da indústria</i>	4
Metais Não-Ferrosos	5
Cerâmico	
<i>Revestimento cerâmico</i>	4
<i>Cerâmica vermelha</i>	3
Cimento	5
Extrativa Mineral	3
Ferro-Ligas	3
Têxtil	2
Cal	3
Vidro	3
Fundição	2

Na sequência, cada segmento é abordado separadamente, e a Tabela 5.2 é retomada em cada um deles para ser explicada. Por fim, o capítulo é finalizado com uma sessão dedicada à planilha de cálculo desenvolvida, tanto para o armazenamento de dados como para a simulação

dos potenciais de conservação de energia. A composição e o funcionamento de tal planilha Excel são explicados.

5.1 Alimentos e bebidas

Os dados para as indústrias de Alimentos e Bebidas são provenientes de uma amostra de 137 empresas, que possibilitou a avaliação dos consumos médio e mínimo de energia. Embora se tenha uma amostra com um grande número de empresas, a representatividade dos dados ocupa posição intermediária na Tabela 5.2 (confiabilidade boa), pois este segmento é pulverizado e constituído por mais de 42 mil plantas industriais.

Tabela 5.3: Produção e consumos energéticos específicos de Alimentos e Bebidas

Cadeias	Produção (mil t)	Consumo específico de energia (10^{-3} tEP/t)			
		Energia térmica		Energia elétrica	
		Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Bebidas (cerveja, cachaça, refrigerantes, sucos, etc)	25.050,5	19,8	18,6	9,1	7,4
Carnes (abate)	25.236,616	14,7	13,7	15,9	13,7
Carne (Industrialização)	3.242,2	94,3	84,0	18,0	15,3
Soja (esmagamento)	28.900	12,7	11,2	3,8	3,1
Óleo vegetal (refino)	3.390	82,0	75,2	9,9	9,1
Leite (Pasteurizado e UHT)	9.127	13,5	12,4	9,0	7,7
Leite (Industrialização)	2.053	34,1	30,4	16,7	15,7
Trigo (produção de farinha e farelo)	9.850	15,9	14,3	7,9	7,3
Arroz (branco polido e parboilizado)	12.660	9,4	9,0	7,1	6,0
Milho (moagem úmida; a seco e pequenos moinhos)	4.159	18,9	17,1	7,6	7,2
Café (torrado/moido e solúvel)	1.090	107,5	97,6	7,8	7,5
Rações e alimentos para animais	47.200	6,2	5,9	7,2	5,4
Pescados	1.145	46,8	42,0	8,0	7,8
Cacau, chocolate, balas e doces	969	27,7	25,4	10,4	9,4
Suco laranja	15.885,7	13,9	12,5	8,2	7,8

Fonte: BROWN, HAMEL and HEDMAN (1985); Amostra de 137 empresas

A Tabela 5.3 apresenta os dados de consumos específicos e de produção no ano de 2004, para cada cadeia desse segmento. Além de ter sido usado como fonte de dados a amostra de 137

empresas, citada acima, também recorreu-se à literatura técnica (BROWN, HAMEL and HEDMAN, 1985) para complementar algumas informações.

5.2 Siderurgia

Existem três tipos de dados relativos ao segmento siderúrgico: aqueles que caracterizam as usinas integradas, os que caracterizam as semi-integradas e os que descrevem os produtores independentes de ferro-gusa. Os primeiros são de altíssima confiabilidade, correspondendo à realidade industrial, visto que foram obtidos a partir de uma amostra significativa de plantas. Os segundos, por serem provenientes de uma amostra pequena, cuja qualidade das informações é boa, possui confiabilidade média. Por fim, os últimos são de baixa confiabilidade, pois são estimativas do Ministério de Minas e Energia. A seguir, a origem dos dados é apresentada.

Na coqueificação, a produção de coque, em 2007, foi de 8.515 mil t (IBS, 2008) e os consumos específicos médio e mínimo de energia térmica, naquele ano, foram de $160,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de coque, e $78,8 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de coque, respectivamente. O primeiro destes valores é uma média ponderada dos consumos específicos das empresas ArcelorMittal Tubarão, Cosipa, Usiminas, CSN e Gerdau - Açominas (ABM, 2007; ABM, 2008), e o segundo é uma indicação da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Da energia térmica empregada na coqueificação, 8,5% vai para vapor de processo e o restante para aquecimento direto. Os consumos específicos médio e mínimo de energia elétrica adotados nas simulações foram $8,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de coque e $4,5 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de coque, respectivamente. Eles correspondem à média ponderada e ao valor mínimo dos consumos específicos de eletricidade das empresas supra-citadas. Toda a eletricidade é usada em força motriz.

Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS, em 2007, foram produzidas 30.325 mil t de sinter (IBS, 2008). Os consumos específicos médio e mínimo de energia térmica, naquele ano, foram de $38,5 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de sinter, e $29 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de sinter, respectivamente. Para o cálculo do primeiro valor, que é uma média ponderada, foram analisados os balanços energéticos das usinas ArcelorMittal Monlevade, ArcelorMittal Tubarão, CSN, Gerdau - Açominas, Usiminas e Cosipa (ABM, 2007; ABM, 2008). O consumo mínimo, da melhor tecnologia disponível no mercado

(Best Available Technology – BAT), foi obtido em uma publicação recente da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Da energia térmica empregada na sinterização, 0,1% vai para vapor de processo e o restante para aquecimento direto. Os consumos específicos médio e mínimo de energia elétrica adotados nas simulações foram $8,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de sínter e $6,9 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de sínter, respectivamente. Eles correspondem à média ponderada e ao valor mínimo dos consumos específicos de eletricidade das empresas supra-citadas. Toda a energia elétrica é usada em força motriz.

A produção de ferro-gusa nas usinas integradas, em 2007, foi de 25.943 mil t (IBS, 2008). Os consumos específicos médios de energia térmica e de energia elétrica, obtidos através de médias ponderadas dos consumos das usinas ArcelorMittal Monlevade, ArcelorMittal Inox Brasil, ArcelorMittal Tubarão, CSN, Gerdau - Açominas, Usiminas, Cosipa e V & M do Brasil, foram, naquele ano, de $313,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa e $10,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa, respectivamente (ABM, 2007; ABM, 2008). Os consumos específicos mínimos correspondentes foram de $249,1 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa e $- 7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa (foi produzida mais eletricidade no alto forno, através de uma turbina de topo, do que foi consumida). O primeiro destes valores é resultado de uma indicação da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007), e o segundo corresponde ao menor consumo específico de eletricidade das usinas relacionadas acima. Segundo os balanços energéticos destas usinas siderúrgicas integradas, 2,2%, em média, do consumo de energia térmica nos altos fornos, em 2007, ocorreu na forma de vapor de processo e o restante em aquecimento direto (ABM, 2007; ABM, 2008). Da energia elétrica empregada na produção de ferro-gusa, a totalidade vai para força motriz.

O IBS estima o consumo energético específico total envolvido na fabricação de ferro-gusa através dos produtores independentes em $611,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa, enquanto que o Ministério de Minas e Energia – MME – estima o seu consumo específico de eletricidade em $6,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa (MME, 2008b). Da diferença destes dois valores resulta um consumo específico médio estimado de energia térmica de $605 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa. Para se estimar, de uma forma preliminar, o potencial de conservação de energia térmica deste segmento constituinte da indústria siderúrgica brasileira, pode-se adotar como consumo específico mínimo de energia térmica o valor correspondente ao consumo de energia térmica do alto forno a carvão vegetal da

ArcelorMittal Inox Brasil, que foi de $421,3 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de gusa em 2007 (ABM, 2008). Não se dispõe de informações sobre consumo específico mínimo de energia elétrica, nem sobre o possível uso de vapor de processo pelos produtores independentes. Dessa forma, não é possível calcular o potencial de conservação de energia elétrica, e assume-se que toda a energia térmica é usada em aquecimento direto nos fornos de redução. A produção de ferro-gusa pelos produtores independentes, em 2007, foi de 9.628 mil t, segundo o IBS (2008).

Em 2007, 25.130 mil t de aço bruto (tab) foram produzidas por conversores a oxigênio (LD) das usinas ArcelorMittal Monlevade, ArcelorMittal Tubarão, CSN, Gerdau - Açominas, Usiminas, Cosipa e V & M do Brasil (IBS, 2008). Os consumos específicos médio e mínimo de energia elétrica destas usinas foram de $10,9 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e $6,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab, respectivamente. O seu consumo específico médio de energia térmica foi de $11,3 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab (ABM, 2007; ABM, 2008), enquanto que a melhor tecnologia disponível no mercado, segundo a IEA (2007), é uma "exportadora líquida" de energia térmica ($- 8,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab). Os balanços energéticos das usinas supra-citadas revelaram que, em média, 10% da energia térmica consumida nestes conversores, em 2007, foi na forma de vapor de processo e o restante na forma de aquecimento direto (ABM, 2007; ABM, 2008). Mais uma vez, toda a eletricidade é usada na forma de força motriz.

Segundo o IBS, foram produzidas 8.081 mil t de aço bruto (tab), em 2007, através de fornos elétricos (IBS, 2008). Os consumos específicos médio e mínimo de energia térmica dos fornos de três usinas semi-integradas foram de $51,3 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e $48,1 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab, respectivamente, naquele ano. O consumo específico médio de energia elétrica foi de $58,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e a melhor tecnologia disponível no mercado consome $38,2 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab de eletricidade, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). A participação do vapor de processo no consumo específico médio de energia térmica destes fornos, em 2007, foi de 5,1%.

Foram obtidos dados de consumos energéticos específicos na etapa de laminação a quente das seguintes usinas: ArcelorMittal Monlevade, Gerdau - Aços Villares, ArcelorMittal Inox Brasil, ArcelorMittal Tubarão, CSN, Gerdau - Açominas, Usiminas, Cosipa e V & M do Brasil (ABM, 2007; ABM, 2008). Elas produziram 26.075.501 tab, em 2007, e consumiram, em média, $19,5 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab de energia elétrica e $38,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab de energia térmica. Os menores consumos

específicos de energia elétrica e de energia térmica destas usinas foram de $11,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e $15,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab, respectivamente. A participação de vapor de processo no consumo específico médio de energia térmica, em 2007, nesta etapa do processo, foi de somente 1,1%. Toda a eletricidade foi empregada em força motriz.

Foram analisados os consumos energéticos específicos das usinas ArcelorMittal Inox Brasil, CSN, Usiminas, Cosipa e V & M do Brasil no processo de laminação a frio (ABM, 2007; ABM, 2008). Estas usinas produziram 15.480.041 tab em 2007. Os consumos específicos médios encontrados foram: energia elétrica - $19,9 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e energia térmica - $23,9 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab. Os consumos específicos mínimos correspondentes foram de $7,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab e $9,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/tab. Do consumo de energia térmica na laminação a frio, em 2007, 26,7% ocorreu na forma de vapor de processo. Toda a energia elétrica foi usada na forma de força motriz.

5.3 Celulose e papel

Os valores médios dos consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica foram estimados a partir de: (i) dados de consumo de energia do Balanço Energético Nacional (MME, 2008); (ii) dados de produção do anuário estatístico da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2007); (iii) resultados de levantamentos de consumo energético na indústria brasileira de papel e celulose, por tipo de fábrica, efetuados pela Bracelpa, de 1989 a 1996, e processados e analisados por Bajay *et alii* (1998); (iv) dados fornecidos em uma publicação recente da FIESP/CETESB/BRACELPA (2008); e (v) valores médios de consumos energéticos específicos fornecidos pelas empresas Votorantim, Rigesa e SulAmérica. Assim, a confiabilidade dos dados é considerada alta (Tabela 5.2).

Os consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, correspondentes às melhores tecnologias atualmente disponíveis no mercado (Best Available Technologies – BAT's), foram estimados com base em informações obtidas em publicações recentes da Agência Internacional de Energia (IEA, 2006; IEA, 2007; IEA, 2008) e no estudo da FIESP/CETESB/BRACELPA (2008).

Dessa forma, chegou-se aos seguintes valores médios de consumos específicos de energia térmica e elétrica para as plantas de celulose: $286,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de celulose e $60 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de celulose, respectivamente. A produção de celulose, nessas plantas, em 2006, foi de 6.328.527 t. Os menores consumos encontrados foram $238,8 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de celulose de energia térmica e $51,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de celulose de eletricidade.

As plantas integradas, que produzem tanto celulose quanto papel, tiveram uma produção total, em 2006, de 7.243.484 t. Os consumos específicos médios de energia térmica e elétrica são, respectivamente, $400 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e celulose e $100 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e celulose. Os valores obtidos para os consumos específicos mínimos de energia térmica e elétrica são de $334,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e celulose e $94,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e celulose, respectivamente.

As plantas de papel, que produzem somente papel a partir de celulose adquirida de terceiros, produziram, em 2006, 2.987.540 t de papel. Os consumos específicos médios de energia térmica e elétrica encontrados são $252,2 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e $68 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel, respectivamente. Já os menores consumos, que correspondem às melhores tecnologias disponíveis e práticas adotadas, são de $113,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel de energia térmica e $46,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel de energia elétrica.

As plantas de reciclagem produziram, em 2006, 3.345.053 t de papel a partir de aparas. Os consumos específicos médios de energia térmica e elétrica são $153 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e $40 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel, respectivamente, enquanto que os consumos específicos mínimos de energia térmica e elétrica são, respectivamente, $128,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel e $38,7 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de papel.

As estimativas dos coeficientes de distribuição de energia, por tipo de fábrica, foram elaboradas utilizando as informações disponíveis nos levantamentos do BEU feitas em 1984, 1994 e 2004, além de outros levantamentos de consumos energéticos por usos finais nesta indústria feitos nas décadas de oitenta e noventa, por outras instituições (BAJAY *et alii*, 1998). Estes coeficientes encontram-se na Tabela A3 do Anexo.

5.4 Química

No segmento químico, encontram-se dois tipos de dados: os de fertilizantes e os do restante da indústria química (Tabela 5.2). Os primeiros são de alta confiabilidade, enquanto que os segundos são de boa confiabilidade. Estes últimos, embora tenham sido obtidos inclusive de literatura internacional, refletem razoavelmente bem a realidade brasileira, visto que os processos químicos não variam significativamente entre os países, sobretudo porque as tecnologias estão nas mãos de poucas empresas transnacionais.

Ao todo foram utilizados três trabalhos – Brown, Hamel and Hedman (1985); Tolmasquim, Szklo e Soares (2003); IEA (2007) – que proveram as informações energéticas necessárias apresentadas na Tabela 5.4 para os produtos químicos analisados neste trabalho. Cada produto químico traz uma indicação de qual dos três trabalhos citados acima foram utilizados para se obter os consumos específicos de energia. Nessa mesma tabela, também, estão indicados dados de produção, para o ano de 2006, que foram obtidos a partir do Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM, 2007).

Além disso, avaliam-se os consumos energéticos envolvidos na fabricação de Nylon 6, Nylon 6.6, fibras de polipropileno e fibras acrílicas, importantes produtos químicos de elevado consumo energético cujas produções no País são estimadas a partir das produções de suas principais matérias-primas, registradas pela Abiquim, e mais os superfosfatos, fertilizantes cuja produção é registrada pela Associação Nacional para a Difusão de Adubos – ANDA (2008).

Tabela 5.4: Cadeias, produtos, produção e consumos específicos de energia na indústria química

Cadeias	Produtos	Produção (t)	Consumo específico de energia (10^{-3} tEP/t)			
			Energia térmica		Energia elétrica	
			Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Cadeia Etileno	Etileno ^{1,2,3}	3.135.114	425,2	305,9	21	12
	Polietileno ^{1,2,3}	2.224.691	16,7	9,1	50,6	26,2

	Dicloreto de etileno e cloreto de vinila ^{2,3}	456.840	155,6	138,4	18,9	18,9
	Só dicloreto de etileno ^{2,3}	90.881	105,6	105,6	0	0
	Policloreto de vinila (PVC) ^{1,2,3}	676.263	55	49	14,3	14,3
	Óxido de etileno ^{2,3}	289.724	67,6	49,9	27,5	20,1
	Etilenoglicol ^{2,3}	203.972	84,1	62,3	29,6	21
	Tereftato de Polietileno (PET) ^{1,2,3}	218.527	611,1	551,1	63,1	56,9
	Fibras de poliéster ^{1,2,3}	88.824	98,7	98	45,9	45,9
	Etilbenzeno ^{1,2,3}	446.132	75,8	70	2,4	2,4
	Estireno ^{1,2,3}	459.839	939	798,5	4,8	4,8
	Poliestireno ^{1,2,3}	360.957	118,1	12	7,9	4,8
Cadeia Propileno	Propileno ^{2,3}	1.834.420	61,7	57,8	13,6	13,6
	Polipropileno ^{1,2,3}	1.060.845	17,9	17,2	10,5	9,8
	Fibras de polipropileno ^{2,3}	174.132	657	657	126	126
	Óxido de propileno ²	195.637	117,1	104,2	25,6	25,6
	Acrilonitrila ^{2,3}	84.811	43,5	-143	9,6	9,6
	Fibras acrílicas	29.690	1071,9	1000,4	124,5	94,9
	Fenol e acetona ^{1,2,3}	287.035	257,1	233,5	30,2	16,7
Cadeia BTX	BTX ^{2,3}	1.531.052	65,2	51,9	4,5	3,3
	Ácido tereftálico (TPA) ^{2,3}	206.240	64,5	40,2	34,4	33,2
	Ciclohexano ^{1,2}	58.252	88,7	78,9	8,4	8,4
	Caprolactama ²	44.906	681,1	460,5	51,9	34,6
	Ácido adípico ²	82.614	218,9	218,9	12,9	12,9
	Nylon-6	40.824	555,2	494	78,9	78,9
	Nylon-6,6	103.597	773,2	617,8	181,2	144,8
	Anidrido maleico ^{2,3}	15.879	338,2	246,6	79,1	79,1
	Anidrido ftálico ³	103.491	478	478	0	0
Resinas fenólicas ³	155.989	239	239	0	0	
Cadeia Fertilizantes*	Amônia ^{1,2,3}	1.347.748	333,9	167,3	35,2	9,5
	Uréia ²	1.419.188	54,8	34,9	5,2	1,2
	Ácido nítrico ²	601.618	54,4	12,7	3,6	0,1
	Nitrato de amônio ²	470.544	8,9	8,9	3,1	3,1
	Sulfato de amônio ²	236.480	182,4	162,3	39,9	39,9
	Ácido sulfúrico ^{1,2}	6.199.806	14,5	1,7	1,7	1,7
	Ácido fosfórico para fertilizantes ^{1,2}	939.559	98,6	30,6	17,5	10,3
	Ácido fosfórico para outros usos ^{1,2}	267.527	446,7	446,7	810,4	810,4
	Fosfato de amônio ^{1,2}	1.103.225	13,4	13,4	4,5	4,5
Superfosfatos	4.921.000	19,4	19,4	18,9	18,9	
Cadeia Cloro	Cloro via célula de difragma ^{1,2,3}	880.542	173,9	52,6	262,9	239
	Cloro via célula de mercúrio ^{1,2,3}	281.284	116,1	0	308,3	282
	Cloro via célula de membrana ^{1,2,3}	61.149	130,5	14,3	241,3	205,5
Outros produtos	Metanol ^{1,3}	276.789	239	203,1	63,3	63,3

Butadieno ³	328.126	310,7	143,4	0	0
Borrachas de estireno-butadieno ¹	207.629	193,1	193,1	20,5	20,5
Polibutadieno ¹	83.522	927,6	927,6	82,4	82,4
Buteno-1 ³	68.298	71,7	71,7	0	0
Formaldeído ^{1,3}	447.343	98,2	98,2	0	0
Resinas fenólicas ³	155.989	239	239	0	0
Resinas melamínicas ³	6.979	59,7	59,7	0	0
Resinas uréicas ³	476.971	59,7	59,7	0	0
Metacrilatos de metila e de etila ³	29.156	47,8	47,8	0	0
Butanol-iso e butanol-n ³	45.128	78,1	78,1	0	0
Isopropanol ³	12.878	70,4	70,4	5	5
Éter-metil-terc-butílico ³	328.515	93,2	93,2	0	0
Dióxido de titânio ^{1,3}	79.427	264	264	10	10
Óxido de zinco ¹	202.254	262,8	216	27,2	3,3

¹ BROWN, HAMEL and HEDMAN (1985)

² TOLMASQUIM, SZKLO e SOARES (2003)

³ IEA (2007)

* Dados complementados com visitas técnicas

Para se estimar a distribuição do consumo de energia pelos usos finais de um determinado processo/produto, foram utilizados os mesmos trabalhos citados anteriormente, mais informações obtidas em visitas técnicas a algumas plantas químicas. Os coeficientes de distribuição estão listados na Tabela A4 do Anexo.

