

Gestão energética na indústria de papel e celulose no Brasil: perspectivas e potenciais de conservação de energia

Marcelo Carlos Barbeli (UNIFIAN-AESA-FUNADESP) marcelo.barbeli@unianhanguera.edu.br

Resumo

Este artigo aponta as perspectivas e potenciais de conservação de energia na indústria brasileira de papel e celulose. Visto como uma ferramenta de gestão energética, o levantamento do potencial de conservação de energia indica os pontos críticos e permite avaliar as possibilidades de redução do consumo específico de energia de uma unidade industrial.

Normalmente em setores industriais energointensivos, como o de papel e celulose, as questões relativas à energia e meio ambiente estão intimamente relacionadas.

Nos últimos anos os empresários que comandam a indústria de papel e celulose brasileira têm demonstrado um relativo desinteresse por programas de conservação de energia. Ressalte-se, no entanto, a exceção que ocorreu durante o período de racionamento de energia elétrica, de abril de 2001 a março de 2002. Os investimentos na área ambiental, por outro lado, tem sido significativos, com rebatimentos positivos no consumo específico de energia.

Palavras-chave: Energia; Meio Ambiente; Indústria.

Economias de energia possíveis na fabricação de papel e celulose

A atividade industrial de produção de papel e celulose é bastante ampla e complexa, envolvendo vários processos, insumos, matérias primas e o uso de energia térmica e elétrica. Os produtos dessa atividade industrial também são diversos, o que leva à suposição de que cada planta industrial, por mais semelhantes que sejam os processos e os insumos utilizados, possui uma eficiência energética distinta. Desta forma, quando se fala em conservação de energia, cada fábrica apresenta um potencial diferente, devido às suas especificidades. Entretanto, ainda assim é possível se discutir o potencial de conservação de energia em termos genéricos para o setor, minimizando tais especificidades, mas sempre estabelecendo um paralelo com o tipo de unidade produtiva.

A partir desta ótica, um programa de conservação de energia em uma dada instalação industrial nada mais é do que uma forma organizada de atuação nos seus diferentes níveis produtivos, com o objetivo de redução de seu consumo específico de energia. Essa abordagem leva a três tipos de conduta para a realização de atividades de conservação e uso racional de energia:

- (a) ações imediatas, envolvendo somente recursos internos das empresas;
- (b) intervenções que requerem elevados investimentos e cuja implantação dependerá de cuidadosos estudos de viabilidade;
- (c) aplicações que requerem o uso de novas tecnologias ou desenvolvimentos tecnológicos, o que implicará em prazos mais longos para a sua implementação.

Toda a cadeia produtiva de uma planta de papel e celulose apresenta, em maior ou menor grau, potenciais de conservação de energia. Uma parte substancial das plantas do setor, seja por defasagens técnicas ou por utilizarem equipamentos com uma elevada vida econômica, operam com um desperdício considerável de energia.

Em uma planta integrada moderna, as principais etapas do processo de produção de celulose e papel podem ser resumidas da seguinte forma:

- 1 - preparação da matéria prima;
- 2 – polpação;
- 3 – deslignificação com oxigênio;
- 4 – branqueamento da pasta de celulose;
- 5 – secagem da pasta;
- 6 - concentração do licor negro;
- 7 – queima do licor negro concentrado na caldeira de recuperação;
- 8 – calcinação;
- 9 – recuperação de reagentes químicos;
- 10 – produção de papel;
- 11 – secagem e acabamento do papel;
- 12 – sistemas complementares de geração e distribuição de vapor.

Antes de se discutir os potenciais de conservação de energia, no entanto, é necessário se conhecer a demanda de energia nas várias etapas de produção. As tabelas 1 e 2 mostram as demandas médias de vapor e de energia elétrica nas várias etapas do processo de produção de celulose e de papel em uma fábrica integrada moderna.

As etapas de polpação, concentração do licor negro, branqueamento, recuperação de reagentes químicos e secagem da pasta de celulose e do papel são as que mais utilizam vapor, enquanto que as etapas de deslignificação, branqueamento e secagem da pasta e fabricação do papel consomem mais energia elétrica. Apesar da importância de todas as outras, é nestas etapas que a atenção às possibilidades de conservação de energia deve ser maior.

