

Indústria brasileira de celulose e papel e a de outros países: uma avaliação entre os níveis de emissões e índices de eficiência energética

Brazilian and other countries' pulp and paper industry: an assessment between emission levels and energy efficiency indexes

Autores/Authors*: Mauro D. Berni¹
Sérgio V. Bajay²
Gilberto De Martino Jannuzzi³
Rodolfo Gomes⁴

Palavras-chave: Consumo de energia, eficiência energética, emissões de CO₂

Keywords: *Energy efficiency, energy consumption, CO₂ emissions*

RESUMO

Os energéticos utilizados no setor industrial têm cinco usos finais principais: calor de processo, aquecimento direto, força motriz, iluminação e energia eletroquímica. Nesses usos finais pode-se obter melhorias na eficiência energética com reflexos no abatimento das emissões de gases precursores de efeito estufa. O nível de eficiência e o tipo de combustível utilizado no processo produtivo, juntamente com os equipamentos de controle das emissões, são responsáveis pelos índices de emissões desses gases. O objetivo deste trabalho é apurar os níveis de eficiência energética no processo produtivo, os tipos de combustíveis utilizados e os níveis de emissões da indústria de celulose e papel brasileira, para, em seguida, comparar com os índices desta indústria em outros países. O trabalho mostra que mesmo sendo uma indústria energia-intensiva e apresentando emissão de gases precursores de efeito estufa, o desempenho das plantas instaladas no Brasil é satisfatório e, em alguns casos, muito

ABSTRACT

The energy sources used in the industrial sector have five main end uses: process heat, direct heating, driving power, lighting, and electrochemical energy. In these end uses, improvements in energy efficiency can be obtained, which reflect on the reduction in GHG (greenhouse gas) emissions. The level of efficiency and the type of fuel used in the productive process, along with the emission control equipment, are responsible for the indexes of emission of these gases. The purpose of this work is to determine the energy efficiency levels in the productive process, the types of fuel used, and the emission levels of the Brazilian pulp and paper industry, and then to compare them to the indexes of this industry in other countries. This work shows that even being an energy-intensive industry and presenting GHG emissions, performance of the plants installed in Brazil is satisfactory and in some cases even very good in comparison to the

*Referências dos Autores / Authors' references:

- 1 - Pesquisador Associado NIPE – UNICAMP – Rua Sigheo Mori, 2013 – Cidade Universitária - 13083-770, Campinas (SP) / *Associated Researcher of NIPE – UNICAMP – Rua Sigheo Mori, 2013 – Cidade Universitária – 13083-770, Campinas (SP)*
E-mail: mauro_berni@yahoo.com.br
- 2 - Prof. Dr. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia – UNICAMP / *Prof. Dr., Faculty of Mechanical Engineering – Energy Dept. – UNICAMP*
E-mail: bajay@fem.unicamp.br
- 3 - Prof. Dr. Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia – UNICAMP / *Prof. Dr., Faculty of Mechanical Engineering – Energy Dept. – UNICAMP*
E-mail: jannuzzi@fem.unicamp.br
- 4 - Pesquisador Sênior IEI - International Energy Initiative / *Senior Researcher IEI - International Energy Initiative*
E-mail: rodolfo@iei-la.org

bom vis-à-vis os congêneres para os quais se obteve dados junto à Agência Internacional de Energia – AIE, para efeito de comparação.

INTRODUÇÃO

O setor industrial energo-intensivo de celulose e papel é responsável por mais de 10% do consumo energético industrial no Brasil. Em 2006 o setor consumiu 335 PJ (Peta joules) de um total demandado pelo setor industrial da ordem de 3213 PJ.

No tocante aos energéticos consumidos no setor de celulose e papel (Figura 1), a lixívia é utilizada para a co-geração de eletricidade. Produzida e utilizada somente em plantas integradas e produtoras de celulose, o seu poder calorífico é relativamente baixo, de modo que grandes volumes de lixívia geram uma quantidade de energia relativamente baixa. O crescimento do consumo de lixívia acompanha o ritmo de produção de celulose e pastas, de modo que alterações no perfil desta produção induzem alterações no consumo de lixívia.

O gás natural, de uso recente e ainda relativamente pequeno no segmento de papel e celulose, começa a mostrar sua importância através de uma participação cada vez maior no conjunto de combustíveis empregados no setor. Pode-se afirmar que seu consumo específico tem crescido anualmente. Todavia, essa tendência depende do seu preço futuro e garantia de suprimento e regulação.

A lenha está fortemente inserida no segmento de papel e celulose, tanto como matéria-prima como combustível. O consumo de lenha tem crescido menos que o aumento da produção de celulose e papel.

congeneric ones, the respective data having been obtained from the International Energy Agency (IEA), for comparison purposes.

INTRODUCTION

The industrial energy-intensive pulp and paper sector is responsible for over 10% of the industrial energy consumption in Brazil. In 2006 this sector has consumed 335 PJ (Peta joules) from a total consumption of 3213 PJ, required by the industrial sector as a whole.