5.5 Metais não-ferrosos

Embora o segmento de metais não-ferrosos englobe vários metais – como explicitado no Capítulo 3 – nesta dissertação apenas trabalhou-se com três para os quais foram obtidos dados de elevada confiabilidade a partir de publicações de associações e trabalhos acadêmicos, como explicado a seguir.

Os dados para o alumínio foram obtidos de: (i) uma publicação da Associação Brasileira da Indústria do Alumínio (ABAL, 2004); (ii) Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 2008b); (iii) Tolmasquim e Szklo (2000); e (iv) Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Foi assumido que, atualmente, 65% da produção de alumínio primário está sendo realizada através do processo Soderberg e 35% através do processo de anodos pré-cozidos. Na Tabela 5.5,

é possível visualizar a produção, para o ano de 2006, e os consumos energéticos específicos dos metais não ferrosos abordados neste trabalho.

Os dados referentes ao cobre e ao zinco provêm do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 2008b), de Alvarado *et alli* (2002) e de informações fornecidas pelo Grupo Votorantim.

Tabela 5.5: Produção e consumos energéticos específicos dos metais não ferrosos

Metal não ferroso	Produto	Produção (t)	Consumo específico de energia (10^{-3} tEP/t)			
			Energia térmica		Energia elétrica	
			Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Alumínio	Alumina	6.735.000	287,4	226,9	49,6	17,5
	Alumínio Primário - Processo Soderberg	1.042.925	45,4	40,6	1384,7	1289,8
	Alumínio Primário - Anodos Pré-Cozidos	561.575	43	38,2	1212,7	1117,8
	Produtos Transformados de Alumínio	672.900	-	-	43	34,4
	Produtos Transformados de Alumínio - Recuperação de Sucata	321.000	-	-	60,2	43
Cobre	Produção de cobre primário a partir de concentrado de cobre	193.119	182	-	150,6	57,8
Zinco	Folhas de zinco	70.076	-	-	274,9	250,1

Fonte: ABAL (2004); MME (2008b); TOLMASQUIM, SZKLO (2000); IEA (2007); ALVARADO ET ALLI (2002)

Os coeficientes de distribuição de energia pelos usos finais encontram-se na Tabela A5 do Anexo e foram estimados a partir das mesmas fontes citadas acima.

5.6 Cerâmica

Os potenciais técnicos de conservação de energia são calculados para os dois principais sub-segmentos, caracterizados no Capítulo 3, que compõem a indústria cerâmica: as fábricas de revestimentos cerâmicos e as fábricas de cerâmica vermelha. Os primeiros possuem dados de boa confiabilidade, enquanto que os segundos são de média confiabilidade (Tabela 5.2).

A produção de revestimentos cerâmicos, no ano de 2007, em t, é resultado da multiplicação desta produção em m^2 – 637 milhões de m^2 , publicada, pelo Ministério de Minas e Energia, em

seu Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos (MME, 2008) pelo peso específico médio estimado destes revestimentos – 8 kg/m², obtido em uma visita à Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento – ASPACER.

A multiplicação da produção de peças de cerâmica vermelha, em 2007 – 30 bilhões de peças, valor este estimado a partir de uma curta série histórica de valores publicados pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER (MME, 2008), pelo peso específico médio estimado destes revestimentos – 1 kg/peça, obtido em uma visita à Associação de Cerâmicas Vermelhas de Itú e Região – ACERVIR, resulta no valor estimado dessa produção em t.

Os valores médios dos consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica em fábricas de revestimentos cerâmicos foram levantados recentemente por Alves *et alii* (2007), sendo seus valores, respectivamente, 53,8 10⁻³ tEP/t de revestimento e 4,5 10⁻³ tEP/t de revestimento. O valor mínimo do consumo específico de energia térmica é 50,2 10⁻³ tEP/t de revestimento e corresponde ao que pode ser obtido em modernos fornos do tipo túnel (IEA, 2007), enquanto que o valor mínimo do consumo específico de energia elétrica, que é 4,2 10⁻³ tEP/t de revestimento, foi obtido em visitas técnicas a tais fábricas.

A Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG realizou, em 1994, um estudo sobre o consumo energético e o potencial de conservação de energia na produção de cerâmica vermelha no Estado de Minas Gerais (CEMIG, 1994). Com base neste estudo, pode-se estimar os valores médios dos consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica neste segmento industrial, que são, respectivamente, 98,4 10⁻³ tEP/t de cerâmica vermelha e 5,9 10⁻³ tEP/t de cerâmica vermelha. O valor mínimo do consumo específico de energia térmica é o mesmo utilizado para o segmento de revestimentos cerâmicos (IEA, 2007), enquanto que o valor mínimo do consumo específico de energia elétrica, obtido em uma visita técnica a uma fábrica modelo da ACERVIR, é 5 10⁻³ tEP/t de cerâmica vermelha.

As estimativas dos coeficientes de distribuição de energia para estes segmentos da indústria cerâmica nacional, que estão na Tabela A6 do Anexo, foram elaboradas utilizando as

informações disponíveis nos levantamentos do BEU (MME, 2005), além de informações obtidas nas visitas técnicas a empresas destes segmentos.

5.7 Cimento

Os consumos específicos médios foram obtidos a partir dos dados de consumo energético da indústria cimenteira no Balanço Energético Nacional (MME, 2008a), de informações de produção física obtidas do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento - SNIC (2009), de um levantamento realizado por Soares (1998) sobre a distribuição do consumo de energia entre as etapas do processo de fabricação de cimento e de valores médios de consumos específicos fornecidos pela Votorantim. A Tabela 5.6 mostra tais consumos junto com as produções de cada etapa para o ano de 2007.

Tabela 5.6: Produção e consumos energéticos específicos no segmento cimenteiro

Etapas	Produtos	Produção (mil t)	Consumo específico de energia (10^{-3} tEP/t)			
			Energia térmica		Energia elétrica	
			Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Preparação do crú	Crú	32.146,41	4	1,9	3,5	2,1
Clinquerização	Clínquer	32.146,41	85,6	59,3	3,2	2
Moagem do cimento	Cimento	46.589	-	-	3,2	1,9

Fonte: MME (2008a); SNIC (2009); SOARES (1998); IEA (2007); Práticas da Votorantim

Uma publicação recente da Agência Internacional de Energia forneceu os consumos específicos mínimos, tanto para energia térmica, quanto para a energia elétrica (IEA, 2007), que foram distribuídos entre as etapas do processo de fabricação utilizando as informações levantadas por Soares (1998).

Os coeficientes de distribuição de energia adotados, que se encontram na Tabela A7 do Anexo, foram estimados a partir do Balanço de Energia Útil (2005), e de Soares (1998).

Do exposto acima, chega-se a uma confiabilidade considerada alta para os dados cimenteiros. Embora o trabalho de Soares (1998) tenha mais de dez anos, ele ainda pode ser usado, pois as tecnologias empregadas nesse segmento não deram grandes saltos tecnológicos nesse período.

5.8 Extrativa mineral

Os dados da indústria extrativa mineral são considerados de confiabilidade média (Tabela 5.2) devido aos seguintes fatos: esse segmento não tem uma gestão de energia que faça o levantamento e controle dos dados de consumo; existe uma grande variabilidade nas operações, nos equipamentos, nos tipos de extração, no uso de energéticos e no processamento dos materiais. Assim, os números ou não existem ou os que existem refletem apenas parte da realidade da indústria como um todo. Então, estimativas foram feitas afim de se aproximar da realidade.

Os valores médios dos consumos energéticos específicos foram calculados com base nos consumos dos combustíveis e da energia elétrica pela indústria extrativa mineral, segundo o Balanço Energético Nacional de 2008 (MME, 2008a), e na produção dos principais produtos desta indústria naquele ano (MME, 2008c). A alocação destes consumos entre as etapas de extração e de beneficiamento foi possível graças às informações adicionais de que todo o consumo de óleo diesel ocorre na etapa de extração, que o consumo dos demais combustíveis utilizados por esta indústria se dá na etapa de beneficiamento e de que a etapa de beneficiamento absorve em torno de 91% do consumo energético total desta indústria. Dessa forma, chegou-se, na etapa de extração, aos seguintes consumos específicos de energia térmica e elétrica: $0,209 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de minerais e $0,051 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de minerais, respectivamente. Na etapa de beneficiamento, foram obtidos como consumo médio de energia térmica o valor de $1,877 \cdot 10^{-3}$ tEP/t e como consumo médio de eletricidade o valor de $0,751 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de minerais.

Uma publicação recente do Departamento de Energia do governo americano (DOE, 2007) forneceu um valor de consumo específico mínimo de energia elétrica na etapa de beneficiamento – $0,565 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de minerais, correspondendo à melhor prática encontrada na indústria extrativa

mineral daquele país. Infelizmente, esta publicação não pôde prover os demais valores de consumos energéticos específicos mínimos para este trabalho, pois a indústria extrativa mineral americana é mais intensiva do que a brasileira no uso tanto do óleo diesel como da energia elétrica na etapa de extração dos minérios e o estudo do Departamento de Energia não contemplou o consumo de combustíveis na etapa de beneficiamento. Portanto, o cálculo do potencial de conservação de energia só é possível para o consumo de eletricidade na etapa de extração. Por carência de dados, os outros potenciais não são calculados.

A produção, em 2007, desse segmento, como já mencionado no Capítulo 3 durante a caracterização técnica, é de 1.157.467.630 t. O Anexo, na Tabela A8, traz a distribuição da energia consumida entre os principais usos finais. Esta distribuição foi elaborada com base no BEU (MME, 2005) e nas informações adicionais supracitadas.

5.9 Ferro-ligas

A indústria de ferro-ligas, como mencionado no Capítulo 3, foi desagregada em três etapas produtivas: preparação das matérias-primas, fusão e redução da carga, e preparação do produto final. A produção de ferro-ligas no Brasil foi, em 2007, 1.020.008 t (MME, 2008b). Por não terem sido encontrados os dados de consumos específicos de energia térmica, na literatura técnica consultada, trabalhou-se apenas com os consumos específicos médio e mínimo de energia elétrica. Tais consumos médios refletem a prática recente da Companhia Vale do Rio Doce, enquanto que os consumos específicos mínimos correspondem a tecnologias mencionadas pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). A Tabela 5.7 mostra a produção e os dados disponíveis de consumos específicos energéticos. Tais dados são considerados de confiabilidade média, pois, embora poucas fontes tenham sido consultadas, a variabilidade das informações não é elevada.

De acordo com Tolmasquim e Szklo (2000), a eficiência dos processos empregados pela indústria brasileira de ferro-ligas encontra-se dentro da média observada no mundo e, na maioria das vezes, acima desta. Segundo estes autores, tal dinâmica é explicada pelo fato de se tratar de uma indústria relativamente recente, com elevado índice de exportação, submetida neste sentido,

a pressões competitivas que a obrigam a manter padrões elevados de eficiência para garantir sua inserção no comércio internacional.

Tabela 5.7: Produção e consumos energéticos específicos de energia elétrica no segmento de ferro-ligas

Segmento	Etapa	Produção (t)	Consumo específico de energia elétrica (10^{-3} tEP/t)	
			Médio	Mínimo
Ferro-Ligas	Preparação das matérias-primas		52,5	43,9
	Fusão e redução da carga	1.020.008	419,7	350,9
	Preparação do produto final		52,5	43,9

Fonte: MME (2008b); IEA (2007); Práticas da CVRD

A partir do BEU (MME, 2005) e das práticas adotadas pela Companhia Vale do Rio Doce, pode-se estimar a distribuição da energia entre os usos finais, e tais valores encontram-se disponíveis para consulta na Tabela A9 do Anexo.

5.10 Têxtil

O segmento têxtil possui confiabilidade de dados baixa (Tabela 5.2), porque existe um número enorme de processos diferentes, utilizando equipamentos diferentes, nas etapas do processo produtivo. Inclusive, para um mesmo equipamento, não raro, os consumos específicos podem variar significativamente dependendo da operacionalização. Sendo assim, devido à grande variabilidade de máquinas e modos de operar, os números encontrados não refletem a realidade encontrada nessas indústrias, mas podem ser encarados como uma primeira aproximação passível de melhorias.

Os dados de produção, em t, foram obtidos, para o ano de 2005, através do relatório setorial IEMI (2006). Dados médios de consumos específicos dos sub-segmentos de tecelagem e confecção foram obtidos com base em PREGA (2005); para os sub-segmentos de fiação, beneficiamento e malharia, estes dados foram obtidos em EMS-TEXTILE PROJECT (2006). A Tabela 5.8 mostra todos esses dados de produção e consumos específicos para o segmento têxtil.

Tabela 5.8: Produção e consumos energéticos específicos para o segmento têxtil

Sub-segmentos	Produtos	Produção (t)	Consumo específico de energia (10^{-3} tEP/t)*			
			Energia térmica		Energia elétrica	
			Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Fiação	Fio	1.364.110	-	-	340,5	310
Tecelagem	Tecido	1.362.124	-	-	66,1	60,1
Malharia	Malha	678.966	-	-	80	73
Confecção (tEP/peça)	Produto Final	9.449.211	-	-	0,019	0,017
Beneficiamento	Tecido/Fio tinto	1.999.852	228	163	37,83	34

* Consumo específico de energia para o sub-segmento de confecção está em tEP/peça de roupa
Fonte: IEMI (2006); PREGA (2005); EMS-TEXTILE PROJECT (2006)

5.11 Produção de cal

Foram consultados, neste trabalho, os balanços energéticos de cinco calcinadoras de quatro usinas siderúrgicas no País: a ArcelorMittal Tubarão, a Usiminas, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e a Gerdau – Açominas (ABM, 2007; ABM, 2008). Juntas, elas produziram 1.385.939 t de cal em 2007. A partir dos dados destes balanços, foram calculados um consumo específico médio de energia térmica de $93 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal e um consumo específico médio de energia elétrica de $10,5 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal.

A ABPC (MME, 2008d) estimou um consumo específico médio de energia térmica de $102,6 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal em 2007, que está aderente com o verificado nas calcinadoras das usinas siderúrgicas, e um consumo específico médio de energia elétrica de $1,3 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal naquele ano, que está muito abaixo dos valores observados nas calcinadoras supra-citadas e nas instalações mais eficientes no exterior (IEA, 2007).

Decidiu-se, então, calcular a média ponderada dos dois valores disponíveis de consumo específico médio de energia térmica, resultando o valor de $100,8 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal, e se adotar o consumo específico médio de energia elétrica calculado para as calcinadoras das usinas siderúrgicas, como representativo de todo o universo das calcinadoras no País.

A tecnologia mais eficiente (*Best Available Technology – BAT*) no consumo de energia térmica é a empregada na calcinadora da CSN. Seu consumo específico de energia térmica – $70,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal – é inferior ao verificado nas melhores calcinadoras na União Européia – $86 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal. O consumo específico de energia elétrica correspondente ao BAT, no exterior, é de $3,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de cal (IEA, 2007).

A produção total de cal, de acordo com o Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos (MME 2008d), foi 7.393 mil t em 2007.

As mesmas fontes já citadas acima forneceram subsídios para se estimar os coeficientes de distribuição de energia por usos finais, que se encontram na Tabela A11 do Anexo. Basicamente, como já mencionado anteriormente no Capítulo 3, a energia térmica é empregada em aquecimento direto, nos fornos, durante a calcinação, e a energia elétrica usada na forma de força motriz durante a trituração da matéria-prima e a moagem.

Assim, os dados levantados para esse segmento são considerados de média confiabilidade (Tabela 5.2).

5.12 Vidros

A produção da indústria vidreira, em 2007, já foi apresentada anteriormente quando caracterizou-se esse segmento dois capítulos atrás. No entanto, ela é apresentada aqui novamente: 2.326 mil t.

Uma estimativa da Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO, 2007) para o consumo total de gás natural nesta indústria, mais os dados sobre consumos setoriais de óleo combustível e GLP, levantados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) permitiram a realização de uma estimativa do valor médio do consumo específico de energia térmica nesta indústria, que é de $215,2 \cdot 10^{-3}$ tEP/ t de vidro. Esta estimativa foi validada e complementada por uma visita técnica à empresa Wheaton Brasil Vidros Ltda.

Uma estimativa do valor médio do consumo específico de energia elétrica da indústria de vidros, no Brasil, foi obtida em uma publicação recente do Ministério de Minas e Energia (MME, 2008d): $48,1 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de vidro. Tal valor também foi confirmado e complementado pela visita à empresa supra-citada.

Uma publicação da Agência Internacional de Energia forneceu o valor mínimo, utilizado neste trabalho, para o consumo específico de energia térmica – $119,4 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de vidro (IEA, 2007); ele corresponde às melhores tecnologias hoje utilizadas nos EUA e na União Européia. Infelizmente, não foi encontrado este tipo de estatística para o consumo específico de eletricidade, não possibilitando o cálculo do potencial de economia de eletricidade para esse setor.

A visita realizada à empresa Wheaton, mencionada acima, junto com o relatório da IEA (2007) forneceram elementos para se estimar a distribuição de energia pelos usos finais na produção de vidro. Estes números estão listados na Tabela A12 do Anexo. Dessa forma, os dados levantados para esse segmento possuem confiabilidade média (Tabela 5.2).

5.13 Fundições

A indústria brasileira de fundição é muito “pulverizada” – composta por cerca de 1,3 mil empresas (94% de pequeno e médio portes e 6% grandes), por esse motivo a estratégia de avaliação do potencial de conservação de energia escolhida foi a de agregação de valores relativos à produção e consumos específicos médio e mínimo. Nesse contexto, os dados colhidos não podem ser considerados como idealmente representativos. Dessa forma, atribui-se confiabilidade baixa a tal segmento (Tabela 5.2). Quanto a produção de fundidos, esta foi, em 2007, de 3.227.128 t (MME 2008b).