Etapa	Consumo de vapor (GJ/t)
Preparação da matéria prima/polpação	2,17
Deslignificação (com oxigênio)	0,91
Branqueamento	1,62
Secagem da pasta de celulose	2,69
Preparo químico	0,35
Calcinação/forno de cal	0,35
Concentração do licor negro	4,00
Recuperação de reagentes químicos	2,50
Fabricação do papel	(vide tabela 3)
Secagem/acabamento do papel	3,20

Fonte: McIlroy e Wiczinsky, 1999

Tabela 1 – Demanda média de vapor das principais etapas do processo produtivo em uma fábrica integrada moderna, em GJ/t de celulose ou papel

Etapa	Consumo de energia elétrica (kWh/t)
Preparação da matéria prima/polpação	45
Deslignificação (com oxigênio)	75
Branqueamento	120
Secagem da pasta de celulose	143
Calcinação/forno de cal	23
Concentração do licor negro	98
Recuperação de reagentes químicos	124
Tratamento de água e de efluentes	56
Fabricação do papel	(vide tabela 3)
Secagem/acabamento do papel	55 (média)

Fonte: McIlroy e Wiczinsky, 1999

Tabela 2 – Demanda média de energia elétrica das principais etapas do processo produtivo em uma fábrica integrada moderna, em kWh/t

1.1. Preparo da matéria prima

A etapa de preparo da matéria prima inclui a retirada da casca das toras de madeira, a transformação das toras em cavacos e transporte destes para o digestor, onde se processa a polpação. Estas três atividades consomem, respectivamente, cerca de 10, 15 e 20 kWh/t de madeira seca, respectivamente perfazendo um consumo total de aproximadamente 45 kWh/t nesta etapa do processo (McIlroy e Wilczinsky, 1999). Este consumo é influenciado por alguns fatores, dentre os quais se pode destacar a configuração dos equipamentos, técnica de processamento escolhido, sistema operacional, sistema de transporte dos cavacos e tipo de matéria prima utilizada. Nesta etapa, segundo os autores, o potencial de conservação de energia elétrica pode alcançar cerca de 13 kWh/t de madeira seca, principalmente no processo de transporte do cavaco, através do uso de transportadores de correias, em detrimento ao uso de transportadores pneumáticos.

1.2. Polpação

A polpação da madeira, que ocorre nos digestores, consiste em uma etapa fundamental do processo de produção da pasta de celulose.

Considerando-se tanto o nível de qualidade do produto quanto o consumo de energia, qualquer intervenção nesta etapa do processo produzirá reflexos nas etapas subsequentes.

Desta forma, uma medida que reduza o consumo de energia nesta etapa pode causar uma mudança no custo da operação de branqueamento da pasta, uma redução da recuperação de reagentes na etapa de calcinação, ou uma menor geração de energia na caldeira de recuperação. A forma de energia utilizada na polpação é a energia térmica do vapor e os principais fatores que influenciam o consumo de vapor são: a relação licor/madeira no digestor, a temperatura do licor, a quantidade de água, o número de estágios de lavagem e o nível de recuperação do vapor flash (gerado no tanque de descarga). O consumo de energia nesta etapa pode alcançar 4 GJ/t de celulose seca em digestores convencionais e 2,5 GJ/t de celulose em digestores contínuos (Syberg, *et alii*, 1999).

Os principais equipamentos que compõem a etapa de polpação são o digestor, o tanque de descarga e o lavador. Em cada um destes equipamentos ocorrem perdas de energia que podem atingir, no total, em torno de 24% da massa de vapor, o que corresponde a cerca de 0,5 GJ para cada tonelada de pasta de celulose.

Outras perdas de energia importantes nesta etapa estão associadas a deficiências no isolamento térmico, redução da relação licor/madeira, não recuperação de calor dos gases de exaustão na evacuação do digestor, não recuperação do calor contido no vapor *flash* utilizado na evaporação do licor. Estas perdas, somadas a outras menores, resultam em um desperdício de energia de aproximadamente 0,7 GJ/t de celulose.