As far as the energy sources consumed in the pulp and paper sector are concerned (Figure 1), black liquor is used for electricity cogeneration. Produced and used only in integrated and pulp producing plants, its calorific power is relatively low, so that large volumes of black liquor generate a relatively small amount of energy. The growth of black liquor consumption follows the rhythm of cellulose and high-yield pulps production, so that alterations in the profile of this production induce alterations in black liquor consumption.

Natural gas, the use of which is recent and still relatively low in the pulp and paper segment, begins to show its importance through a higher and higher share in the total volume of fuels utilized in the sector. It can be affirmed that its specific consumption has grown every year. However, this tendency depends on its future price and guarantee of supply and regulation.

Firewood is strongly inserted in the pulp and paper segment, as both raw material and fuel. The firewood consumption has grown less than the increase in pulp and paper production.

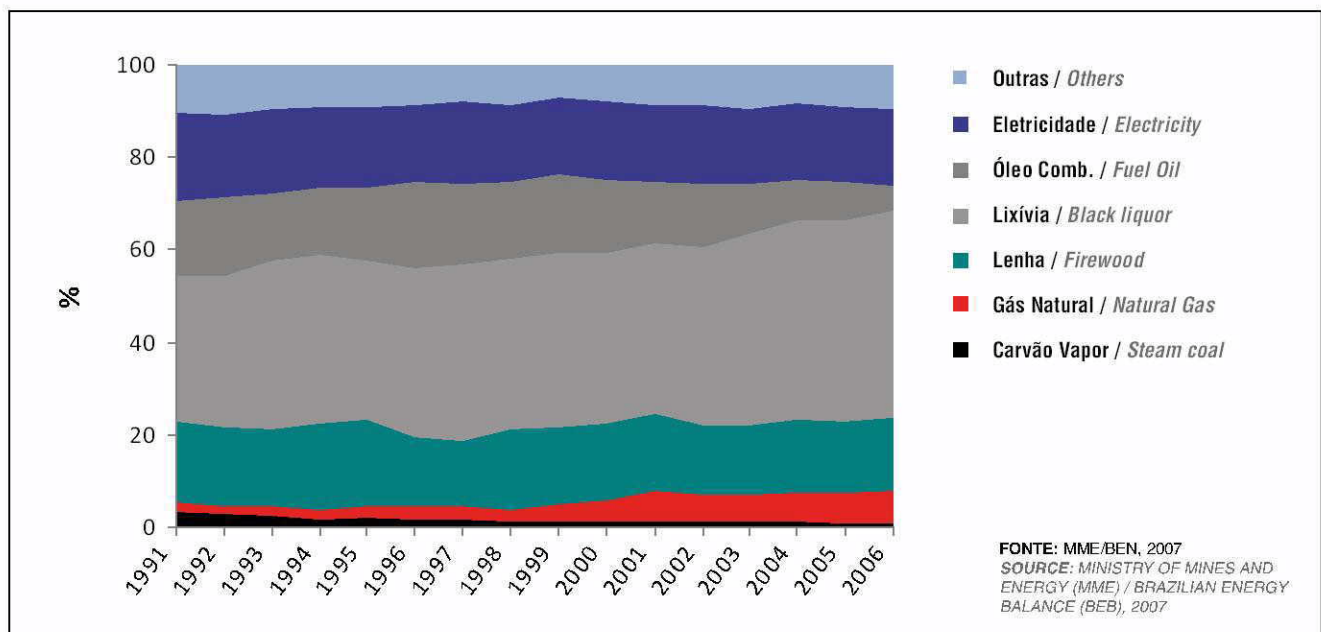


Figura 1. Evolução das participações dos principais energéticos e da eletricidade no setor industrial de celulose e papel
Figure 1. Evolution of the shares of the main energy sources and electricity in the industrial pulp and paper sector

O óleo combustível, largamente utilizado principalmente em plantas integradas e de celulose, está progressivamente perdendo espaço como energético em razão de ser um combustível bastante poluente, apesar de relativamente barato. Ele tem sido gradativamente deslocado pelo gás natural, sobretudo por razões ambientais.

Os níveis de emissões de gases precursores de efeito estufa, oriundos do consumo de energia no setor de papel e celulose, podem ser considerados satisfatórios comparativamente com o desempenho de plantas internacionais. Descreve-se sucintamente a seguir o perfil e o nível do consumo energético, total e específico, e o grau de utilização da auto-produção de eletricidade de uma forma geral, e da co-geração de energia elétrica e térmica em especial.

Finalmente, estimam-se as emissões de gases precursores de efeito estufa no setor de papel e celulose. Compara-se por fim, através de consumos e emissões específicos ou através de índices adequados, o desempenho energético e ambiental da indústria brasileira de celulose e papel em relação a congêneres em outros países.

O SETOR INDUSTRIAL DE CELULOSE E PAPEL

Consumo de energia

Conforme indicado na Tabela 1, os principais combustíveis consumidos na indústria de papel e celulose brasileira são a lixívia (ou licor negro), lenha, gás natural e óleo combustível, nesta ordem (MME/BEN, 2007). Desde 1984, quando terminou com grande sucesso o acordo da Associação Brasileira de Celulose e Papel – Bracelpa - com o governo federal visando a substituição de óleo combustível por lenha, o combustível cuja parcela de mercado tem crescido mais é a lixívia. O gás natural foi introduzido nesta indústria em 1987 e sua parcela de mercado tem crescido desde então à custa da parcela de mercado do óleo combustível. De se observar que o consumo de gás natural ultrapassou o de óleo combustível em 2006. Desde a década de 70, o óleo combustível comparativamente ao gás natural continua sendo a fonte de energia mais demandada pela indústria de celulose e papel.