Os consumos específicos foram levantados a partir de Tolmasquim e Szklo (2000), de IEA (2007) e do Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 2008b). Os valores médios de consumos específicos de energias térmica e elétrica são, respectivamente, $80,1 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de

fundidos e $84,9 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de fundidos. Os valores mínimos são $62,3 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de fundidos e $64,5 \cdot 10^{-3}$ tEP/t de fundidos, respectivamente, para energias térmica e elétrica. As mesmas fontes anteriores permitiram uma avaliação da distribuição por usos finais da energia consumida no segmento de fundição. A Tabela A13 do Anexo traz esses dados.

5.14 Planilha de cálculo

Para facilitar as simulações de potenciais de conservação de energia utilizou-se uma planilha de cálculo Excel onde são armazenados todos os dados levantados para cada segmento industrial bem como as fórmulas de cálculos para simular os potenciais, gerando relatórios e gráficos que possibilitam uma melhor visualização dos resultados obtidos.

A estrutura da planilha é simples e compreende quatro módulos interligados: (i) base de dados; (ii) fórmulas de cálculos; (iii) interface de apresentação com menus de seleção, resultados e gráficos; e (iv) código de programação em VBA (Visual Basic for Applications), para operacionalização da interface de apresentação.

A base de dados contém, para cada segmento, as informações levantadas e já discutidas anteriormente no presente capítulo, e foi estruturada de forma que cada linha corresponde a uma etapa/produto e cada coluna contém uma característica dessa etapa/produto.

Utilizando-se os menus de seleção da interface de apresentação, os dados de um determinado segmento (sub-segmento, cadeia, etapa produtiva ou produto) de interesse são recuperados do banco de dados; a esses dados são aplicadas as equações apresentadas no Capítulo 4, calculando-se os potenciais de conservação de energia que são então apresentados na forma de gráfico e tabela, permitindo ganhos na velocidade de análise dos resultados

A Figura 5.1 a seguir ilustra, de forma simplificada, o funcionamento da planilha.

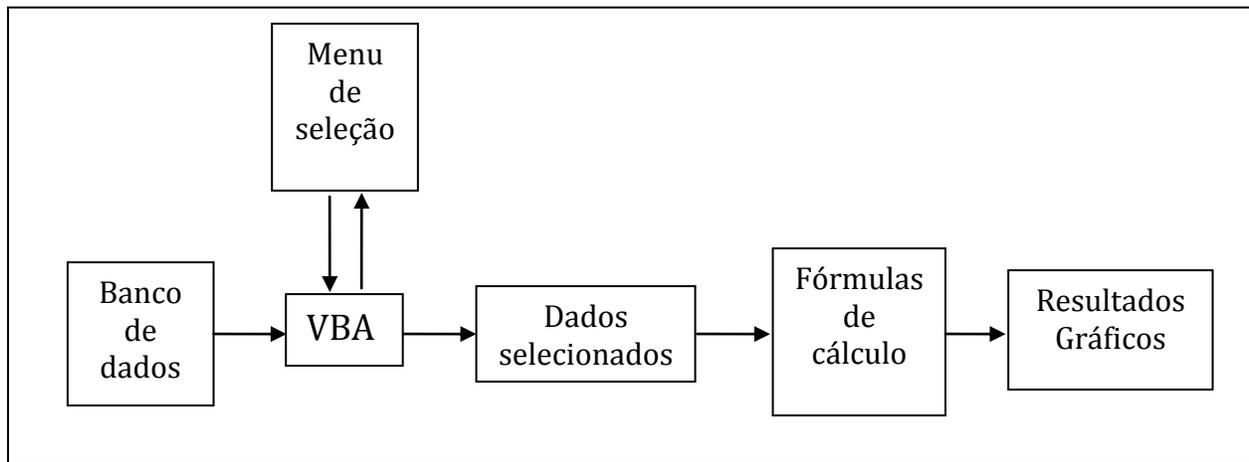


Figura 5.1: Diagrama de funcionamento da planilha de simulação de potenciais

Capítulo 6

Resultados e Análises

Uma vez apresentados os capítulos que tratam da metodologia e da base de dados empregadas, pode-se mostrar os resultados obtidos para os potenciais técnicos de conservação de energia. Tais resultados refletem a qualidade dos dados que foram coletados. Preferiu-se ilustrar os potenciais através de gráficos, cujas barras representam, em sua totalidade, o consumo energético médio, que é dado pela soma do consumo energético mínimo (preto) com o potencial de conservação (branco). No entanto, para quem deseja obter maiores detalhes, todos os resultados obtidos, para cada segmento, encontram-se tabelados no Anexo.

O potencial técnico total de conservação de energia encontrado na indústria brasileira é de 14.656 mil tEP, o que equivale a 18% de todo o consumo energético, em 2007, da indústria brasileira. A seguir, como já feito em dois capítulos anteriores, a apresentação dos resultados de cada segmento segue a ordem dos consumos de energia, do maior para o menor, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008. Infelizmente, nem todos os dados, conforme apresentado no Capítulo 5, puderam ser obtidos para um mesmo ano. Dessa forma, enquanto alguns segmentos possuem dados de 2007, outros têm dados de 2004 e este é o caso das indústrias de alimentos e bebidas.

6.1 Alimentos e Bebidas

Como mencionado no capítulo anterior, a base de dados para as indústrias de alimentos e bebidas foi obtida para o ano de 2004, e, nesse ano, o potencial técnico de conservação do segmento foi avaliado como 517.517 tEP, correspondendo a 11% do total de energia consumida. As Figuras 6.1 e 6.2 mostram a distribuição destes potenciais de conservação de energia térmica e elétrica, respectivamente.

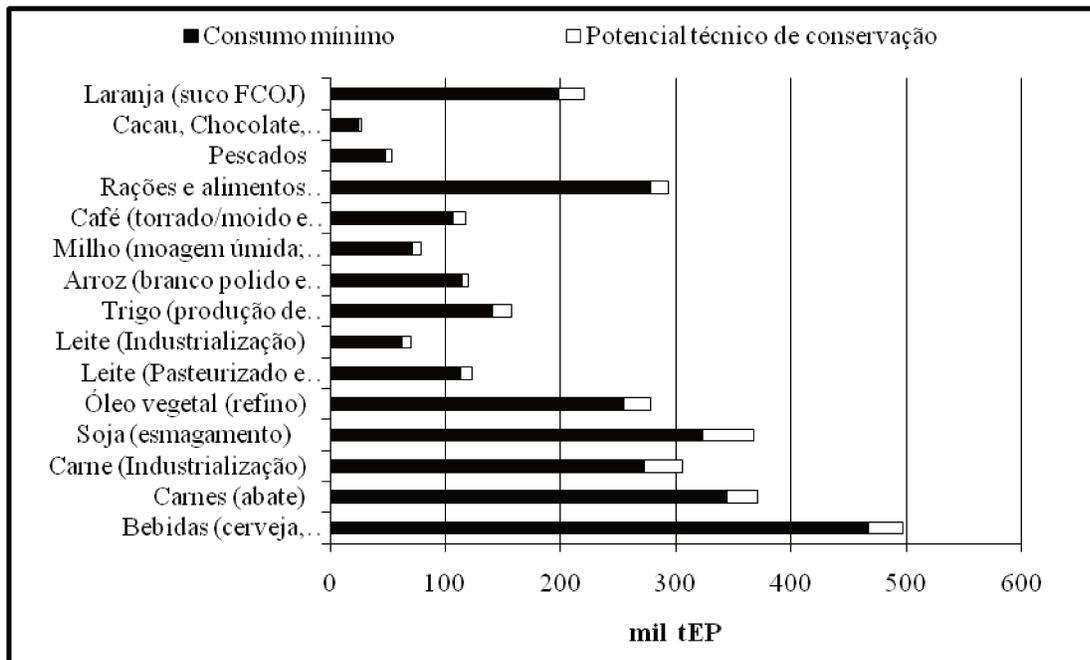


Figura 6.1: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de alimentos e bebidas brasileiro em 2004

De todas as quinze cadeias do segmento de alimentos e bebidas, a que apresenta o maior potencial de conservação de energia, em termos absolutos, é a de rações e alimentos para animais, cujo potencial de conservação é maior para a eletricidade que para a energia térmica. Em seguida aparecem os potenciais de abate de carnes, bebidas e soja, nessa ordem. Além dessas quatro cadeias apresentarem os maiores potenciais em termos absolutos, elas também apresentam os maiores consumos, como pode ser verificado no Anexo.

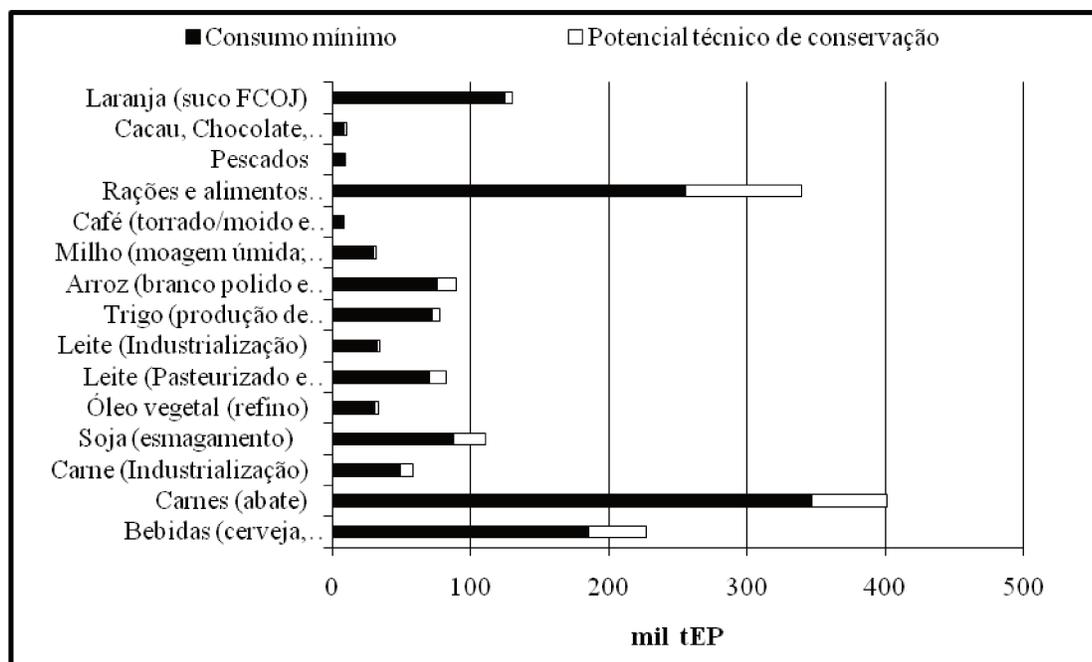


Figura 6.2: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de alimentos e bebidas brasileiro em 2004

No entanto, o potencial técnico de conservação de energia dessas cadeias pode ser apresentado em termos de percentuais do consumo energético delas. Assim, a cadeia de rações e alimentos para animais apresenta um potencial de conservação de 15,8% em relação ao que ela consome. Na sequência aparecem soja, com 14%, industrialização de carne, com 11,7%, leite (pasteurizado e UHT), com 10,8%, etc.

A Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia – Abesco³ estimou, em 2006, um potencial de economia de energia de 10% na indústria de alimentos e bebidas nacional (MOURA, 2006).

Aplicando os dados de distribuição do consumo energético por usos finais e de rendimentos energéticos médios e de referência levantados em 2004, o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia revelou um potencial técnico de conservação de energia de 6,5% na indústria de alimentos e bebidas brasileira em 2004, associada somente à troca dos equipamentos atuais

³ Todos os potenciais estimados pela Abesco que estão apresentados nesta dissertação estão situados entre o potencial econômico e o de mercado

por outros mais eficientes (MME, 2005); os dois maiores usos finais foram calor de processo (35,4%) e aquecimento direto (39,7%).

O resultado encontrado, neste trabalho, aproxima-se muito daquele publicado pela Abesco, no entanto difere um pouco do estimado pelo BEU. Neste último caso, a diferença reside no fato de que o Balanço de Energia Útil leva em conta apenas trocas de equipamentos, enquanto que a abordagem por consumos energéticos específicos permite considerar não só isso, mas também melhores arranjos gerenciais e otimizações de processos com aproveitamentos energéticos.

6.2 Siderurgia

O potencial técnico total de conservação de energia estimado para as usinas siderúrgicas no Brasil, em 2007, foi de 6.823 mil tEP, representando 32,8% do total de energia consumida, naquele ano, por este importante segmento industrial. As Figuras 6.3 e 6.4 mostram como este potencial se distribuiu entre conservação de energia térmica e conservação de energia elétrica, respectivamente, nas várias etapas do processo produtivo consideradas neste trabalho.

É de se destacar que 81,5% do potencial de conservação é para o uso final de aquecimento direto em fornos, 12,9% para força motriz, 3,1% para calor de processo, e, apenas, 2,4% para fornos elétricos. Estes, como já mencionado, são usados nas usinas não integradas ou nas integradas que empregam a redução direta.

Dentre as etapas do segmento siderúrgico, a que apresenta os maiores potenciais de conservação é a redução, tanto por usinas integradas como por produtores independentes, usando praticamente energia térmica nos fornos. Em seguida vêm os potenciais associados às etapas de laminação a quente, coqueificação e refino com conversores LD, nesta seqüência, e com maiores potenciais de conservação de energia térmica do que energia elétrica.

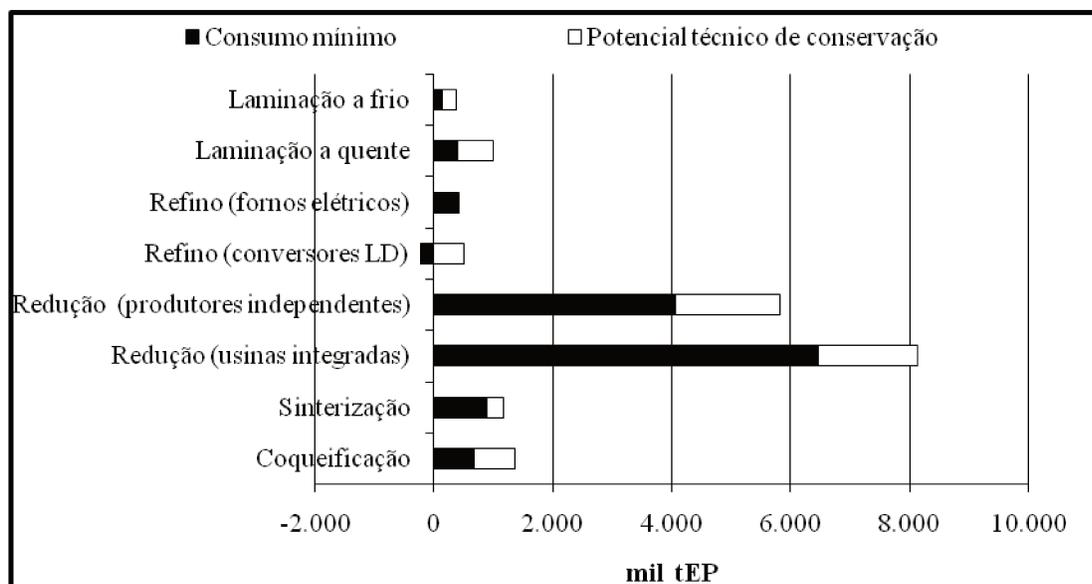


Figura 6.3: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento siderúrgico brasileiro em 2007

Evidente que a confiabilidade dos resultados está intimamente associada à dos dados, portanto, dessa forma, os resultados que refletem as usinas integradas são melhores do que os das semi-integradas, que por sua vez, são mais confiáveis que os dos produtores independentes (Tabela 5.2).

Já que se dispunha de uma excelente amostra de usinas siderúrgicas integradas, para as quais há dados precisos, oriundos de balanços energéticos detalhados, decidiu-se computar não só as potenciais economias de energia associadas às melhores tecnologias – BAT's – sendo utilizadas no exterior (representadas nas Figuras 9 e 10), mas também, as economias de energia associadas às melhores tecnologias atualmente empregadas no Brasil.

Neste contexto, a economia potencial de energia térmica na coqueificação se reduz de 697.379 tEP, ou 51% da demanda correspondente, quando se considera a BAT, para 263.965 tEP, ou 19,3% da demanda, quando só são comparadas as usinas brasileiras.

Na etapa de sinterização, esta redução de economia potencial de energia térmica é de 288.087 tEP, ou 24,7% da demanda, quando se compara com a BAT, para 239.567 tEP, ou 20,5% da demanda, quando são levadas em conta só as usinas brasileiras.

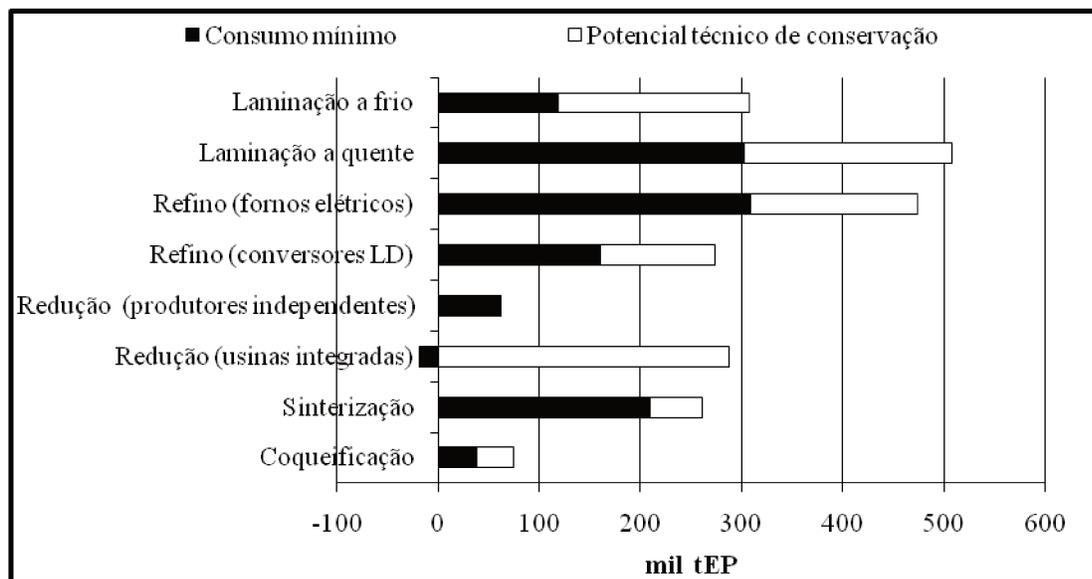


Figura 6.4: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento siderúrgico brasileiro em 2007

A substancial economia de energia térmica de 1.668.137 tEP, ou 20,5% da demanda dessa energia na produção de ferro gusa por usinas integradas, se reduz para 601.878 tEP, ou 7,4% da demanda, quando se compara o desempenho energético só de usinas brasileira, e não mais com o desempenho da BAT.

Na produção de aço em conversores LD, a economia potencial de energia térmica quando se compara com a BAT é de 502.600 tEP, correspondendo a 177% da demanda dessa energia nesta etapa do processo produtivo; ou seja, a BAT propicia uma “exportação” de energia térmica. Quando a comparação se restringe só às usinas brasileiras, esta economia potencial se reduz para 163.345 tEP, ou 57,5% da demanda térmica correspondente.

Uma estimativa da Agência Internacional de Energia publicada em 2008, indica um potencial técnico de conservação de energia, na indústria siderúrgica no mundo, de 21,1% em

2005 (IEA, 2008). Um outro estudo, publicado pela mesma agência, comparou o desempenho de quatro siderúrgicas integradas e oito fornos elétricos à arco no Canadá com uma planta modelo definida pela International Iron and Steel Institute; concluiu-se que há um potencial técnico médio de conservação de energia nas siderúrgicas daquele país que varia de 25 a 30% (IEA, 2007). Bernstein et alii (2007) mencionam potenciais econômicos de economia de energia de 18% na indústria siderúrgica americana e de 13% nas siderúrgicas européias, essencialmente com medidas de modernização e otimização energética de instalações já existentes.

A Abesco estimou, em 2006, que a indústria siderúrgica brasileira possuía um potencial de conservação de energia que variava de 8 a 30%, conforme o tipo de usina considerado (MOURA, 2006). Alternativamente, segundo o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005), só a substituição dos equipamentos então utilizados por outros de eficiência mais elevada, disponíveis no mercado, possibilitaria uma economia potencial de energia de 4,8% em 2007, sendo que 81,3% desta economia ocorreriam no uso final aquecimento direto.

A Abesco apresenta uma faixa cujo limite superior está muito próximo do potencial calculado neste trabalho. Por outro lado, os resultados expressos pelo BEU estão muito aquém. Além do BEU levar em conta apenas trocas de equipamentos, apenas três empresas responderam ao questionário do MME que deu origem ao BEU 2004, por conta disso, valores de 1994 tiveram que ser usados pelo MME para suprir a escassez de dados dessa pequena amostra. Portanto a confiabilidade do resultado do Balanço de Energia Útil não é boa.

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com aqueles internacionais, nota-se que o Brasil possui um potencial de conservação de energia acima da média mundial, e maior que países como EUA e Canadá. Em outras palavras, as indústrias nacionais são menos eficientes que a média mundial.

6.3 Celulose e papel

O potencial técnico total de conservação de energia estimado para o segmento de celulose e papel no Brasil, em 2006, foi de 1.433 mil tEP, representando 17,9% do total de energia

consumida naquele ano. O maior potencial encontra-se no uso final de calor de processo, 86,8% do total, força motriz vem a seguir com apenas 10,6%.

Dos quatro sub-segmentos de celulose e papel, as plantas de reciclagem de aparas são as que possuem o menor potencial de conservação em termos absolutos. As plantas integradas, as plantas que fabricam papel a partir de celulose adquirida de outras fábricas, e as plantas de celulose respondem, respectivamente, por 35,9%, 33,3% e 24,8% do potencial total de conservação desta indústria. Nas Figuras 6.5 e 6.6, os resultados obtidos para os diferentes tipos de fábricas de papel e celulose podem ser comparados.

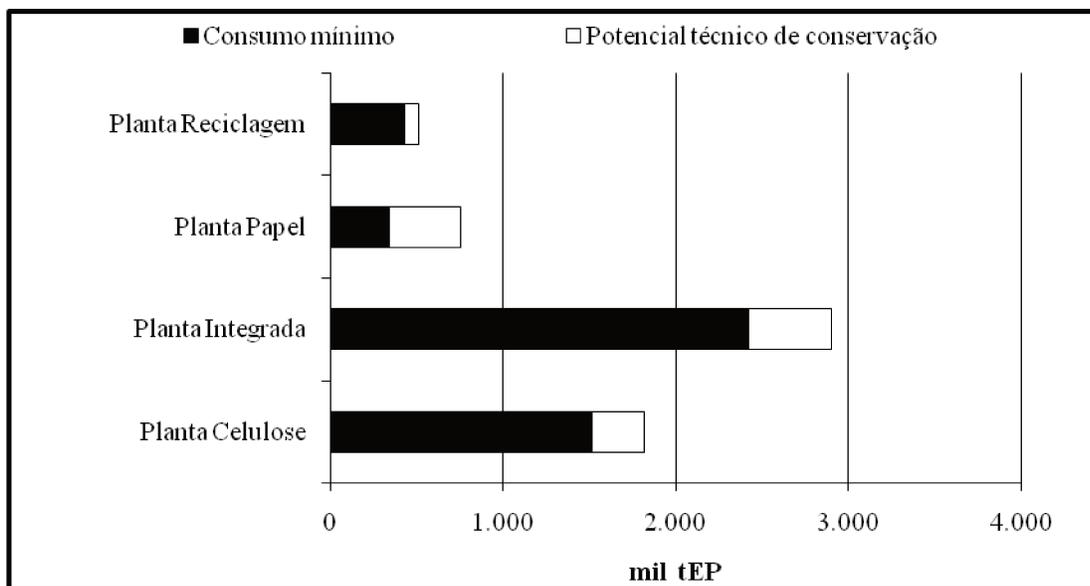


Figura 6.5: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de celulose e papel brasileiro em 2006

Diversos levantamentos realizados na atual década na indústria canadense de celulose e papel detectaram potenciais técnicos de economia de energia elétrica de 20 a 30%, dependendo dos tipos de planta e de papel (IEA, 2007). A AIE estimou potenciais de conservação de energia térmica na indústria de celulose e papel chinesa entre 14 e 27%; os potenciais de conservação de energia elétrica encontrados se situaram na faixa de 23 a 33% (IEA, 2007).

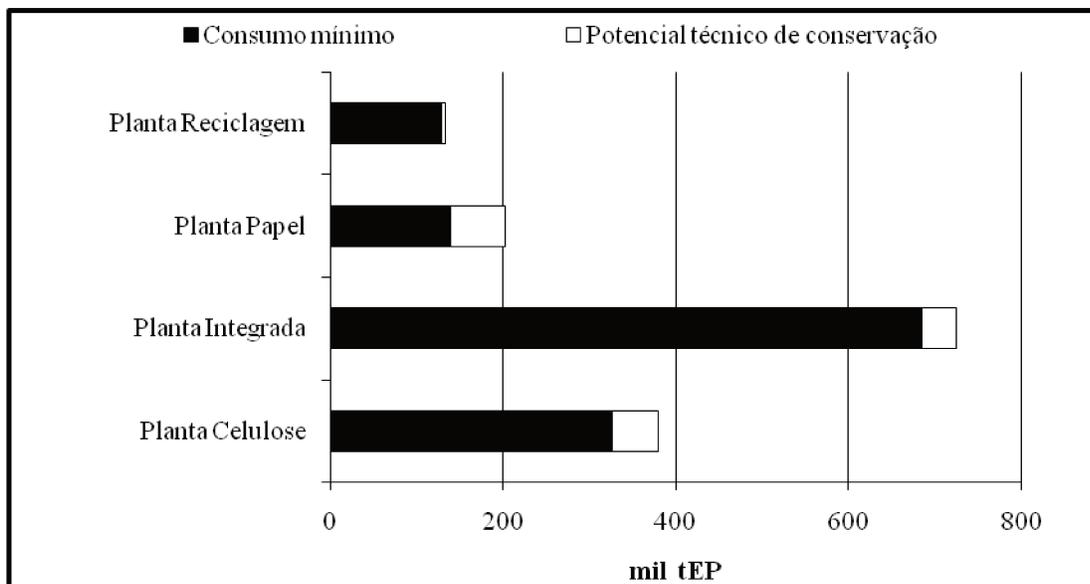


Figura 6.6: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de celulose e papel brasileiro em 2006

A AIE estimou um potencial de conservação de energia térmica de 13% para a indústria de papel e celulose brasileira em 2003 (IEA, 2007) e 9% em 2005 (IEA, 2008); no que diz respeito ao consumo de energia elétrica, foi encontrado um potencial de conservação de 26% em 2003, um dos mais altos entre os países analisados pela Agência (IEA, 2007). Em 2006, a Abesco estimou um potencial de conservação de energia de 6% na indústria de papel e celulose brasileira (MOURA, 2006).

Segundo o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005), só a troca por equipamentos mais eficientes disponíveis no mercado possibilitaria uma economia de energia de 5,3% nesta indústria no Brasil em 2006; 85,7% desta economia ocorreriam no uso final calor de processo.

Ao se comparar o potencial de conservação de energia da indústria de celulose e papel brasileira com a internacional, observa-se que o resultado nacional está dentro da faixa encontrada nos demais países, ou seja, as eficiências médias são compatíveis. No entanto, se se comparar os resultados com os valores anteriormente publicados para o Brasil, nota-se que tanto a Abesco quanto o BEU estimaram potenciais menores. A confiabilidade dos dados desse

segmento é considerada alta, e, portanto, os resultados refletem tal representatividade. O problema encontrado com o BEU é o mesmo de outros segmentos: baixo número de amostras, além de se preocupar apenas com trocas de equipamentos.

6.4 Química

O total estimado de conservação de energia para a indústria química brasileira, em 2006, foi de 1.454 mil tEP, representando 19,7% do total da energia consumida por este segmento industrial naquele ano. Os maiores potenciais de conservação, em termos absolutos, estão no processo produtivo do etileno, amônia, cloro, ácido sulfúrico, polietileno e ácido fosfórico para fertilizantes. A produção da acrilonitrila merece destaque, pois o cálculo do potencial de conservação de energia desse produto indica que seu processo de fabricação pode se tornar um exportador líquido de energia. Esses e outros resultados podem ser verificados no Anexo deste trabalho.

O maior potencial de conservação, na produção de etileno – 402 mil tEP, se dá, sobretudo, em energia térmica utilizada em fornos/reatores. Tal qual ocorre com o etileno, a maior parte do potencial de conservação de energia na produção da amônia (o segundo maior potencial – 259 mil tEP) também se dá em fornos/reatores. O terceiro maior potencial está associado ao cloro produzido nas células de diafragma. Estes três produtos respondem por 53,6% do potencial técnico de conservação de energia na porção da indústria química analisada neste trabalho.

Dos produtos da cadeia denominada “Outros produtos com consumo energético elevado”, só foram obtidos dados suficientes para se estimar o potencial de conservação do metanol, do butadieno e do óxido de zinco.

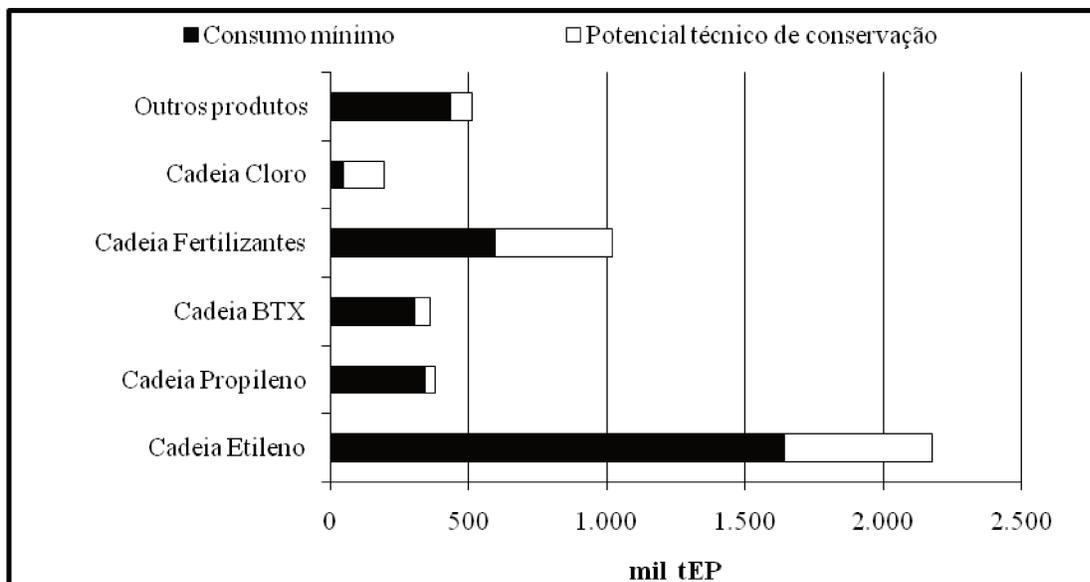


Figura 6.7: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento químico brasileiro em 2006

As Figuras 6.7 e 6.8 ilustram os potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica, respectivamente, agregados nas cadeias da indústria química. As cadeias do etileno, fertilizantes e cloro, nessa ordem, são as que apresentam os maiores potenciais técnicos de conservação.

A Agência Internacional de Energia estimou um potencial técnico de economia de combustíveis e matérias-primas energéticas (mais da metade da demanda energética) para a indústria química no mundo na faixa de 18 a 22% em 2005 (IEA, 2008). Segundo esta publicação, o potencial do Brasil é de 21%, enquanto que EUA – 33%, Arábia Saudita – 25%, Índia – 18%, China – 16%, França – 14%, Alemanha – 14%, Japão – 14%, Canadá – 8% e Reino Unido – 7% (IEA, 2008).

A Abesco divulgou, em 2006, um potencial de economia de energia de 10% na indústria química brasileira (MOURA, 2006). E, segundo levantamento mais recente (2004) do Balanço de Energia Útil, as substituições por equipamentos mais eficientes, disponíveis no mercado, engendrariam economias de 3,7% no consumo energético da indústria química brasileira em

2006; a maior parte destas economias iria ocorrer nos usos finais calor de processo (41,3%), força motriz (34,2%) e aquecimento direto (11,6%).

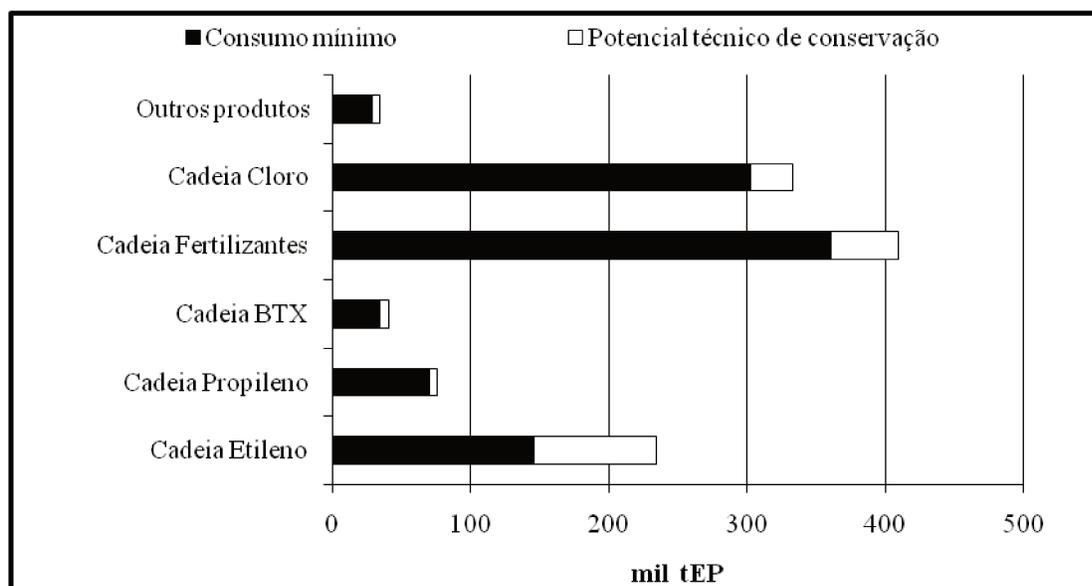


Figura 6.8: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento químico brasileiro em 2006

O resultado obtido encontra-se em concordância com os potenciais apresentados pela AIE. Entretanto, de acordo com as duas publicações nacionais supracitadas, o Brasil teria um potencial menor de economia de energia. A qualidade dos resultados apresentados é boa, pois reflete a confiabilidade dos dados levantados (Tabela 5.2). No entanto, há de se ter em mente que o segmento químico não foi retratado em sua totalidade, mas apenas os produtos mais significativos do ponto de vista energético foram abordados. O BEU aponta um potencial demasiado baixo, o que pode ser explicado utilizando-se as mesmas justificativas apresentadas em outros segmentos, a saber: poucas amostras, qualidade questionável de dados e considerações puramente de trocas de equipamentos.

6.5 Metais não-ferrosos

Dos três metais analisados nesse segmento, o alumínio, conforme mencionado em capítulo anterior, é o mais relevante tanto do ponto de vista energético como econômico. Tal fato pode ser

evidenciado com os resultados obtidos e ilustrados pelas Figuras 6.9 e 6.10. O potencial técnico de conservação de energia estimado para o alumínio responde por 97,6% do total estimado para os metais não-ferrosos. Particularmente para aquele metal, o maior potencial, em termos absolutos, encontra-se no processo de obtenção da alumina.

Os modestos potenciais, em termos absolutos, encontrados para o cobre e o zinco envolvem só a energia elétrica. Por outro lado, no caso do alumínio, 52,3% do seu potencial técnico total de conservação está na forma de energia térmica, com destaque para o aquecimento direto em fornos, principalmente no processo Bayer, na etapa de obtenção da alumina.

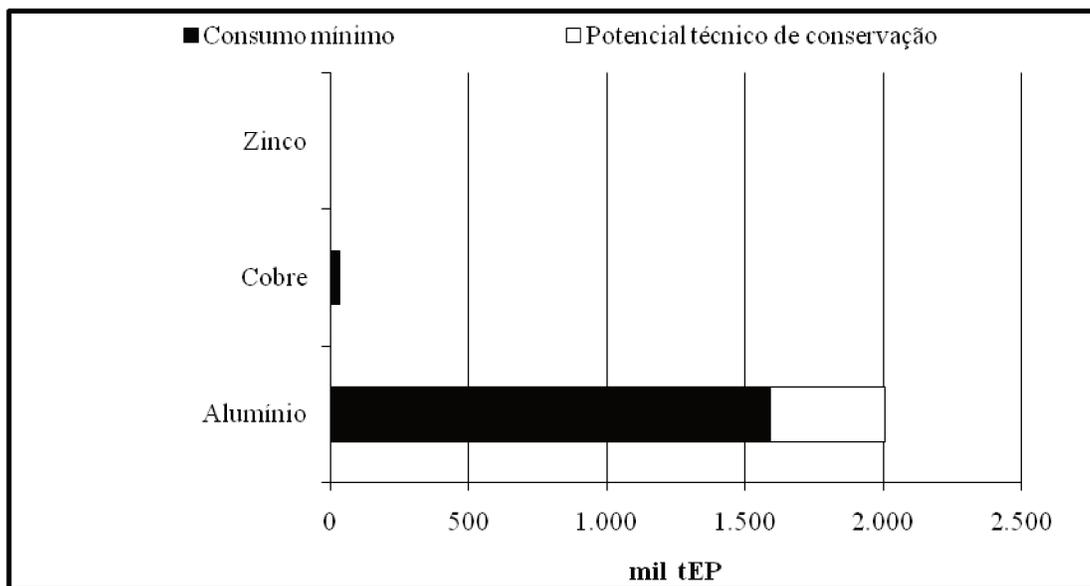


Figura 6.9: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento de metais não-ferrosos brasileiro em 2006

O potencial total de conservação para os três metais analisados é de 814 mil tEP, correspondendo a 14,3% da energia consumida nesse segmento em 2006. A eletricidade, definitivamente, tem um papel fundamental nas indústrias de metais não-ferrosos, sobretudo na produção de alumínio, e o potencial de conservação desse importante energético corresponde a 49% do total encontrado para o segmento como um todo.

As análises dos resultados indicam que a produção da alumina é onde se tem as maiores ineficiências do processo produtivo do alumínio primário; em outras palavras, é onde se encontram os maiores potenciais técnicos de conservação de energia. A produção de cobre primário a partir de concentrado de cobre também apresenta elevados potenciais de conservação.