Comparações internacionais da intensidade energética

A fim de se comparar entre países a intensidade energética de suas indústrias de papel e celulose adotou-se, aqui, a metodologia proposta pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). Esta metodologia, que requer o cálculo de um índice de eficiência energética, é descrita a seguir:

1. O consumo energético final da indústria brasileira de papel e celulose foi obtido do Balanço Energético Nacional, publicado pelo Ministério de Minas e Energia. Estatísticas da Agência Internacional de Energia (AIE) foram usadas para os outros países.

The fuel oil, largely used especially in integrated mills and pulp plants, is gradually losing room as energy source due to the fact that it is a rather polluting fuel, although it is relatively cheap. It has been gradually displaced by natural gas, above all for environmental reasons.

The levels of greenhouse gas emissions resulting from energy consumption in the pulp and paper sector can be considered to be satisfactory in comparison to the performance of international plants. The profile and the level of both total and specific energy consumption, as well as the degree of utilization of electricity self-production in general terms, and of electric and thermal power cogeneration in particular, are briefly described in the following.

Finally, the greenhouse gas emissions are estimated in the pulp and paper sector. At last, the energetic and environmental performance of the Brazilian pulp and paper industry is compared, by means of specific consumption and emission figures, or else through suitable indexes, to congeneric ones in other countries.

THE INDUSTRIAL PULP AND PAPER SECTOR

Energy consumption

As shown in Table 1, the main fuels consumed by the Brazilian pulp and paper industry are black liquor, firewood, natural gas, and fuel oil, in this very order (MME/BEB, 2007). Since 1984, when the agreement of the Brazilian Pulp and Paper Association – Bracelpa – with the Brazilian federal government aiming to replace fuel oil with firewood has expired after a very great success, the fuel the market share of which has grown most is black liquor. Natural gas was introduced into this industry in 1987 and its market share has grown since then at the expense of the fuel oil market share. It should be observed that the natural gas consumption surpassed that of fuel oil in 2006. Since the '70s, fuel oil, in comparison to natural gas, continues to be the energy source which is most demanded by the pulp and paper industry.

International comparisons on energetic intensities

In order to compare the energetic intensity of the pulp and paper industry of several countries, the methodology proposed by the International Energy Agency (IEA, 2007) was adopted in the present work. This methodology, which requires an energy efficiency index to be calculated, is described in the following:

1. *The final energy consumption of the Brazilian pulp and paper industry was obtained from the National Energetic Balance, published by the Ministry of Mines and*

2. Adotaram-se valores de consumo energético específico definidos pela AIE para a melhor tecnologia disponível (MTD) para polpação mecânica, polpação química, polpação com papel reciclado, para os casos requerendo destintamento prévio ou não, e fabricação de 7 diferentes tipos de papel.
3. Valores de consumo energético prático mínimo são obtidos multiplicando-se os volumes de produção pelos consumos energéticos específicos correspondentes da melhor tecnologia disponível.
4. Obtém-se o índice de eficiência energética dividindo-se o consumo energético prático mínimo pelo consumo energético real (energia final).
5. Potencial de melhoria = Um – Índice de eficiência energética.

A AIE assumiu diferentes hipóteses sobre o consumo energético prático mínimo de calor (principalmente na for-

Energy. Statistics of the International Energy Agency (IEA) were used for the other countries.

2. *Specific energy consumption values defined by IEA for the best available technology (MTD-melhor tecnologia disponível) were adopted for mechanical pulping, chemical pulping, recycled paper pulping, for the cases requiring previous deinking or not, and manufacturing of 7 different paper grades.*
3. *Minimum practical energy consumption values are obtained by multiplying the production volumes by the corresponding specific energy consumptions of the best available technology.*
4. *The energy efficiency index is obtained by dividing the minimum practical energy consumption by the real energy consumption (final energy).*
5. *Improvement potential = One – energy efficiency index.*

Tabela 1. Consumo de eletricidade e de combustíveis na indústria de papel e celulose brasileira no período 1995-2005

Table 1. Electricity and fuel consumption by the Brazilian pulp and paper industry in the period from 1995 to 2005

Ano Year	Eletricidade Electricity		Combustíveis Fuels					Total (Energia) PJ Total (Energy) PJ	
	TWh	PJ	Lixívia (PJ) Black liquor (PJ)	Lenha (PJ) Firewood (PJ)	Óleo combustível (PJ) Fuel oil (PJ)	Gás natural (PJ) Natural gas (PJ)	Outros combustíveis (PJ) Other fuels (PJ)		Total (PJ)
1995	9.7	35	70	38	32	5	23	168	203
1996	10.0	36	78	31	40	6	22	177	213
1997	10.6	38	81	30	38	6	21	176	214
1998	10.8	39	87	41	39	6	23	196	235
1999	11.7	42	94	42	43	9	21	209	251
2000	12.2	44	96	44	41	11	24	216	260
2001	11.7	42	95	43	34	16	27	215	257
2002	13.1	47	107	41	37	17	28	230	277
2003	13.6	49	125	44	32	18	32	251	300
2004	14.1	51	132	48	27	19	30	256	307
2005	14.8	53	140	49	27	22	31	269	322
2006	15,4	55	151	52	18	23	35	280	335

FONTE: MME/BEN (2006 E 2007) / SOURCE: MINISTRY OF MINES AND ENERGY (MME) / BRAZILIAN ENERGY BALANCE (BEB), 2006 AND 2007

ma de vapor) e de eletricidade para as polpações mecânica, química e utilizando papéis reciclados e para a manufatura de 7 diferentes tipos de papéis.