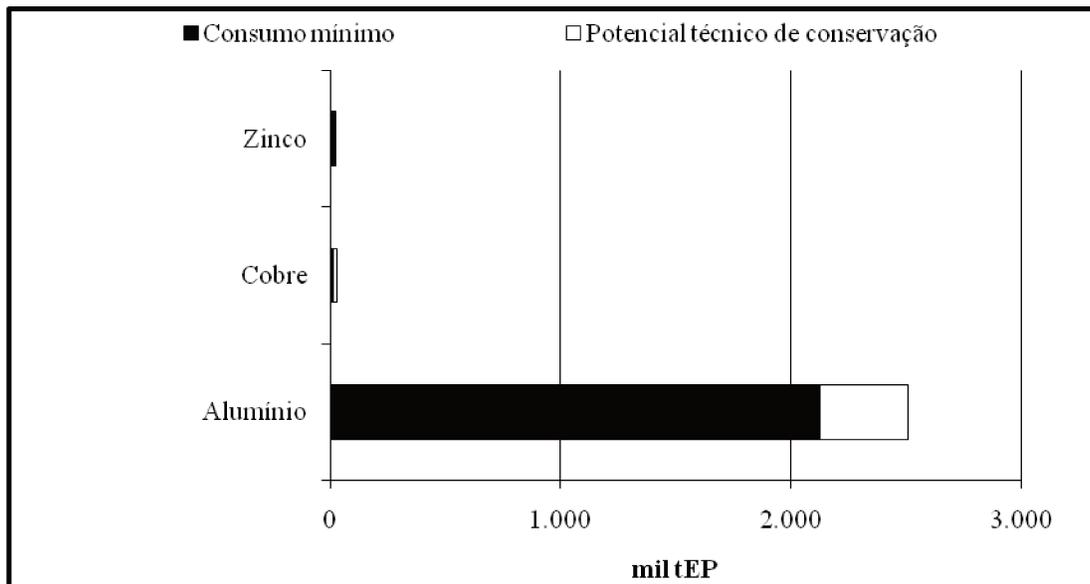


Figura 6.10: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de metais não-ferrosos brasileiro em 2006

A Agência Internacional de Energia estimou que, de 6 a 8% do consumo da energia primária envolvida na fabricação de alumínio no mundo, em 2006, podiam ser economizados com o uso das tecnologias mais eficientes disponíveis no mercado (IEA, 2008); a Agência encontrou um potencial técnico de conservação de energia de 15% na produção de alumina e um potencial técnico de conservação de eletricidade também de 15% na fabricação de alumínio primário em 2004 (IEA, 2007).

Enquanto a Abesco detectou, em 2006, um potencial de economia de energia de 3% na indústria de metais não ferrosos no Brasil (MOURA, 2006), o volume de eficiência energética do PNE 2030 apresenta um potencial técnico de 5%. Por outro lado, só a substituição por equipamentos mais eficientes possibilitaria uma economia de energia de 10,7% nesta indústria, no Brasil, em 2006, segundo os dados do Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e

Energia (MME, 2005). A distribuição, por usos finais, desta economia seria a seguinte: 58,6% no aquecimento direto, 32% em processos eletroquímicos, 6,8% como força motriz e 2,5% como calor de processo e 0,1% na iluminação.

Comparações entre os resultados obtidos e os potenciais publicados na literatura técnica nacional e internacional podem ser feitos, mas tendo-se em mente que o segmento não foi representado em sua totalidade, muito embora a fração mais significativa tenha sido coberta por este trabalho. Sendo assim, e sabendo-se que a confiabilidade dos dados utilizados é alta (Tabela 5.2), pode-se avaliar que o potencial encontrado indica maiores ineficiências do que aqueles divulgados tanto pela AIE quanto pelo PNE e pela Abesco. O potencial de conservação obtido pelo BEU apresenta a mesma ordem de grandeza que o desta dissertação.

6.6 Cerâmica

O sub-segmento de cerâmica vermelha é o que apresenta o maior potencial de conservação de energia em termos absolutos. De fato, dos 1.492 mil tEP de potencial de conservação do segmento, 1.473 mil tEP são provenientes das plantas de cerâmica vermelha, e a parte complementar é o potencial das plantas de revestimento cerâmico. Esses resultados refletem a qualidade dos dados (Tabela 5.2) e, sendo assim, os resultados para cerâmica vermelha são menos confiáveis que para revestimentos cerâmicos.

A ineficiência das plantas de cerâmica vermelha é muita elevada. Para efeitos de comparação, a energia que poderia ser conservada, em 2007, nestas plantas corresponde a 38,4% de toda a energia consumida no segmento cerâmico naquele ano. Esse alto percentual pode ser explicado pelo fato de que a grande maioria dessas unidades de produção são atrasadas tecnologicamente e enfrentam grandes dificuldades para a obtenção de crédito.

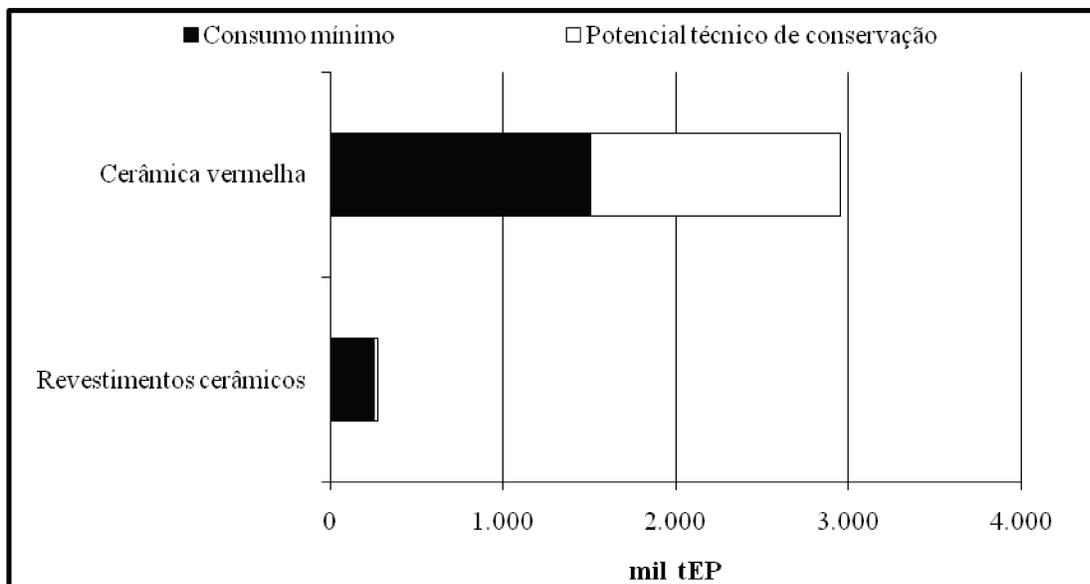


Figura 6.11: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica nas indústrias cerâmicas brasileiras em 2007

Por outro lado, o sub-segmento de revestimentos cerâmicos são mais eficientes, sendo que, em 2007, a energia que poderia ser conservada representou apenas 0,5% do total consumido pelo segmento cerâmico naquele ano. As Figuras 6.11 e 6.12 ilustram os potenciais técnicos de conservação de energia no segmento ceramista brasileiro.

A substituição por equipamentos mais eficientes poderia propiciar uma economia de 20,2% no consumo energético da indústria cerâmica brasileira em 2007, segundo o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005). 98,4% desta economia seria no uso final aquecimento direto.

Ao se comparar os resultados calculados neste trabalho com aqueles obtidos através do BEU, deve-se levar em conta que este último utiliza dados cujos levantamentos de campo foram realizados em 1994, pois em 2004, não houve respondentes aos questionários enviados. Some-se a isto o fato dos dados utilizados nesta dissertação, e apresentados no Capítulo 5, apresentarem confiabilidades média e boa para cerâmica vermelha e revestimentos cerâmicos, respectivamente, e pode-se afirmar que os potenciais calculados são mais representativos que os obtidos pelo BEU.

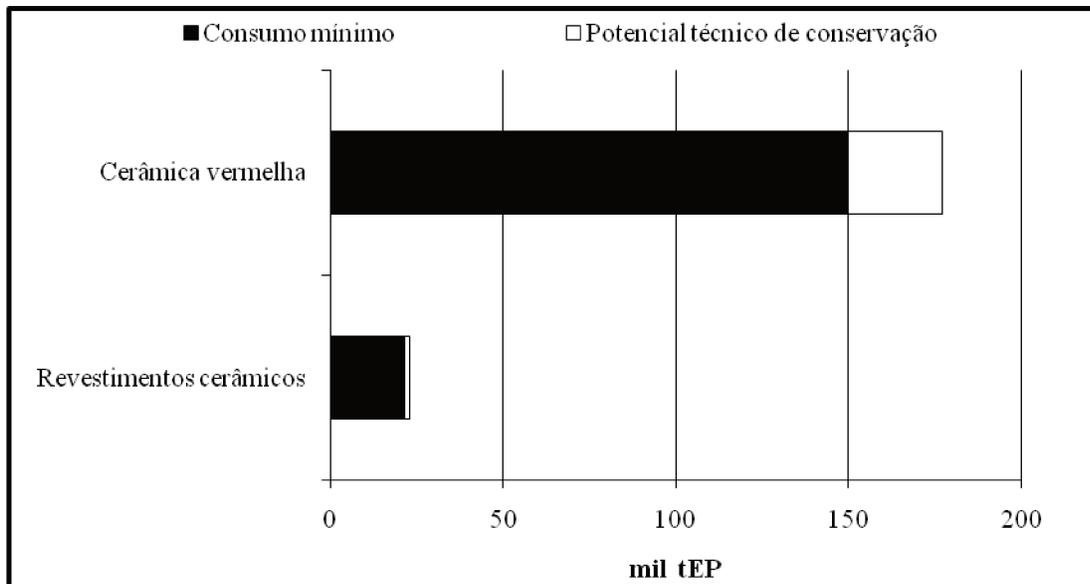


Figura 6.12: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica nas indústrias cerâmicas brasileiras em 2007

6.7 Cimento

O potencial técnico total de conservação de energia estimado para esse segmento no Brasil, em 2007, foi de 1.057 mil tEP, representando 31,3% do total de energia consumida, naquele ano, pelas indústrias cimenteiras. As Figuras 6.13 e 6.14 mostram como este potencial se distribuiu entre conservação de energia térmica e conservação de energia elétrica, respectivamente, nas etapas do processo produtivo consideradas neste trabalho.

Dentre as etapas da indústria cimenteira, a que apresenta o maior potencial de conservação em termos absolutos é a clinquerização (etapa mais energo-intensiva), usando praticamente energia térmica nos fornos. As maiores eficiências na produção do clínquer são obtidas através da utilização de processos de via seca com pré-calcinação e seis estágios de pré-aquecimento (IEA 2007). Em seguida vêm os potenciais associados às etapas de preparação do cru e moagem do cimento, nesta seqüência, sendo que o primeiro tem participação tanto em energia térmica quanto em elétrica, e o segundo, apenas, possui potencial de conservação de eletricidade.

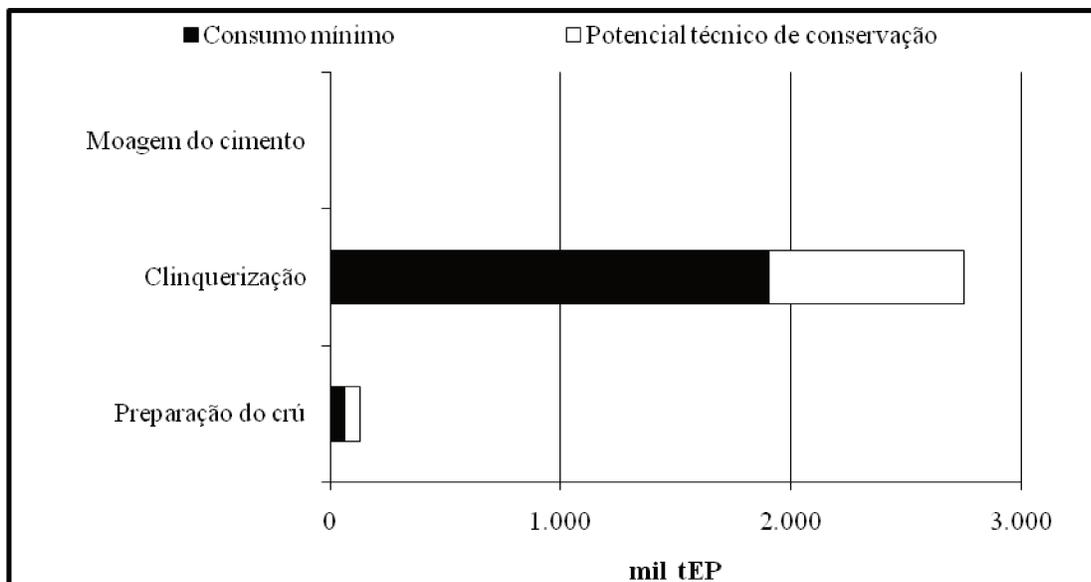


Figura 6.13: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica no segmento cimenteiro brasileiro em 2007

É de se destacar que 80% do potencial de conservação é para o uso final de aquecimento direto em fornos, 13,6% para força motriz e 6,4% para calor de processo.

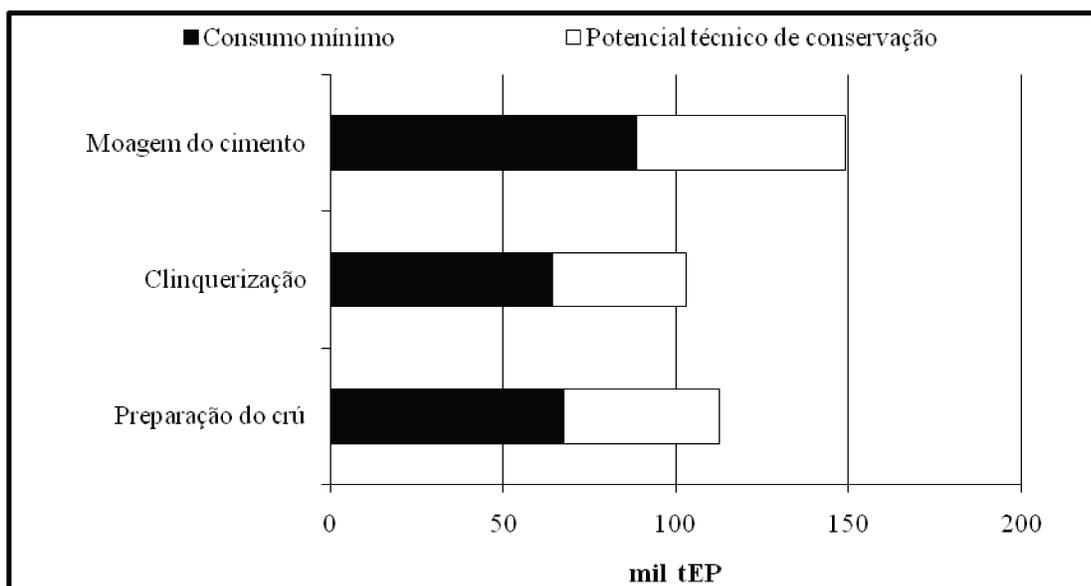


Figura 6.14: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento cimenteiro brasileiro em 2007

A indústria de cimento possuía em 2004 um enorme potencial técnico global de economia de energia primária – de 28 a 33%, de acordo com estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Para o ano seguinte, 2005, a agência estimou um potencial técnico de conservação de energia de 25% para esta indústria no mundo (IEA, 2008), que deve se materializar a longo prazo (2050); a médio prazo (2015 a 2030), o potencial plausível de ser implementado é de 15% (IEA, 2006).

Bernstein et alii (2007) mencionam economias potenciais de energia entre 20 e 50% na produção de cimento em várias partes do mundo, com uma média em torno de 30%. Nos Estados Unidos eles encontraram um potencial econômico de 11%.

A Abesco estimou, em 2006, que a fabricação de cimento no Brasil apresentava um potencial técnico de conservação de energia que se situava na faixa de 7 a 19% (MOURA, 2006). Já para o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia, a simples substituição de equipamentos da indústria cimenteira nacional por modelos mais eficientes, disponíveis no mercado, acarretaria uma economia de 8,7% no consumo energético total desta indústria em 2007 (MME, 2005). 88,5% desta economia seria no uso final aquecimento direto.

O potencial técnico calculado nesta dissertação é próximo dos potenciais médios mundiais divulgados pela AIE e por Bernstein et alii (2007). No entanto, quando as comparações se restringem a resultados anteriormente calculados para o Brasil, o presente trabalho indica que a indústria cimenteira nacional é menos eficiente do que se supunha, transparecendo uma margem para conservação elevada.

6.8 Extrativa Mineral

Como mencionado no capítulo anterior, apenas se dispõem de um dado de consumo específico mínimo de energia, sendo assim, somente foi calculado o potencial de conservação de energia elétrica na etapa de beneficiamento. Isso não significa que a etapa de extração não possua potencial, apenas não foi possível, neste trabalho, calculá-lo por falta de dados. Sendo assim, o potencial total calculado é de 215 mil tEP, o que equivale a 6,4% da energia consumida no

segmento como um todo. O uso final que apresenta o maior potencial de conservação é a força motriz: 97,5%.

A Figura 6.15 ilustra o consumo energético térmico estimado com base nos consumos específicos médios de energia térmica, enquanto que a Figura 6.16 mostra o consumo de energia elétrica mais o potencial de conservação dela.

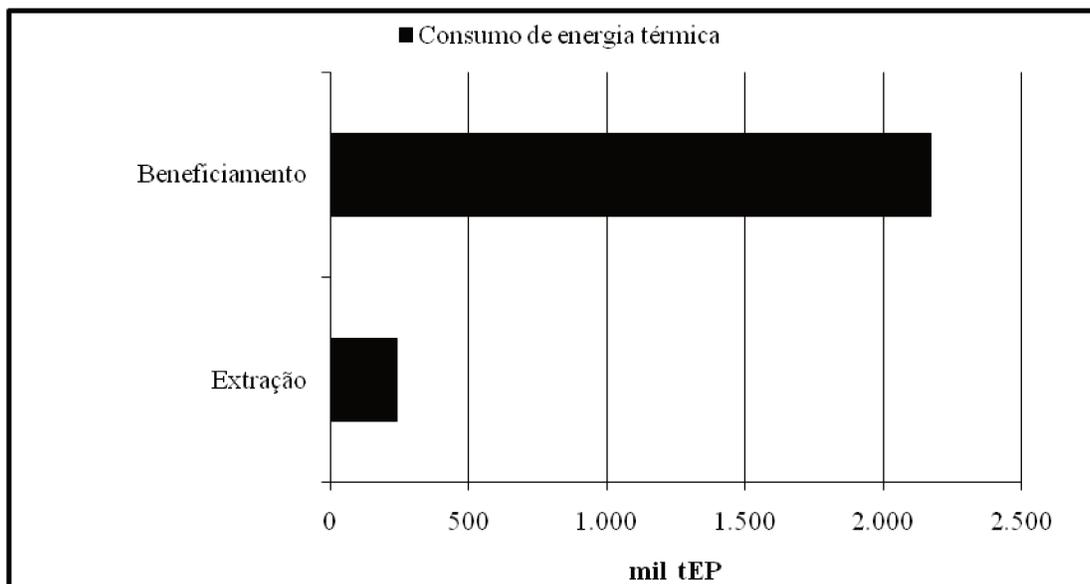


Figura 6.15: Consumo médio de energia térmica no segmento extrativo mineral brasileiro em 2007

A substituição por equipamentos mais eficientes possibilitaria uma economia de energia de 6,2% no consumo energético total da indústria extrativa mineral no Brasil em 2007, segundo os dados do último levantamento do Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005). 71,4% desta economia seriam obtidas no uso final aquecimento direto, 21,5% em força motriz, 5,3% em calor de processo e 1,8% em iluminação.