O calor e a eletricidade são tratados separadamente para permitir análises envolvendo a co-geração. Os valores de consumo de calor em cada país são estimados com base no consumo declarado de combustíveis na indústria, assumindo-se uma eficiência de conversão de 80%. A Tabela 2 mostra os consumos energéticos específicos, para calor e eletricidade, adotados pela AIE, referentes à melhor tecnologia disponível (MTD).

Apesar do fato da eficiência energética das fábricas integradas de papel e celulose ser de 10% a 50% maior (dependendo do tipo de papel produzido) do que as eficiências de plantas só de celulose (celulose de mercado) e só de papel, por conta de limitações dos dados disponíveis a metodologia da AIE não diferencia fábricas integradas das não-integradas.

O índice de eficiência energética (IEE) de um país seria 1 se a energia utilizada para produzir suas “commodities” fosse a mesma requerida pela MTD. Valores bem abaixo de 1 indicam que o consumo de energia é superior ao da MTD e que existe uma oportunidade para uma maior eficiência energética se a MTD for adotada.

A Tabela 3 mostra os valores do índice de eficiência energética para calor (IEE-C), eletricidade (IEE-EL) e energia

IEA assumed different hypotheses about the minimum practical energy consumption of heat (mainly in the form of steam) and electricity for mechanical, chemical, and recycled paper pulping, as well as for manufacturing 7 different paper grades.

Heat and electricity are separately treated in order to allow conducting analyses involving cogeneration. The heat consumption values in each country are estimated based on the declared fuel consumption in the industry, assuming 80% conversion efficiency. Table 2 shows the specific energy consumptions for heat and electricity adopted by IEA, corresponding to the best technology available (MTD).

Although the energy efficiency of the integrated pulp and paper plants is 10% to 50% higher (depending on the paper grade produced) than the efficiencies of exclusive pulp plants (market pulp) and exclusive paper plants, due to limitations of data available the methodology of IEA does not differentiate integrated from non-integrated plants.

The energy efficiency index (IEE) of a country would be 1 if the energy used to produce its commodities were the same required by MTD. Values well below 1 indicate that the energy consumption is higher than that of MTD and that there exists an opportunity for a higher energy efficiency in case MTD is adopted.

Tabela 2. Melhores tecnologias disponíveis, definidas pela AIE, para as empresas de celulose e papel

Table 2. Best technologies available for the pulp and paper companies, as defined by AIE

MTD* para / MTD for	Calor (GJ/t) Heat (GJ/t)	Eletricidade (GJ eletricidade/t) Electricity (GJ electricity/t)
Polpação mecânica / Mechanical pulping		7.5
Polpação química / Chemical pulping	12.25	2.08
Polpação com papéis reciclados e requerendo destintamento prévio <i>Pulping of recycled papers requiring previous deinking</i>	0.50	2.00
Polpação com papéis reciclados e não requerendo destintamento prévio <i>Pulping of recycled papers not requiring previous deinking</i>	0.36	1.62
Papel couché / Coated paper	5.25	2.34
Papel cartão / Board	5.13	2.88
Papéis para fins sanitários / Tissue papers	5.13	3.60
Papel de imprensa / Newsprint	3.78	2.16
Papéis de escrever e de imprimir / Writing and printing papers	5.25	1.80
Papéis para embalagens / Packaging papers	4.32	1.80
Outros tipos de papéis / Other paper grades	4.875	2.88

*MTD: MELHOR TECNOLOGIA DISPONÍVEL / MTD: BEST AVAILABLE TECHNOLOGY

FONTE: IEA (2007) / SOURCE: IEA (2007)

(IEE-E) calculados para o Brasil para o período de 1995 a 2006. As estatísticas de consumo final real de eletricidade (CEL) foram tiradas da Tabela 1, enquanto que as estimativas de consumo real de calor (CC) foram obtidas multiplicando-se os dados de consumo final de combustíveis, na Tabela 1, pelo rendimento assumido de 0,8. Multiplicando-se os volumes de produção de celulose (obtida por processos químicos e semi-químicos), pastas de alto rendimento (PAR - obtidas por processos mecânicos), polpa oriunda de papéis reciclados e os vários tipos de papel, como publicado pela Bracelpa, pelos valores correspondentes de consumo energético específico da MTD (Tabela 2), obtém-se os valores de consumo energético específico da melhor tecnologia disponível, para calor (MTD-C) e para eletricidade (MTD-EL), na Tabela 3.

A Tabela 3 mostra, para a indústria de celulose e papel brasileira, que:

(i) a eficiência no uso da eletricidade é muito maior que a eficiência no uso do calor; e

(ii) ambas as eficiências subiram e caíram sem tendências bem definidas de 1995 a 2002 e melhoraram nos anos seguintes.

A menor preocupação com o consumo específico de calor pode ser explicada pelo elevado uso de resíduos (lixívia e biomassa) e relativamente pequeno uso de combustíveis fósseis (gás natural e óleo combustível) na geração de vapor e pelos preços não muito elevados da eletricidade no País; este último fato não tem atraído a venda para a rede pública de excedentes de eletricidade gerados nas unidades de cogeração. O forte aumento dos preços da energia elétrica nos últimos anos para os grandes consumidores industriais, cujas

Table 3 shows the energy efficiency index values for heat (IEE-C), electricity (IEE-EL), and energy (IEE-E), calculated for Brazil for the period from 1995 to 2006. The statistics of final real electricity consumption (CEL) were taken from Table 1, while the real heat consumption estimations (CC) were obtained by multiplying the final fuel consumption data (see Table 1) by the assumed yield of 0.8. By multiplying the production volumes of pulp (obtained by chemical and semichemical processes), high-yield pulps (PAR) (obtained by mechanical processes), pulp originating from recycled papers and the various paper grades, as published by Bracelpa, by the corresponding specific energy consumption values of MTD (Table 2), the specific energy consumption values of the best technology available are obtained for heat (MTD-C) and electricity (MTD-EL), as shown in Table 3.

Table 3 shows for the Brazilian pulp and paper industry that:

(i) the efficiency in using electricity is much higher than the efficiency in using heat; and

(ii) both efficiencies raised and dropped without well-defined tendencies from 1995 to 2002 and improved in the subsequent years.

The less intense concern about the specific heat consumption can be explained by the high use of residues (black liquor and biomass) and the relatively low use of fossil fuels (natural gas and fuel oil) in steam generation, as well as by the not very high electricity prices in our country; the latter fact has not attracted the sale of surplus electricity generated in the cogeneration units to the

Tabela 3. Índices de eficiência energética da AIE para calor, eletricidade e energia no Brasil durante o período 1995-2005

Table 3. Energy efficiency indexes of IEA for heat, electricity and energy in Brazil during the period 1995-2005

Ano / Year	Calor / Heat			Eletricidade / Electricity			Total		
	MTD-C (PJ)	CC (PJ)	IEE-C	MTD-EL (PJ)	CEL (PJ)	IEE-EL	MTD-E (PJ)	CE (PJ)	IEE-E
1995	95	134	0.71	30	35	0.86	125	169	0.74
1996	100	142	0.70	32	36	0.89	132	178	0.74
1997	104	141	0.74	33	38	0.87	137	179	0.77
1998	108	157	0.69	34	39	0.87	142	196	0.72
1999	117	167	0.70	36	42	0.86	153	209	0.73
2000	120	173	0.69	38	44	0.86	158	217	0.73
2001	121	172	0.70	38	42	0.90	159	214	0.74
2002	130	184	0.71	41	47	0.87	171	231	0.74
2003	144	201	0.72	43	49	0.88	187	250	0.75
2004	153	205	0.75	46	51	0.90	199	256	0.78
2005	163	215	0.76	48	53	0.91	211	269	0.79
2006	172	224	0.77	49	55	0.92	222	280	0.80

tarifas foram subsidiadas durante muito tempo no passado, está começando a mudar este quadro.

O valor 0,77, obtido na Tabela 3, do índice de eficiência energética para o uso de calor na indústria brasileira de papel e celulose em 2006, indica um potencial de melhoria de 23% no uso de calor nessa indústria comparando-se com as melhores tecnologias atualmente disponíveis, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2007). De um modo similar, o valor 0,92, também calculado na Tabela 3, do índice de eficiência energética no consumo de eletricidade em 2006 revela um potencial de melhoria de 8% no consumo de energia elétrica nessa indústria. Comparações entre países, incluindo o Brasil, a respeito de seus índices de eficiência energética para calor (IEE-C) e para energia elétrica (IEE-EL) podem ser feitas com o auxílio das Tabelas 4 e 5. Observe que se dispõe também de índices de eficiência no uso do calor para o Japão e para a Coreia do Sul (IEA, 2007), mas as séries temporais correspondentes possuem diversos valores acima de um devido a problemas de confiabilidade na coleta de dados; por conseguinte, estes países não estão representados na Tabela 4. O relatório da AIE apresenta só dois valores do índice de eficiência no uso do calor para os EUA: 0,74 em 1998 e 0,82 em 2002. Logo, comparando-se os índices dos países representados na Tabela 4 mais os EUA verifica-se que o desempenho do Brasil só é melhor do que o do Canadá.

Conforme mencionado anteriormente, a indústria de celulose e papel brasileira usa eletricidade de uma maneira bem mais eficiente do que consome calor. Isto está ilustrado na Tabela 5, onde o índice IEE-EL é frequentemente superior aos índices correspondentes do Canadá, Coreia do Sul, Espanha, Finlândia, Japão, Noruega, Suécia e Reino Unido. Dos países

public network. The high increase in electric power prices for the great industrial consumers in the last years, whose tariffs have been subsidized for a very long time in the past, is beginning to change this scenario.