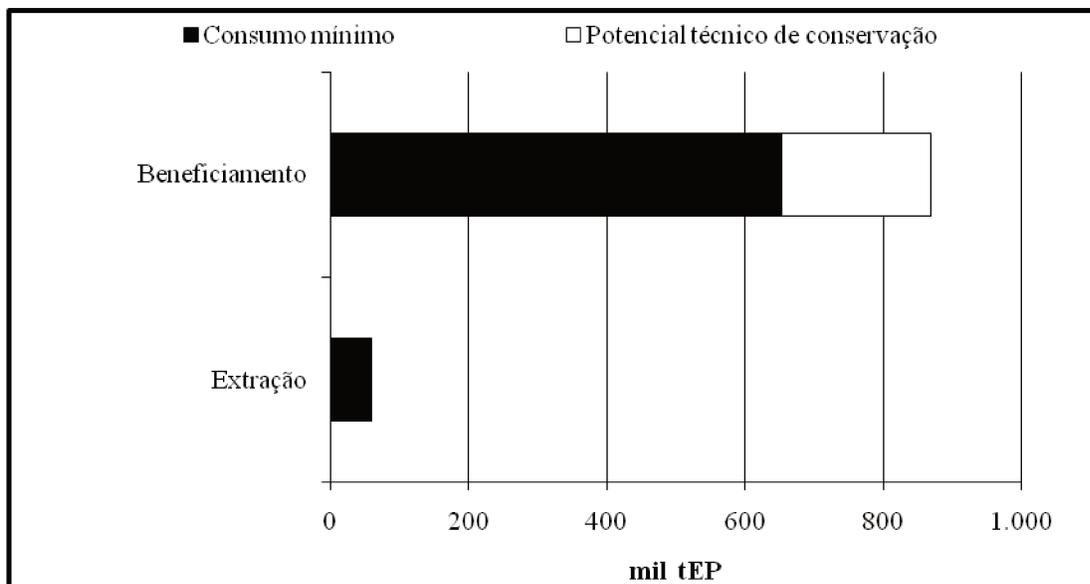


Figura 6.16: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento extrativo mineral brasileiro em 2007

O potencial calculado neste trabalho (apenas para eletricidade na etapa de beneficiamento) é praticamente igual ao potencial de conservação obtido pelo BEU para o segmento como um todo. O Balanço de Energia Útil para a indústria de Mineração não está respaldado por um levantamento de campo recente, sendo que apenas obteve-se uma resposta dentre as empresas declarantes do Balanço Energético Nacional, e o levantamento de 1994 teve de ser utilizado para prover os demais dados.

6.9 Ferro-ligas

Só foi possível estimar o potencial de conservação de energia elétrica para o segmento de ferro-ligas, pois não se obtiveram dados de consumos específicos de energia térmica. A Figura 6.17 ilustra a distribuição desse potencial entre as três etapas do processo produtivo. A maior demanda por energia está associada a etapa de fusão e redução da carga, onde ocorre também o maior potencial de conservação em termos absolutos. Observa-se que 4,9% da energia consumida poderia ser conservada.

As etapas de preparação das matérias-primas e preparação do produto final possuem, cada uma, 10% do potencial de conservação total do segmento de ferro-ligas, ao passo que fusão e redução da carga ficam com os 80% restantes. Todos os resultados para esse segmento estão tabelados no Anexo. É importante salientar que os maiores potenciais estão associados ao uso de fornos elétricos – 96,5% do total do segmento.

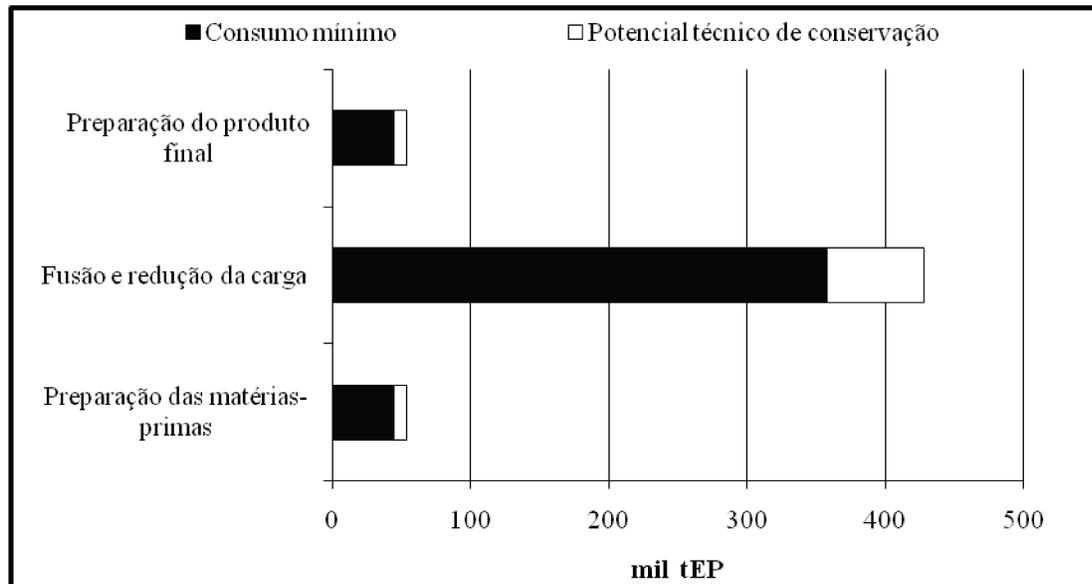


Figura 6.17: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica no segmento de ferro-ligas brasileiro em 2007

Em 2006, a Abesco divulgou um potencial de conservação de energia de 5% na fabricação de ferro-ligas no Brasil (MOURA, 2006). Por outro lado, o último levantamento de dados de campo do Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia, efetuado em 2004, permite estimar um potencial técnico de conservação de energia de 8,7%, no ano de 2007, com a substituição dos equipamentos atualmente utilizados na fabricação de ferro-ligas, no Brasil, por modelos mais eficientes, disponíveis no mercado naquele ano (MME, 2005). 99% deste potencial estavam localizados no uso final aquecimento direto.

Comparando-se o potencial calculado com os potenciais apresentados no parágrafo anterior provenientes de literatura técnica, pode-se dizer que todos apresentam a mesma ordem de

grandeza, no entanto, o potencial calculado poderia ser maior se os consumos de energia térmica tivessem sido levantados.

6.10 Têxtil

O potencial técnico de conservação de energia do segmento têxtil, em 2005, foi estimado em 192.209 tEP, representando 16% do total de energia consumida por este segmento industrial naquele ano. Os maiores potenciais de conservação, em termos absolutos, são das etapas de beneficiamento e fiação, que juntas representam 93,3% do potencial total do segmento.

O maior potencial de conservação, que ocorre na etapa de beneficiamento – 137.650 tEP, se dá, sobretudo, em energia térmica utilizada sob a forma de calor de processo. Por outro lado, a etapa de fiação só apresenta potencial de conservação de energia elétrica, sendo força motriz o uso final de maior potencial nesta etapa. Os menores potenciais de conservação aparecem na confecção.

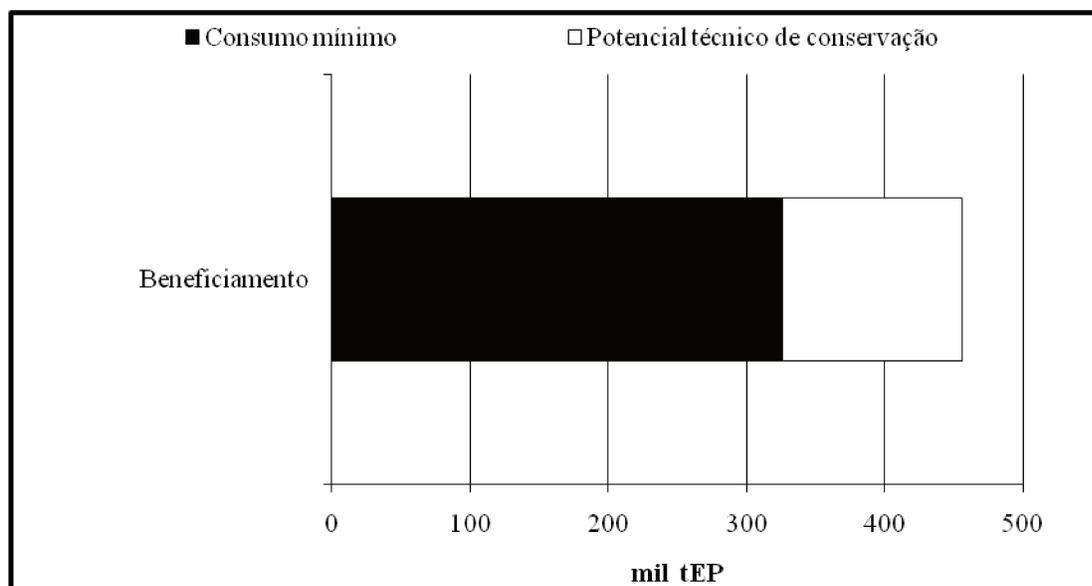


Figura 6.18: Consumo e potencial técnico de conservação de energia térmica nas indústrias têxteis brasileiras em 2005

A maior parcela do potencial total encontrado está no uso de vapor de processo. As Figuras 6.18 e 6.19 ilustram os potenciais de conservação de energia térmica e energia elétrica, respectivamente, junto com as demandas energéticas correspondentes.

É importante salientar que, na indústria têxtil, as tecnologias mais recentes de filatórios, máquinas de malharia, teares a jato de ar, de água e mesmo de pinça, consomem mais energia elétrica por tonelada de fio/tecido do que as tecnologias mais antigas, ainda largamente utilizadas no Brasil. Estas novas tecnologias propiciam ganhos na velocidade de produção dos fios/tecidos e na sua qualidade.

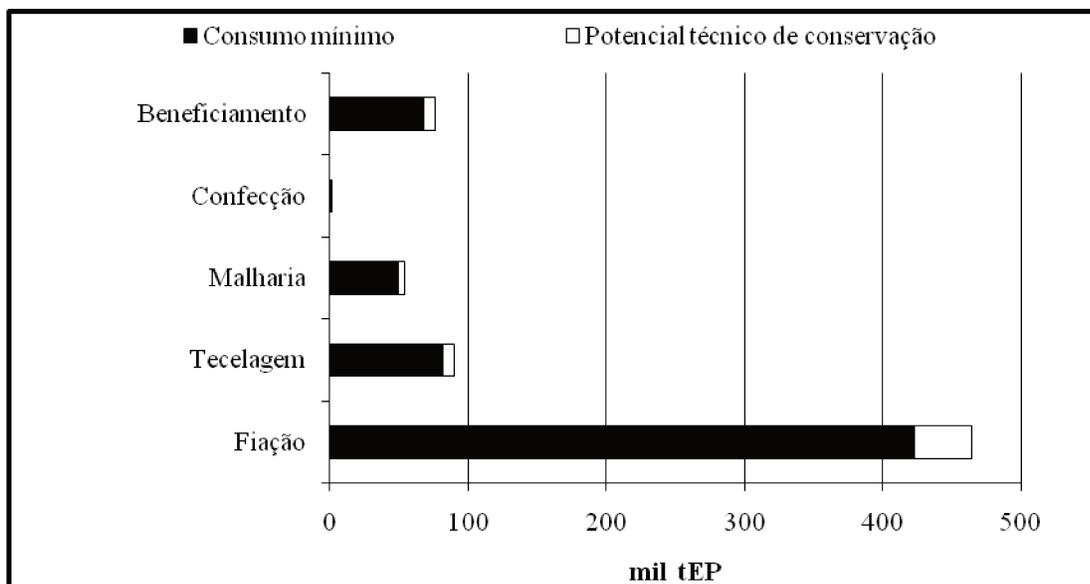


Figura 6.19: Consumo e potencial técnico de conservação de energia elétrica nas indústrias têxteis brasileiras em 2005

A otimização dos equipamentos/sistemas existentes e a minimização do desperdício possuem um grande potencial na indústria têxtil no Brasil, principalmente nas pequenas e médias empresas. Por exemplo, a instalação de variadores de velocidade melhoraria a eficiência energética dos equipamentos existentes, além de outras ações de otimização e gestão. Sem ações como estas, a tendência para o setor é que haja uma piora na eficiência energética, já que há uma tendência de troca dos equipamentos antigos por equipamentos mais modernos, cujo consumo específico é quase sempre maior.

Os resultados calculados para este segmento são reflexo da qualidade dos dados obtidos, e, portanto, possuem confiabilidade baixa (Tabela 5.2). Como comparação, segundo a Abesco, havia, em 2006, um potencial de conservação de energia de 6% na indústria têxtil brasileira (MOURA, 2006), enquanto que segundo dados do Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005), a simples troca de equipamentos por modelos mais eficientes, existentes no mercado, permitiria, em 2005, uma economia de energia de 4,3% na indústria têxtil brasileira. A distribuição desta economia de energia por usos finais era a seguinte: refrigeração – 32%, força motriz – 31,4%, calor de processo – 27,1%, aquecimento direto – 5,9% e iluminação – 3,7%.

6.11 Produção de cal

O potencial técnico de conservação de energia térmica calculado para 2007 é de 172.191 tEP, enquanto que o de energia elétrica é de 50.105 tEP. Logo, o potencial técnico total de conservação de energia, naquele ano, na produção de cal no País é de 222.296 tEP, representando 28,3% do total de energia consumida por este segmento. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 6.20.

Apenas dois usos finais apresentam potencial para conservação de energia: fornos e força motriz. O primeiro possui a maior parcela do potencial total encontrado no segmento – 77,5%.

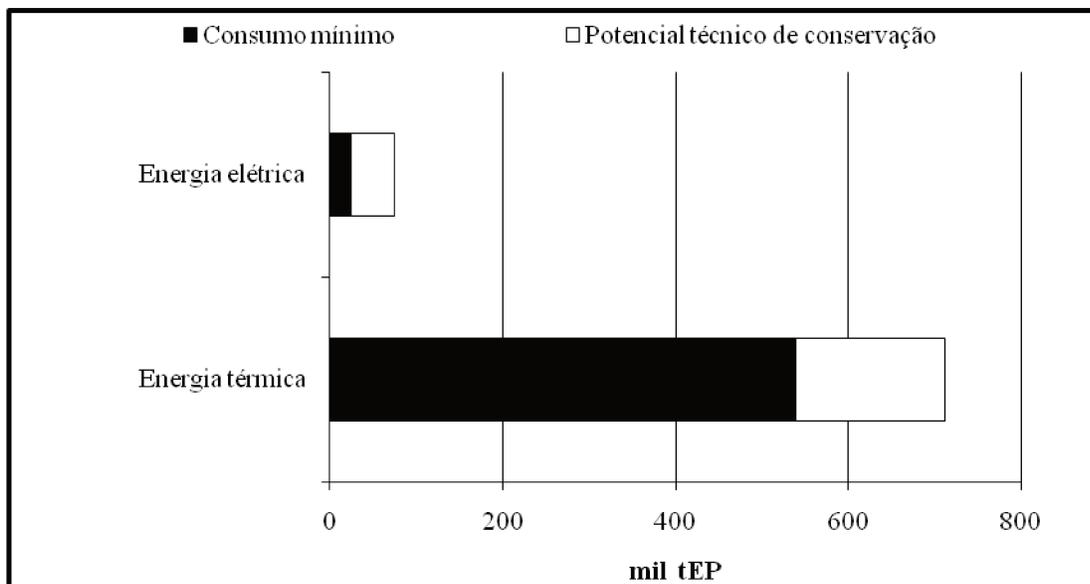


Figura 6.20: Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica no segmento de cal em 2007

A única estimativa de economia de energia encontrada na literatura é para a China, onde, para esse segmento industrial, estima-se que a troca de antigos fornos por modelos maiores e mais eficientes possa trazer uma economia de energia na fabricação de cal de até 21% (IEA, 2007). Para o Brasil, não foram encontrados, na literatura consultada, potenciais de economia de energia que pudessem, assim, permitir uma comparação com os resultados aqui calculados.

6.12 Vidros

Este é um segmento industrial cujo consumo de energia térmica é bem mais elevado do que o consumo de energia elétrica – aproximadamente 4,5 vezes maior – conforme pode ser observado na Figura 6.21.

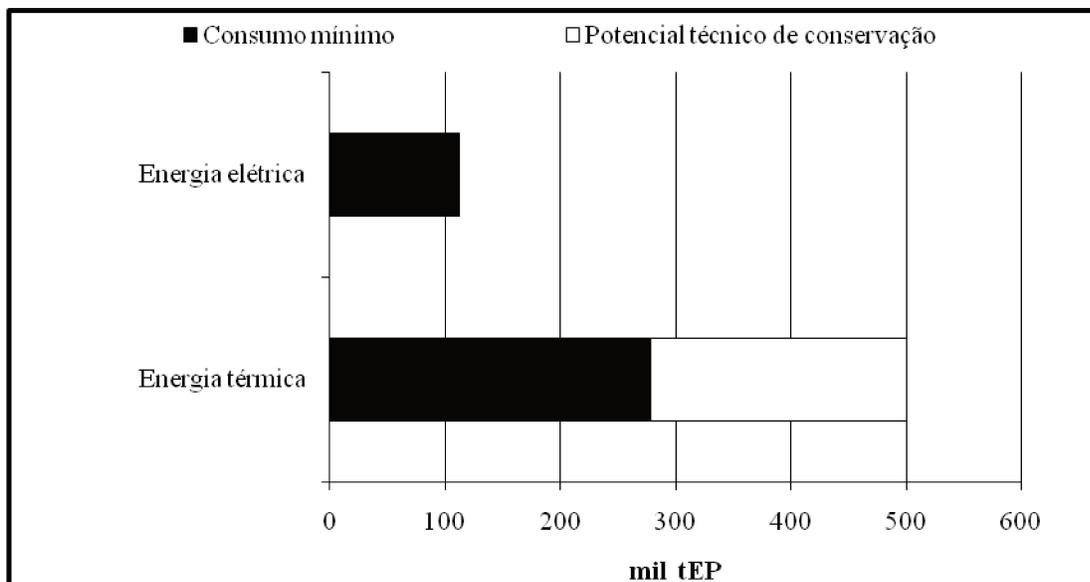


Figura 6.21: Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica nas indústrias de vidro em 2007

Para a energia térmica, conseguiu-se estimar, neste trabalho, um potencial técnico de conservação de 222.831 tEP, em 2007, que correspondeu a 44,5% do correspondente consumo energético naquele ano. Entretanto, para energia elétrica, não foi possível calcular o potencial, pois conforme mencionado no capítulo anterior, dados de consumos específicos mínimos de eletricidade não foram obtidos.

A utilização de grandes fornos com elevadas taxas de reciclagem de vidro pré-aquecido, aquecimento regenerativo e emprego de oxigênio nos queimadores pode propiciar economias de energia entre 30 e 40% do consumo atual nesta indústria segundo a AIE (IEA, 2007). O limite superior desta faixa de conservação está próximo do potencial calculado para este segmento, que apresenta confiabilidade média de dados (Tabela 5.2).