The energy efficiency index value of 0.77 for the use of heat in the Brazilian pulp and paper industry in 2006, obtained in Table 3, indicates an improvement potential of 23% in the use of heat in this industry, compared to the best technologies available at present, according to the International Energy Agency (IEA, 2007). In a similar way, the energy efficiency index value of 0.92, regarding electricity consumption in 2006, also calculated in Table 3, shows an improvement potential of 8% in terms of electric power consumption in this industry. Comparisons between countries, including Brazil, regarding their energy efficiency indexes for heat (IEE-C) and electric power (IEE-EL) can be drawn with the aid of Tables 4 and 5. It should be observed that indexes of efficiency in the use of heat are also available for Japan and South Korea (IEA, 2007), but the corresponding time series present several values above one due to reliability problems in data collection; consequently, these countries are not represented in Table 4. The IEA report provides only two values for the index of efficiency in the use of heat for the USA: 0.74 in 1998 and 0.82 in 2002. Therefore, when comparing the indexes of the countries represented in Table 4, plus the USA, it is found out that the performance of Brazil is only better than that of Canada.

As previously mentioned, the Brazilian pulp and paper industry uses electricity much more efficiently than it consumes heat. This is illustrated in Table 5, where IEE-EL index is often higher than the corresponding indexes of Canada, South Korea, Spain, Finland, Japan, Norway, Sweden, and United Kingdom. From the countries listed

Tabela 4. Índices de eficiência energética no uso do calor em diversos países, de 1995 a 2003 / **Table 4.** Indexes of energy efficiency in the use of heat in several countries, from 1995 to 2003

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Brasil / <i>Brazil</i>	0.71	0.70	0.74	0.69	0.70	0.69	0.70	0.71	0.72
Alemanha / <i>Germany</i>	0.90	0.90	0.91	0.99	0.97	0.98	0.99	1.00	1.02
Canadá / <i>Canada</i>	0.68	0.67	0.68	0.67	0.64	0.68	0.71	0.69	0.70
Espanha / <i>Spain</i>	0,86	0,88	0,83	0,81	0,81	0,87	0,93	0,94	0,95
Finlândia / <i>Finland</i>	0,81	0,76	0,80	0,82	0,82	0,83	0,82	0,85	0,88
França / <i>France</i>	0,88	0,85	0,87	0,88	0,91	0,98	0,99	0,97	0,96
Itália / <i>Italy</i>	0,66	0,65	0,74	0,75	0,76	0,80	0,77	0,80	0,78
Noruega / <i>Norway</i>	0,98	0,97	0,98	0,99	0,95	0,98	0,98	0,97	0,96
Suécia / <i>Sweden</i>	0,91	0,89	0,91	0,88	0,90	0,98	0,98	0,99	0,97
Reino Unido / <i>United Kingdom</i>	0,67	0,73	0,80	0,83	0,86	0,83	0,78	0,77	0,76

FONTE: TABELA 3 E IEA (2007) / SOURCE: TABLE 3 AND IEA (2007)

Tabela 5. Índices de eficiência energética no consumo de eletricidade em vários países, de 1995 a 2003 / *Table 5. Indexes of energy efficiency in electricity consumption in several countries, from 1995 to 2003*

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Brasil / <i>Brazil</i>	0,86	0,89	0,87	0,87	0,86	0,86	0,90	0,87	0,88
Alemanha / <i>Germany</i>	0,83	0,84	0,84	0,90	0,90	0,91	0,87	0,93	0,98
Canadá / <i>Canada</i>	0,80	0,78	0,78	0,75	0,76	0,78	0,77	0,78	0,78
Coréia do Sul / <i>South Korea</i>	0,87	0,82	0,84	0,90	0,89	0,89	0,93	0,85	0,87
Espanha / <i>Spain</i>	0,88	0,87	0,85	0,89	0,92	0,89	0,88	0,87	0,85
Finlândia / <i>Finland</i>	0,84	0,80	0,82	0,86	0,87	0,88	0,85	0,84	0,85
França / <i>France</i>	0,98	0,95	0,98	0,99	1,04	0,93	0,92	0,90	0,94
Itália / <i>Italy</i>	0,86	0,84	0,93	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,93
Japão / <i>Japan</i>	0,78	0,77	0,74	0,76	0,77	0,80	0,78	0,86	0,85
Noruega / <i>Norway</i>	0,75	0,72	0,75	0,82	0,77	0,73	0,81	0,78	0,85
Suécia / <i>Sweden</i>	0,83	0,82	0,86	0,85	0,84	0,85	0,83	0,85	0,88
Reino Unido / <i>United Kingdom</i>	0,88	0,88	0,84	0,87	0,84	0,80	0,78	0,76	0,73

FONTE: TABELA 3 E IEA (2007) / SOURCE: TABLE 3 AND IEA (2007)

da Tabela 5, só a Alemanha, França e Itália possuem um desempenho melhor que o brasileiro em relação a esse índice.