6.13 Fundição

Os potenciais técnicos de conservação de energia térmica, em 2007, ocorrem no aquecimento direto via fornos e em vapor de processo. O primeiro é 50.586 tEP e o segundo é 6.742 tEP. No caso da energia elétrica, o único potencial de conservação é de força motriz, com

65.881 tEP naquele ano. A Figura 6.22 ilustra estes potenciais, que somados podem propiciar uma economia de 123.208 tEP.

Do total consumido pelas fundições, em 2007, 23,1% pode ser conservado de acordo com as estimativas feitas a partir dos consumos energéticos específicos levantadas para o segmento e apresentadas no capítulo anterior, cuja confiabilidade é baixa.

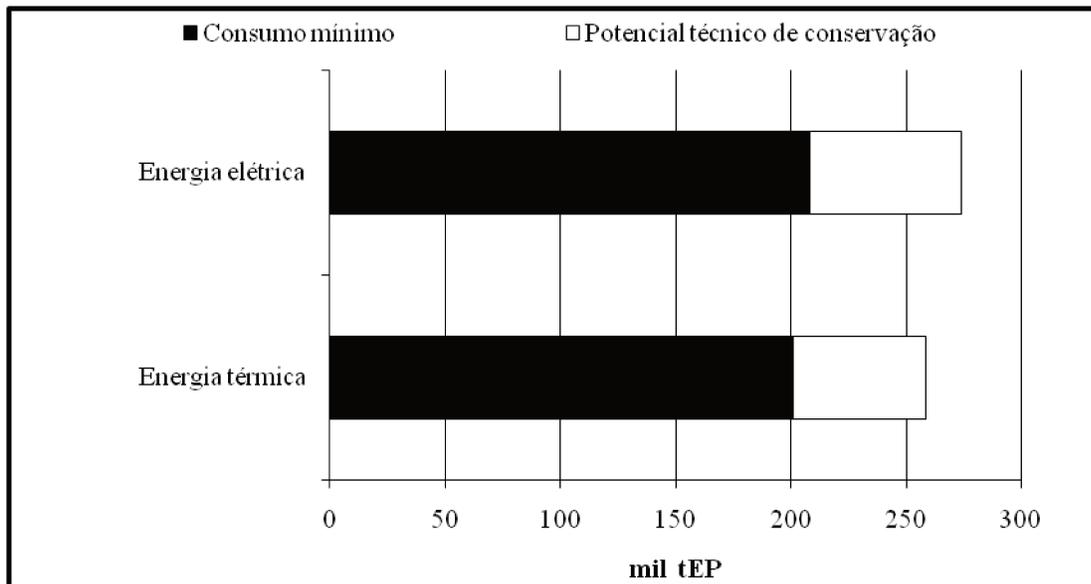


Figura 6.22: Consumos e potenciais técnicos de conservação de energias térmica e elétrica no segmento de fundição em 2007

Por conta, aparentemente, do fato das estatísticas das fundições estarem normalmente contabilizadas junto com as estatísticas das indústrias siderúrgica, de metais não ferrosos e de ferro-ligas, não foram encontradas estimativas de economias de energia para as fundições, nas referências bibliográficas consultadas nesta dissertação.

Capítulo 7

Conclusões

De forma a facilitar a visualização e o entendimento, a Tabela 7.1 apresenta os principais resultados obtidos no capítulo anterior. A partir dela, pode-se constatar que a indústria siderúrgica é a que possui os maiores potenciais absolutos de conservação e, também, o maior potencial relativo de conservação de energia elétrica.

A indústria cerâmica, por conta de seu segmento de cerâmica vermelha, é o que possui o segundo maior potencial, em termos absolutos, de conservação de energia térmica e de consumo total de energia. As elevadas ineficiências ficam evidentes quando se olha para o potencial relativo, que é o maior – 39% da energia consumida poderia ser conservada. Boa parte dos fabricantes de cerâmica vermelha são empresas de pequeno e médio porte, que ainda utilizam fornos e processos ineficientes, em termos de consumo energético, sobretudo de energia térmica.

Os cinco primeiros segmentos apresentados na Tabela 7.1 respondem por 84% do potencial técnico de conservação de energia calculado neste trabalho. Dentre estes cinco, a indústria de cimento tem o terceiro maior potencial relativo de conservação de eletricidade e o quarto de energia térmica, indicando grande espaço para o uso racional de energia.

Dentre os demais oito segmentos, de certo, as indústrias de vidro e produtoras de cal se destacam devido aos elevados potenciais de conservação relativos. De acordo com os cálculos realizados, esta última poderia economizar 68% da eletricidade consumida se adotasse as melhores práticas e tecnologias, enquanto que a primeira, se utilizasse de forma racional os recursos energéticos, poderia conservar 45% de energia térmica.

Tabela 7.1: Potenciais técnicos, absoluto, em mil tEP, e relativo, em %, de conservação de energia térmica, eletricidade e consumo total de energia dos segmentos industriais energo-intensivos

Segmentos Industriais	Ano	Energia térmica		Energia elétrica		Total	
		Pot. Abs. (mil tEP)	Pot. Rel. (%)	Pot. Abs. (mil tEP)	Pot. Rel. (%)	Pot. Abs. (mil tEP)	Pot. Rel. (%)
Siderurgia	2007	5.774,9	31%	1.048,1	47%	6.823	33%
Cerâmica	2007	1.464,3	41%	28,4	10%	1.492,8	39%
Química	2006	1.268,9	23%	185,6	10%	1.454,5	20%
Celulose e papel	2006	1.273	19%	160,3	12%	1.433,3	18%
Cimento	2007	913	30%	144,1	39%	1.057,1	31%
Metais não ferrosos	2006	415,1	16%	399	13%	814,1	14%
Alimentos e bebidas	2004	260,4	8%	257,1	16%	517,5	11%
Vidros	2007	222,8	45%	0	0%	222,8	36%
Cal	2007	172,2	24%	50,1	68%	222,3	28%
Extrativa mineral	2007	0	0%	215,3	23%	215,3	6%
Têxtil	2005	130	24%	62,2	9%	192,2	16%
Fundição	2007	57,3	20%	65,9	24%	123,2	23%
Ferro ligas	2007	0	0%	87,7	12%	87,7	5%

Todos os potenciais calculados neste trabalho são técnicos, levando apenas em conta as melhores tecnologias e práticas atualmente disponíveis. Sendo assim, ele serve como um sinalizador de quanto se poderia economizar, no máximo, de energia. No entanto, na prática, tais potenciais raramente são alcançados, pois existem fatores outros que determinam ou não a inserção de determinada tecnologia e/ou prática nas indústrias. Para se levar em conta tais fatores, existem os potenciais econômicos, que consideram restrições econômicas e acessos a créditos vantajosos, e, também, os potenciais de mercado que mostram as barreiras que de fato impedem a realização de algum projeto. Tais barreiras, de forma geral, podem ser:

- (i) A simples não priorização das ações voltadas ao uso racional da energia, pelo fato dos custos com energia não serem tão significativos em relação aos demais custos de produção e, também, pela não percepção dos riscos associados à segurança do suprimento energético;
- (ii) A ausência ou não adequação das linhas de financiamento;
- (iii) Os altos custos iniciais, visto que equipamentos com tecnologia de ponta são mais caros;
- (iv) A ausência das informações de alternativas tecnológicas e de seus benefícios, principalmente, no caso de pequenas empresas.

O Brasil precisa abordar a conservação de energia de forma mais séria e menos modesta do que tem feito até o momento. Conforme pode ser observado na Tabela 7.1, existem grandes potenciais de conservação de energia nas indústrias brasileiras, portanto, esse setor merece especial atenção por parte dos agentes governamentais responsáveis pelas políticas energéticas. Programas visando a eficiência energética à semelhança do *Industrial Technologies Program* do DOE, devem ser implantados no Brasil para melhorar a segurança energética, reduzir gastos com energia, promover a conservação de recursos ambientais e reduzir impactos ao meio ambiente. Tais programas devem reduzir, ou até mesmo quebrar, as barreiras supracitadas permitindo que as indústrias implantem medidas de conservação energética em seus processos.

Ao se avaliar os potenciais técnicos de conservação de energia, apresentados na Tabela 7.1, é importante se ter em mente que:

- (i) Potenciais técnicos de conservação de energia elevados não significam, necessariamente, potenciais econômicos e de mercado também elevados; e
- (ii) Potenciais de conservação de energia baixos ou nulos, na Tabela 7.1, não significam que não existam estes potenciais, ou que eles não possam ser maiores, mas refletem, tão somente,

dados incompletos, ou a falta deles, durante os cálculos destes potenciais. De fato, a qualidade dos resultados é reflexo direto da confiabilidade dos dados levantados.

7.1 Recomendações para futuros trabalhos

Como forma de avançar os estudos iniciados neste trabalho, os cálculos dos demais potenciais – econômico e de mercado – são importantes para que se tenha a medida factível de energia que se pode conservar. Outro aspecto que poderia ser avançado é a obtenção de alguns dados de consumos específicos que não se conseguiu obter, por exemplo, indústrias como a extrativa mineral e ferro-ligas não puderam ser completamente analisadas por conta da escassez de dados. Ainda nessa linha, poderia se tentar aumentar a confiabilidade de determinados dados.

Um tema que hoje em dia está muito em voga é a relação entre emissão de gases estufa na atmosfera e aquecimento global. Como recomendação para futuros trabalhos, poderiam ser calculados potenciais de emissões evitadas devido à conservação de energia. Particularmente, neste trabalho, não há como serem feitas tais estimativas, porque a energia térmica não foi separada dentre os diversos combustíveis. Cada combustível, por possuir um índice de emissão diferente, deve ser identificado, e somente após se conhecer o mix que compõe a energia térmica é possível calcular o potencial de emissão de gases estufa evitado. Sem se fazer uma projeção de demanda completa, como estimativa, poderia se utilizar a distribuição dos energéticos publicada no Balanço Energético Nacional.

Referências Bibliográficas

ABAL, Fundamentos do Alumínio e suas Aplicações, Associação Brasileira da Indústria do Alumínio (ABAL), 2004.

ABICLOR, Anuário Estatístico 2006. Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados (ABICLOR), São Paulo, SP, 2007.

ABIQUIM, Anuário da Indústria Química Brasileira. Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), São Paulo, SP, 2007.

ABIVIDRO, Anuário, Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro), São Paulo, SP, 2007.

ABM, Anais do XXVIII Seminário de Balanços Energéticos e Utilidades, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), Vitória, ES, agosto de 2007

ABM, Anais do XXIX Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), Porto Seguro, BA, 2008.

ALVARADO, S., MALDONADO, P., BARRIOS, A. and JAQUES, I., Long term energy-related environmental issues of copper production. *Energy* 27, pp. 183-196, 2002.

ALVES, J.A., MELCHIADES, F.G. e BOSCHI, A.O., Levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. In: Revista Cerâmica Industrial, 12 (1/2): 17-21, janeiro/abril, 2007

ANDA - Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Acesso ao endereço eletrônico <http://www.anda.org.br> em 13/04/2008.

BAJAY, S. V., WALTER, A. C. S., FERREIRA, A. L., CARVALHO, E. B. E AGRA, D. A., Relatório da Atividade I: Caracterização Técnica, Econômica e Energética dos Onze Segmentos Industriais Energo-Intensivos Objeto de Análise, Convênio Eletrobrás / Unicamp / Funcamp no ECV-677/94, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, janeiro de 1995.

BAJAY, S. V.; CARVALHO, E. B.; FERREIRA, A. L., Relatório Técnico Final - Parte II: Medidas de conservação de energia e modulação de carga, potenciais de conservação, banco de dados sobre consumo energético e cenário de desenvolvimento setorial com programas institucionais de conservação, Contrato ELETROBRÁS (PROCEL) / UNICAMP / FUNCAMP, NIPE / PRDU / UNICAMP, Campinas, SP, 107 pp., 1998.

BAJAY, S. V. (Coordenador). Caracterização Técnica e Energética dos Setores Industriais, relatório técnico do projeto versando sobre “Análise e desenvolvimento de metodologia visando a implementação de projetos de eficiência energética na indústria”, financiado pela Confederação Nacional da Indústria, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

BARBELI, M., Produção e consumo de energia na indústria de papel e celulose: passado recente e perspectivas futuras, Tese de doutorado em planejamento de sistemas energéticos, FEM, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003.

BRACELPA, Anuário Estatístico, Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), São Paulo, SP, 2007.

Bernstein, L., J. Roy, K. C. Delhotal, J. Harnisch, R. Matsuhashi, L. Price, K. Tanaka, E. Worrell, F. Yamba, Z. Fengqi, Industry. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007

BROWN, H. L., HAMEL, B. B. and HEDMAN, B. A., *Energy Analysis of 108 Industrial Processes*, Fairmont Press Editions, USA, 1985.

CEMIG, *Estudo de Otimização Energética do Setor de Cerâmica Vermelha*, Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Belo horizonte, MG, 1994.

CETCEP, *Curso de Tecnologia de Papel*, Centro de Tecnologia de Celulose e Papel, SENAI, Telêmaco Borba, Paraná, 2004.

DELBONI JR., H., *Ajuste de modelos empíricos de operação de ciclones*, dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, junho de 2007.

DE PAULA, G. M., XAVIER, C. L. *Nota Técnica sobre a Indústria Extrativa Mineral e Minerais Não-Metálicos. Estudos Prospectivos Setoriais e Temáticos – Módulo 4/Estudo da Dimensão Territorial do PPA*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, DF, novembro de 2006.

DNPE – Departamento Nacional de Produção Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2006. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em março de 2008.

DOE, *Mining Industry Bandwidth Study*, Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy (DoE), 2007.

EMS-TEXTILE PROJECT, Promotion of Energy Management Practices in the Textile Industries of Greece, Portugal, Spain and Bulgaria, Report, 2006.

EPE, Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência Energética, Empresa de Pesquisas Energéticas, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 2007

FIESP/CESTESB/BRACELPA, Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose, Série P + L, 2008, 50 pp.

IBS, Anuário Estatístico – 2003, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

IBS, Anuário Estatístico – 2008, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

IEA, Energy Technology Perspectives 2006 – Scenarios and Strategies to 2050, International Energy Agency (IEA), Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 2006.

IEA. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions, International Energy Agency – IEA/OECD, Paris, 2007.

IEA. Worldwide trends in energy use and efficiency, International Energy Agency – IEA/OECD, Paris, 2008

INDI, Perfil do Setor de Fundição em Minas Gerais, Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais (INDI), Belo Horizonte, MG, 1999.

IEMI, Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira, Instituto Brasileiro de Marketing Industrial (IEMI), São Paulo, v. 6, n° 6, p. 172, 2006.

MME – Balanço de Energia Útil 2005, Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2005

- MME – Plano Nacional de Energia 2030, Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2007
- MME – Balanço Energético Nacional 2008, Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2008a
- MME – Anuário Estatístico – Setor Metalúrgico Brasileiro – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/ Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2008b
- MME – Sinopse – Mineração e Transformação Mineral (Metálicos e Não-Metálicos), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2008c
- MME – Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não Metálicos, Secretaria de Geologia Mineração e Transformação Mineral / Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, DF, 2008d.
- Moura, R. C., Resultado de eficiência energética na indústria – Visão da ABESCO, Seminário Internacional de Eficiência Energética, Campinas, SP, 2006
- NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. *Estud. av.*, São Paulo, v. 21, n. 59, abr. 2007 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100008&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 08 jun. 2009. doi: 10.1590/S0103-40142007000100008.
- PREGA, Energy Efficiency and Energy Conservation Implementation at an Integrated Textile Plant in Purwakarta, Final Report, Promotion of Renewable Energy, Energy Efficiency and Greenhouse Gas Abatement (PREGA), Indonesia.

SOARES, J. B., Potencial de Conservação de Energia e de Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa para a Indústria Brasileira de Cimento Portland até 2015, dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Em <http://www.snic.org.br>, acessado em março de 2009.

TOLMASQUIM, M. T. e SZKLO, A. S (coordenadores), A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

TOLMASQUIM, M. T., SZKLO, A. S. e SOARES, J. B., Mercado de Gás Natural na Indústria Química e no Setor Hospitalar no Brasil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

Anexo

Tabela A1: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de alimentos e bebidas, em %

Cadeia	Energia térmica			Energia elétrica		
	Aquecimento direto		Vapor de Processo	Força motriz	Refrigeração	Iluminação
	Fornos	Secadores				
Bebidas (cerveja, cachaça, refriger., sucos, etc.)	0,3932	0,1367	0,4701	0,7412	0,0000	0,2588
Carnes (abate)	0,1166	0,0000	0,8834	0,4050	0,4492	0,1458
Carne (Industrialização)	0,1166	0,0000	0,8834	0,4050	0,4492	0,1458
Soja (esmagamento)	0,0000	0,0937	0,9063	0,8063	0,0000	0,1937
Óleo vegetal (refino)	0,0000	0,2256	0,7744	0,8062	0,0000	0,1938
Leite (Pasteurizado e UHT)	0,0000	0,0000	1,0000	0,6931	0,1843	0,1226
Leite (Industrialização)	0,0000	0,0583	0,9417	0,7201	0,1173	0,1627
Trigo (produção de farinha e farelo)	0,0000	0,9517	0,0483	0,8052	0,0000	0,1948
Arroz (branco polido e parboilizado)	0,0000	0,2205	0,7795	0,8067	0,0000	0,1933
Milho (moagem úmida; a seco e pequenos moinhos)	0,0000	0,0000	1,0000	0,6942	0,1818	0,1240
Café (torrado/moido e solúvel)	0,5000	0,2847	0,2153	0,8061	0,0000	0,1939
Rações e alimentos para animais	0,5673	0,0000	0,4327	0,8064	0,0000	0,1936
Pescados	0,0000	0,0000	1,0000	0,6933	0,1842	0,1224
Cacau, Chocolate, balas e doces	0,1832	0,0294	0,7873	0,7782	0,0461	0,1757
Laranja (suco FCOJ)	0,6123	0,0000	0,3877	0,8065	0,0000	0,1935

Fonte: BROWN, HAMEL and HEDMAN (1985); MME (2005)

Tabela A2: Coeficientes de distribuição de energia do segmento siderúrgico, em %

Etapa	Produto	Energia térmica		Energia elétrica
		Aquecimento direto - Fornos	Vapor de Processo	Força motriz
Coqueificação	Coque	0,9150	0,0850	1,0000
Sinterização	Sínter	0,9990	0,0010	1,0000
Redução - usinas integradas	Ferro gusa	0,9780	0,0220	1,0000
Redução - produtores independentes	Ferro gusa	1,0000	0,0000	1,0000
Refino - conversores LD	Aço bruto	0,9000	0,1000	1,0000
Refino - fornos elétricos	Aço bruto	0,9490	0,0510	1,0000
Laminação a quente	Aço bruto	0,9890	0,0110	1,0000
Laminação a frio	Aço bruto	0,7330	0,2670	1,0000

Fonte: ABM (2007, 2008)

Tabela A3: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de celulose e papel, em %

Sub-segmento	Etapa	Energia térmica		Energia elétrica		
		Aquecimento direto - Fornos	Vapor de Processo	Força motriz	Eletrólise	Iluminação
Planta Celulose	Produção celulose	0,050	0,950	0,930	0,060	0,010
Planta Integrada	Produção celulose e papel	0,030	0,970	0,935	0,050	0,015
Planta Papel	Produção de papel a partir de celulose, incluindo papel sanitário	0,000	1,000	0,970	0,000	0,030
Planta Reciclagem	Produção de papel a partir de aparas	0,000	1,000	0,970	0,000	0,030

Fonte: BAJAY ET ALLI (1998); MME (2005)

Tabela A4: Coeficientes de distribuição de energia do segmento químico, em %

Cadeia	Produto	Energia térmica				Energia elétrica			
		Aquecimento direto		Vapor de Processo	Outros	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Eletrólise
		Fornos	Secadores						
Etileno	Etileno	0,920	0,000	0,004	0,076	1,000	0,000	0,000	0,000
	Polietileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Só dicloreto de etileno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Policloreto de vinila (PVC)	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Óxido de etileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Etilenoglicol	0,177	0,000	0,823	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Tereftato de Polietileno (PET)	0,810	0,190	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras de poliéster	0,810	0,190	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Etilbenzeno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Estireno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Poliestireno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Propileno	Propileno	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Polipropileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras de polipropileno	0,095	0,379	0,526	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Óxido de propileno	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Acrilonitrila	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fibras acrílicas	0,018	0,798	0,184	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Fenol e acetona	0,005	0,000	0,995	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
BTX	BTX	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido tereftálico (TPA)	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ciclohexano	0,000	0,000	1,000	0,000	0,370	0,630	0,000	0,000
	Caprolactama	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido adípico	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nylon-6	0,000	0,050	0,950	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nylon-6,6	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Anidrido maleico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Anidrido ftálico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas fenólicas	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Fertilizantes	Amônia	0,693	0,000	0,101	0,206	0,750	0,250	0,000	0,000
	Uréia	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido nítrico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Nitrato de amônio	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Sulfato de amônio	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido sulfúrico	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido fosfórico para fertilizantes	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Ácido fosfórico para outros usos	1,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,990	0,000
	Fosfato de amônio	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Superfosfatos	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
Cloro	Célula de difragma	0,000	0,000	1,000	0,000	0,015	0,013	0,000	0,972
	Célula de mercúrio	0,000	0,000	1,000	0,000	0,012	0,010	0,000	0,978

	Célula de membrana	0,000	0,000	1,000	0,000	0,013	0,012	0,000	0,975
Outros produtos	Metanol	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Butadieno	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Borrachas de estireno-butadieno	0,109	0,000	0,891	0,000	0,628	0,372	0,000	0,000
	Polibutadieno	0,000	0,864	0,136	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	Buteno-1	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Formaldeído	0,453	0,000	0,547	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas fenólicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas melamínicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Resinas uréicas	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Metacrilatos de metila e de etila	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Butanol-iso e butanol-n	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Isopropanol	0,491	0,000	0,509	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Éter-metil-terc-butílico	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Dióxido de titânio	0,932	0,040	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Óxido de zinco	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	

Fonte: BROWN, HAMEL and HEDMAN (1985);TOLMASQUIM, SZKLO, SOARES (2003); IEA (2007); Visitas técnicas

Tabela A5: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de metais não-ferrosos, em %

Sub-segmento	Produto/Etapa	Energia térmica		Energia elétrica			
		Aquecimento direto - Fornos	Vapor de Processo	Força motriz	Fornos elétricos	Eletrólise	Iluminação
Alumínio	Alumina	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020
	Alumínio Primário - Processo Soderberg	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020
	Alumínio Primário - Anodos Pré-Cozidos	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020
	Produtos Transformados de Alumínio	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020
	Produtos Transformados de Alumínio - Recuperação de Sucata	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020
Cobre	Produção de cobre primário a partir de	0,8170	0,1830	0,3030	0,3050	0,3890	0,0020

	concentrado de cobre						
Zinco	Folhas de zinco	0,8170	0,1830	0,0000	0,0000	0,9980	0,0020

Fonte: ABAL (2004); MME (2008b); TOLMASQUIM, SZKLO (2000); IEA (2007); ALVARADO ET ALLI (2002)

Tabela A6: Coeficientes de distribuição de energia do segmento cerâmico, em %

Sub-segmento	Energia térmica		Energia elétrica		
	Aquecimento direto		Força motriz	Fornos elétricos	Iluminação
	Fornos	Secadores			
Revestimentos cerâmicos	0,6000	0,4000	0,9000	0,0600	0,0400
Cerâmica vermelha	0,7500	0,2500	0,9500	0,0000	0,0500

Fonte: MME (2005); Visitas técnicas

Tabela A7: Coeficientes de distribuição de energia do segmento cimenteiro, em %

Etapa	Produto	Energia térmica		Energia elétrica
		Aquecimento direto - Fornos	Vapor de Processo	Força motriz
Preparação do crú	Crú	0,000	1,000	1,000
Clinquerização	Clínquer	1,000	0,000	1,000
Moagem do cimento	Cimento	0,000	0,000	1,000

Fonte: MME (2005); SOARES (1998)

Tabela A8: Coeficientes de distribuição de energia do segmento extrativo mineral, em %

Etapa	Energia térmica			Energia elétrica		
	Aquecimento direto - Secadores	Vapor de Processo	Outros	Força motriz	Iluminação	Outros
Extração	0,0000	0,0000	1,0000	0,3968	0,5556	0,0476
Beneficiamento	0,5353	0,4647	0,0000	0,9746	0,0144	0,0110

Fonte: MME (2008a); MME (2005); DOE (2007)

Tabela A9: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de ferro-ligas, em %

Etapa	Energia térmica	Energia elétrica			
	Aquecimento direto - Fornos	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Iluminação
Preparação das matérias-primas	1,0000	0,0300	0,0020	0,9650	0,0030
Fusão e redução da carga	1,0000	0,0300	0,0020	0,9650	0,0030
Preparação do produto final	1,0000	0,0300	0,0020	0,9650	0,0030

Fonte: MME (2005); Práticas da CVRD

Tabela A10: Coeficientes de distribuição de energia do segmento têxtil, em %

Sub-segmento	Produto	Energia térmica		Energia elétrica		
		Aquecimento direto - Secadores	Vapor de Processo	Força motriz	Refrigeração	Iluminação
Fiação	Fio	0,000	0,000	0,800	0,150	0,050
Tecelagem	Tecido	0,000	0,000	0,950	0,000	0,050
Malharia	Malha	0,000	0,000	0,950	0,000	0,050
Confecção	Produto Final	0,000	0,000	0,950	0,000	0,050
Beneficiamento	Tecido/Fio tinto	0,064	0,936	0,950	0,000	0,050

Fonte: IEMI (2006); PREGA (2005); EMS-TEXTILE PROJECT (2006)

Tabela A11: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de cal, em %

Produto	Energia térmica	Energia elétrica
	Aquecimento direto - Fornos	Força motriz
Cal	1	1

Fonte: MME (2008d); IEA (2007); ABM (2007, 2008)

Tabela A12: Coeficientes de distribuição de energia do segmento vidreiro, em %

Produto	Energia térmica	Energia elétrica			
	Aquecimento direto - Fornos	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Iluminação
Vidros	1,000	0,860	0,020	0,090	0,030

Fonte: IEA (2007); Visita técnica

Tabela A13: Coeficientes de distribuição de energia do segmento de fundição, em %

Produto	Energia térmica		Energia elétrica
	Aquecimento direto	Vapor de Processo	Força motriz
	Fornos		
Produtos Fundidos	0,8824	0,1176	1,0000

Fonte: IEA (2007); TOLMASQUIM, SZKLO (2000); MME (2008b)

Tabela A14: Potencial de conservação de energia no segmento de alimentos e bebidas, em 2004, em tEP

Cadeia	Energia térmica				Energia elétrica				Total por cadeia
	Aquecimento direto		Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	Refrigeração	Iluminação	Total parcial	
	Fornos	Secadores							
Bebidas (cerveja, cachaça, refrig., sucos, etc.)	11.914	4.143	14.243	30.300	30.310	0	10.581	40.891	71.191
Carnes (abate)	3.049	0	23.110	26.159	21.960	24.352	7.903	54.215	80.374
Carne (Industrialização)	3.926	0	29.758	33.684	3.576	3.965	1.287	8.828	42.512
Soja (esmagamento)	0	4.131	39.934	44.064	18.532	0	4.452	22.985	67.049
Óleo vegetal (refino)	0	5.206	17.869	23.075	2.285	0	549	2.834	25.909
Leite (Pasteurizado e UHT)	0	0	10.348	10.348	8.154	2.168	1.442	11.765	22.113
Leite (Industrialização)	0	437	7.062	7.499	1.478	241	334	2.053	9.552
Trigo (produção de farinha e farelo)	0	15.829	803	16.632	4.982	0	1.205	6.187	22.819
Arroz (branco polido e parboilizado)	0	1.118	3.951	5.069	11.049	0	2.648	13.697	18.767
Milho (moagem úmida; a seco e pequenos moinhos)	0	0	7.509	7.509	1.183	310	211	1.705	9.214
Café (torrado/moido e solúvel)	5.373	3.060	2.314	10.746	282	0	68	349	11.095
Rações e alimentos para animais	8.926	0	6.809	15.734	67.934	0	16.307	84.242	99.976
Pescados	0	0	5.415	5.415	190	50	33	273	5.688
Cacau, Chocolate, balas e doces	394	63	1.695	2.152	764	45	172	981	3.134
Laranja (suco FCOJ)	13.482	0	8.535	22.017	4.925	0	1.182	6.107	28.124
TOTAL	47.064	33.987	179.354	260.406	177.603	31.132	48.377	257.111	517.517

Tabela A15: Potencial de conservação de energia no segmento siderúrgico, em 2007, em tEP

Etapas	Energia térmica			Energia elétrica			Total por etapa
	AD - fornos	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	Fornos elétricos	Total parcial	
Coqueificação	638.101	59.277	697.379	35.763	0	35.763	733.142
Sinterização	287.799	288	288.088	51.553	0	51.553	339.640
Redução (usinas integradas)	1.631.436	36.699	1.668.135	287.967	0	287.967	1.956.102
Redução (produtores independentes)	1.768.664	0	1.768.664	0	0	0	1.768.664
Refino (conversores LD)	452.340	50.260	502.600	113.085	0	113.085	615.685
Refino (fornos elétricos)	24.540	1.319	25.859	0	164.852	164.852	190.712
Laminação a quente	593.139	6.597	599.737	205.996	0	205.996	805.733
Laminação a frio	164.530	59.931	224.461	188.857	0	188.857	413.317
TOTAL	5.560.550	214.371	5.774.921	883.221	164.852	1.048.073	6.822.994

Tabela A16: Potencial de conservação de energia no segmento de celulose e papel, em 2006, em tEP

Sub-segmento	Energia térmica			Energia elétrica				Total por sub-segmento
	AD - Fornos	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	Eletrólise	Iluminação	Total parcial	
Planta Celulose	15.125	287.378	302.504	49.438	3.190	532	53.160	355.663
Planta Integrada	14.255	460.917	475.173	36.572	1.956	587	39.115	514.287
Planta Papel	0	414.073	414.073	61.726	0	1.909	63.635	477.708
Planta Reciclagem	0	81.285	81.285	4.218	0	130	4.349	85.633
TOTAL	29.380	1.243.654	1.273.034	151.954	5.145	3.158	160.258	1.433.292

Tabela A17: Potencial de conservação de energia no segmento químico, em 2006, em tEP

Produto	Energia térmica				Energia elétrica				Total por produto	
	Aquecimento direto		Vapor de processo	Outros	Total parcial	Força motriz	Refri-geração	Eletrólise		Total parcial
	Fornos	Secadores								
Etileno	344.098	0	1.496	28.425	374.019	28.216	0	0	28.216	402.235
Poliétileno	0	0	16.908	0	16.908	54.282	0	0	54.282	71.190
Dicloreto de etileno e cloreto de vinila	7.858	0	0	0	7.858	0	0	0	0	7.858
Só dicloreto de etileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Policloreto de vinila (PVC)	0	0	4.058	0	4.058	0	0	0	0	4.058
Óxido de etileno	0	0	5.128	0	5.128	2.144	0	0	2.144	7.272
Etilenoglicol	787	0	3.660	0	4.447	1.754	0	0	1.754	6.201
Tereftato de Poliétileno (PET)	10.620	2.491	0	0	13.112	1.355	0	0	1.355	14.466
Fibras de poliéster	50	12	0	0	62	0	0	0	0	62
Etilbenzeno	0	0	2.588	0	2.588	0	0	0	0	2.588
Estireno	0	0	64.607	0	64.607	0	0	0	0	64.607
Poliestireno	38.297	0	0	0	38.297	1.119	0	0	1.119	39.416
Propileno	7.154	0	0	0	7.154	0	0	0	0	7.154
Polipropileno	0	0	743	0	743	743	0	0	743	1.485
Fibras de polipropileno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óxido de propileno	0	0	2.524	0	2.524	0	0	0	0	2.524
Acrilonitrila	15.817	0	0	0	15.817	0	0	0	0	15.817
Fibras acrílicas	38	1.694	391	0	2.123	879	0	0	879	3.002
Fenol e acetona	34	0	6.740	0	6.774	3.875	0	0	3.875	10.649
BTX	20.363	0	0	0	20.363	1.837	0	0	1.837	22.200
Ácido tereftálico (TPA)	5.012	0	0	0	5.012	247	0	0	247	5.259
Ciclohexano	0	0	571	0	571	0	0	0	0	571

Caprolactama	9.906	0	0	0	9.906	777	0	0	777	10.683
Ácido adípico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nylon-6	0	125	2.373	0	2.498	0	0	0	0	2.498
Nylon-6,6	0	0	16.099	0	16.099	3.771	0	0	3.771	19.870
Anidrido maleico	1.455	0	0	0	1.455	0	0	0	0	1.455
Anidrido ftálico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resinas fenólicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amônia	155.603	0	22.678	46.254	224.535	25.978	8.659	0	34.637	259.172
Uréia	0	0	28.242	0	28.242	5.677	0	0	5.677	33.919
Ácido nítrico	25.087	0	0	0	25.087	2.106	0	0	2.106	27.193
Nitrato de amônio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato de amônio	0	0	4.753	0	4.753	0	0	0	0	4.753
Ácido sulfúrico	79.358	0	0	0	79.358	0	0	0	0	79.358
Ácido fosfórico para fertilizantes	0	0	63.890	0	63.890	6.765	0	0	6.765	70.655
Ácido fosfórico para outros usos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfato de amônio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Superfosfatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Célula de difragma	0	0	106.810	0	106.810	316	274	20.456	21.045	127.855
Célula de mercúrio	0	0	32.657	0	32.657	89	74	7.235	7.398	40.055
Célula de membrana	0	0	7.105	0	7.105	28	26	2.134	2.189	9.295
Metanol	9.937	0	0	0	9.937	0	0	0	0	9.937
Butadieno	0	0	54.896	0	54.896	0	0	0	0	54.896
Óxido de zinco	9.465	0	0	0	9.465	4.834	0	0	4.834	14.299
TOTAL	740.939	4.322	448.915	74.680	1.268.856	146.791	9.033	29.825	185.649	1.454.505

Tabela A18: Potencial de conservação de energia no segmento de metais não-ferrosos, em 2006, em tEP

Produto/Etapa	Energia térmica			Energia elétrica					Total por produto/etapa
	AD - Fornos	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	Fornos elétricos	Eletrólise	Iluminação	Total parcial	
Alumina	332.901	74.567	407.468	65.507	65.939	84.099	432	215.977	623.445
Alumínio Primário - Processo Soderberg	4.070	912	4.982	29.980	30.178	38.490	198	98.846	103.828
Alumínio Primário - Anodos Pré-Cozidos	2.192	491	2.682	16.142	16.248	20.723	107	53.220	55.902
Produtos Transformados de Alumínio	0	0	0	1.754	1.765	2.251	12	5.781	5.781
Produtos Transformados de Alumínio - Recuperação de Sucata	0	0	0	1.673	1.684	2.148	11	5.516	5.516
Produção de cobre primário a partir de concentrado de cobre	0	0	0	5.430	5.466	6.971	36	17.904	17.904
Folhas de zinco	0	0	0	0	0	1.734	3	1.738	1.738
TOTAL	339.163	75.969	415.132	120.485	121.281	156.417	799	398.982	814.113

Tabela A19: Potencial de conservação de energia no segmento cerâmico, em 2007, em tEP

Sub-segmento	Energia térmica			Energia elétrica			Total por sub-segmento	
	Aquecimento direto		Total parcial	Força motriz	Fornos elétricos	Iluminação		Total parcial
	Fornos	Secadores						
Revestimentos cerâmicos	11.007	7.338	18.346	1.284	86	57	1.427	19.772
Cerâmica vermelha	1.084.500	361.500	1.446.000	25.650	0	1.350	27.000	1.473.000
TOTAL	1.095.507	368.838	1.464.346	26.934	86	1.407	28.427	1.492.772

Tabela A20: Potencial de conservação de energia no segmento cimenteiro, em 2007, em tEP

Etapa	Energia térmica			Energia elétrica	Total por etapa
	AD - Fornos	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	
Preparação do cru	0	67.507	67.507	45.005	112.512
Clinquerização	845.451	0	845.451	38.576	884.026
Moagem do cimento	0	0	0	60.566	60.566
TOTAL	845.451	67.507	912.958	144.146	1.057.104

Tabela A21: Potencial de conservação de energia no segmento extrativo mineral, em 2007, em tEP

Etapa	Energia elétrica			Total por etapa
	Força motriz	Iluminação	Outros	
Beneficiamento	209.821	3.100	2.368	215.289

Tabela A22: Potencial de conservação de energia no segmento de ferro-ligas, em 2007, em tEP

Etapa	Energia elétrica				Total por etapa
	Força motriz	Refrigeração	Fornos elétricos	Iluminação	
Preparação das matérias-primas	263	18	8.465	26	8.773
Fusão e redução da carga	2.105	140	67.724	211	70.180
Preparação do produto final	263	18	8.465	26	8.773
TOTAL	2.632	175	84.655	263	87.725

Tabela A23: Potencial de conservação de energia no segmento têxtil, em 2005, em tEP

Sub-segmento	Energia térmica			Energia elétrica				Total por sub-segmento
	AD - secadores	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	Refrigeração	Iluminação	Total parcial	
Fiação	0	0	0	33.284	6.241	2.080	41.605	41.605
Tecelagem	0	0	0	7.773	0	409	8.182	8.182
Malharia	0	0	0	4.515	0	238	4.753	4.753
Confecção*	0	0	0	18	0	1	19	19
Beneficiamento	8.319	121.671	129.990	7.276	0	383	7.659	137.650
TOTAL	8.319	121.671	129.990	52.867	6.241	3.111	62.218	192.209

*Etapa cujos valores estão em tEP/peça

Tabela A24: Potencial de conservação de energia no segmento de cal, em 2007, em tEP

Produto	Energia térmica	Energia elétrica	Total por produto
	AD - Fornos	Força motriz	
Cal	172.191	50.105	222.296

Tabela A25: Potencial de conservação de energia no segmento vidreiro, em 2007, em tEP

Produto	Energia térmica
	AD - Fornos
Vidros	222.831

Tabela A26: Potencial de conservação de energia no segmento de fundição, em 2007, em tEP

Produto	Energia térmica			Energia elétrica	Total por produto
	AD - Fornos	Vapor de processo	Total parcial	Força motriz	
Produtos Fundidos	50.586	6.742	57.327	65.881	123.208