Um índice de eficiência energética ajustado para a co-geração pode ser calculado deduzindo-se a quantidade de eletricidade co-gerada do uso total de energia antes de se dividir o consumo energético prático mínimo pelo consumo energético real total ajustado (IEA, 2007). Em 2005, 46,8% da eletricidade consumida nas fábricas de celulose e papel brasileiras foi produzida em unidades de co-geração (Tabela 6); o índice de eficiência energética ajustado para aquele ano é 0,87. Repetindo-se este cálculo para 2004, quando a eletricidade produzida em plantas de co-geração foi 43,9% da energia elétrica total consumida nesta indústria (MME, 2006), o índice de eficiência energética ajustado torna-se 0,85. Estes valores indicam um desempenho energético total melhor do que o do Canadá, cujo índice de eficiência energética ajustado foi 0,78 em 2003, mas pior do que os da Finlândia, França, Alemanha, Itália, Espanha e Reino Unido (IEA, 2007).

Auto-produção de eletricidade

O consumo total de eletricidade na indústria de papel e celulose brasileira aumentou de 9.728 GWh em 1994 para 14.773 GWh em 2005 (MME, 2006) e a auto-produção aumentou a sua participação de 40,2% para 51,3% no mesmo período (Tabela 6).

De acordo com a Tabela 6, o principal tipo de auto-produção nas plantas de celulose e papel brasileiras é constituído por unidades de co-geração que consomem licor negro, seguidas por plantas de co-geração consumindo outros tipos de biomassa (principalmente cascas de árvores), usinas

in Table 5, only Germany, France, and Italy have a better performance with regard to this index than Brazil.

An energy efficiency index adjusted to cogeneration can be calculated by deducting the amount of cogenerated electricity from the total use of energy prior to dividing the minimum practical energy consumption by the adjusted total real energy consumption (IEA, 2007). In 2005, 46.8% of the electricity consumed in the Brazilian pulp and paper mills has been produced in cogeneration units (Table 6); the adjusted energy efficiency index for that year is 0.87. Repeating this calculation for 2004, when the electricity produced in cogeneration plants corresponded to 43.9% of the total electric power consumed in this industry (MME, 2006), the adjusted energy efficiency index becomes 0.85. These values indicate a total energy performance better than that of Canada, the adjusted energy efficiency index of which was 0.78 in 2003, but worse than those of Finland, France, Germany, Italy, Spain, and United Kingdom (IEA, 2007).

Self-production of electricity

The total electricity consumption in the Brazilian pulp and paper industry increased from 9,728 GWh in 1994 to 14,773 GWh in 2005 (MME, 2006) and the self-production share increased from 40.2% to 51.3% in the same period (Table 6).

According to Table 6, the main type of self-production in Brazilian pulp and paper plants consists of cogeneration units consuming black liquor, followed by cogeneration plants consuming other types of biomass (especially

Tabela 6. Consumo e produção de eletricidade nas fábricas de papel e celulose brasileiras em 1994 e 2005 / **Table 6.** Electricity consumption and production in Brazilian pulp and paper mills in 1994 and 2005

Anos / Years	1994	2005	(%)aa*
Consumo total de eletricidade (GWh) / Total electricity consumption (GWh)	9,728	14,773	3.9
Eletricidade adquirida da rede pública (GWh) / Electricity acquired from the public network (GWh)	5,820	7,196	1.9
Auto-produção de eletricidade (GWh) / Self-production of electricity (GWh)	3,908	7,577	6.2
Usinas hidrelétricas / Hydroelectric power plants	435	670	4.0
Plantas de co-geração / Cogeneration plants	3,473	6,907	6.4
Óleo combustível / Fuel oil	263	345	2.5
Gás natural / Natural gas	-	247	-
Carvão / Coal	200	166	-1.7
Licor negro / Black liquor	2,166	4,815	7.5
Lenha / Firewood	603	617	0.2
Bagaço da cana de açúcar / Sugar cane bagasse	-	24	-
Outros combustíveis da biomassa / Other biomass fuels	242	695	10.1
Parcela de auto-produção (%) / Self-production portion (%)	40.2	51.3	2.2

* TAXA MÉDIA ANUAL DE CRESCIMENTO ENTRE 1994 E 2005 / *AVERAGE ANNUAL GROWTH RATE BETWEEN 1994 AND 2005

FONTE: (MME/BEN, 2006) / SOURCE: (MME/BEN, 2006)

hidrelétricas (em geral de pequeno porte) e unidades de co-geração alimentadas por lenha.

Atualmente, a produção de eletricidade a partir da biomassa nas plantas de papel e celulose brasileiras é baseada em ciclos a vapor, em regime de paridade térmica, utilizando em geral turbinas de contra-pressão e com menos frequência turbinas de extração-condensação.

Em 2006, as fábricas não-integradas de celulose atenderam 83% de seu consumo de eletricidade através de auto-produção (Bracelpa, 2006 e 2007). Havia 1.138,8 MW de capacidade instalada de auto-produtores nas plantas de papel e celulose brasileiras em 31/12/2005, dos quais 1.028,1 MW eram unidades de co-geração e 110 MW eram usinas hidrelétricas (MME, 2006).

Emissões de CO₂

As plantas de papel e celulose são importantes fontes de emissão de resíduos poluentes sólidos, líquidos e gasosos.

Estima-se que as emissões totais de CO₂ pela indústria brasileira de papel e celulose tenham sido de 4,2 x 10⁶ tCO₂ em 2005. Aproximadamente 48% destas emissões tiveram origem no consumo de óleo combustível, 29% no consumo de gás natural, 11% na eletricidade adquirida da rede pública e 12% no consumo de outras fontes de energia (carvão, GLP e óleo diesel). As emissões específicas naquele ano foram de 0,3 tCO₂/t de papel e celulose.

As emissões específicas de CO₂ produzidas pela indús-

wood bark), hydroelectric power plants (in general small-sized ones), and firewood fed cogeneration units.

At present, electricity production from biomass in Brazilian pulp and paper plants is based on steam cycles in thermal parity regime, using in general backpressure turbines and less often extraction-condensation turbines.

In 2006 the non-integrated pulp mills have met 83% of their electricity consumption by means of self-production (Bracelpa, 2006 and 2007). There were 1,138.8 MW of installed capacity from self-producers in Brazilian pulp and paper plants on 12/31/2005, 1,028.1 MW of which corresponding to cogeneration units and 110 MW to hydroelectric power plants (MME, 2006).

CO₂ emissions

Pulp and paper plants are important emission sources of solid, liquid, and gaseous polluting residues.

It is estimated that total CO₂ emissions by the Brazilian pulp and paper industry have been 4.2 x 10⁶ tCO₂ in 2005. Approximately 48% of these emissions resulted from fuel oil and 29% from natural gas consumption, 11% from electricity acquired from the public network, and 12% from consumption of other energy sources (coal, LPG, and diesel oil). The specific emissions in that year amounted to 0.3 tCO₂/t of pulp and paper.

The specific CO₂ emissions produced by the pulp and

Tabela 7. Emissões específicas de CO₂ na indústria de papel e celulose de diversos países, em tCO₂/t de papel e celulose, em 2005 (Brasil) e 2003 (demais países) / **Table 7.** Specific CO₂ emissions of the pulp and paper industry of several countries, in tCO₂/t of pulp and paper, in 2005 (Brazil) and 2003 (remaining countries)

País / Country:	tCO ₂ /t de papel e celulose / tCO ₂ /t of pulp and paper
Suécia / Sweden	0.060
Noruega / Norway	0.100
Finlândia / Finland	0.125
Canadá / Canada	0.170
Alemanha / Germany	0.215
Coreia do Sul / South Korea	0.225
França / France	0.248
Itália / Italy	0.290
Brasil / Brazil	0.300
Reino Unido / United Kingdom	0.300
Espanha / Spain	0.340
EUA / USA	0.340

FONTE: IEA (2007) E ESTE TRABALHO PARA O BRASIL NO ANO DE 2005 / SOURCE: IEA (2007) AND THIS WORK FOR BRAZIL IN 2005

tria de papel e celulose de vários países estão indicadas na Tabela 7. Pode-se notar que as emissões da indústria brasileira são maiores que as emissões da maioria dos países representados na Tabela 7, com a exceção do Reino Unido, Espanha e EUA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria brasileira de papel e celulose tem um bom indicador de eficiência energética no consumo de eletricidade. O mesmo já não acontece em relação ao seu consumo de energia térmica, que possui um potencial de melhoria de 23% em relação às melhores tecnologias atualmente disponíveis, selecionadas pela Agência Internacional de Energia, e, conseqüentemente, com suas emissões de CO₂.

De uma forma geral o trabalho demonstra que, mesmo sendo uma indústria energo-intensiva e apresentando emissão de gases precursores de efeito estufa, o desempenho das plantas instaladas no Brasil é satisfatório e em alguns casos muito bom, vis-à-vis os congêneres para os quais se obteve dados junto à Agência Internacional de Energia. ▲

paper industry of several countries are indicated in Table 7. It can be observed that the Brazilian industry emissions are higher than those of most countries represented in Table 7, except for the United Kingdom, Spain, and USA.

FINAL CONSIDERATIONS

The Brazilian pulp and paper industry has a good energy efficiency indicator in terms of electricity consumption, whereas the same does not apply to its thermal energy consumption, which presents 23% improvement potential with regard to the best technologies available at present, selected by the International Energy Agency, and consequently, to its CO₂ emissions.

In general, the present work demonstrates that even being an energy-intensive industry and presenting greenhouse gas emission, performance of the plants installed in Brazil is satisfactory and in some cases even very good in comparison to the congenerous ones, the respective data having been obtained from the International Energy Agency. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. Bracelpa, *Relatório Anual 2005/2006*, Associação Brasileira de Fabricantes de Papel e Celulose, São Paulo, SP, 2006.
2. Bracelpa, *Estatísticas Preliminares*, Associação Brasileira de Fabricantes de Papel e Celulose, São Paulo, SP 2007.
3. IEA, *International Energy Agency, Indicators for Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions – A Technology Perspectives* (Draft 9/2/2007), Paris, 2007.
4. MME, *Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006*, Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2007, 192 p.
5. MME, *Balanço Energético Nacional 2006 – Sumário Executivo*, Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2006. www.bracelpa.org.br, consultado em novembro de 2007.