1.3. Deslignificação com oxigênio

O sistema de deslignificação com oxigênio é composto por pré-lavadores com misturadores de oxigênio e um reator de simples ou duplo estágio com um removedor de oxigênio. A deslignificação com oxigênio leva a uma redução da carga química da planta e a uma diminuição do consumo de vapor, para cerca de 0,6 GJ/t de celulose, contra os 2,5 GJ/t de celulose dos eficientes digestores contínuos. Ainda nesta etapa, são consumidos cerca de 75 kWh/t de celulose, de energia elétrica, na alimentação de matéria prima ao reator pressurizado e para proporcionar a mistura e a posterior lavagem. A deslignificação com oxigênio é um processo complementar ao branqueamento, que possui a vantagem de requerer um menor consumo de vapor, além de propiciar uma diminuição da demanda química da planta.

1.4. Branqueamento

A operação de branqueamento consiste em uma intervenção química na celulose, com o objetivo de torná-la alva. Três processos podem realizar esta operação: *ECF* – *elemental chlorine free*, *TCF* – *total chlorine free* e o processo químico tradicional. Por razões ambientais, os dois primeiros (sobretudo o primeiro deles) estão substituindo paulatinamente o último.

O processo ECF produz uma fibra mais alva e de melhor qualidade, se comparado ao processo TCF, cuja vantagem é a eliminação total do cloro na operação de branqueamento. Do ponto de vista comercial, a fibra obtida pelo processo ECF é, geralmente, melhor aceita no mercado, enquanto que, do ponto de vista energético, o processo ECF é mais energointensivo que o processo TCF, em razão da necessidade de uma etapa de recuperação química.

Os principais gargalos que contribuem para aumentar as perdas de energia nesta etapa do processo são a falta de otimização da reciclagem de filtrados no branqueamento e o uso de água fria no forno de cal, que podem contribuir para perdas de energia da ordem de 1,5 GJ/t.

1.5. Concentração do licor negro

A etapa de concentração do licor negro apresenta potenciais de conservação tanto de energia térmica, na forma de vapor, como de energia elétrica. Falta, em geral, nesta etapa, uma maior utilização dos recursos de automação. Não há, também, uma recirculação da água aquecida pela carcaça do condensador, o que aumentaria sua temperatura e exigiria uma menor demanda das caldeiras para gerar vapor. Os evaporadores mais modernos, empregados nesta etapa, apresentam um consumo de energia elétrica entre 15 e 30 kWh/t de celulose, em cada estágio. O consumo de vapor também varia com o número de estágios e a pressão do vapor.

Para uma pressão de vapor de 550 kPa, evaporadores de quatro estágios consomem cerca de 670 kJ/kg de água evaporada, enquanto que evaporadores de 7 estágios consomem aproximadamente 390 kJ/kg de água evaporada.

A concentração do licor influencia diretamente a operação de evaporação. Para uma temperatura de 100°C, uma concentração de sólidos de 70% resulta em uma viscosidade de 160 cP, enquanto que uma concentração de sólidos de 80% resulta em um licor com viscosidade de 2600 cP. As principais oportunidades de economia de energia na seção de evaporação são: sistema de distribuição do licor enfraquecido, isolamento de tanques e tubos, eliminação de vazamentos de tanques e tubos, eliminação de condensado na tubulação de vapor e eliminação da infiltração de ar em bombas de licor, dentre as mais importantes.

As economias de energia elétrica e energia térmica, nesta etapa, podem chegar a 17 kWh/t de celulose e 0,4 GJ/t de celulose, respectivamente.

1.6. Caldeira de recuperação

A caldeira de recuperação ainda é um equipamento chave no processo de produção de papel e celulose em uma planta integrada e de celulose e seu uso só estará ameaçado a partir do momento em que as tecnologias de gaseificação estiverem em condições de concorrer comercialmente com este equipamento. A caldeira de recuperação gera, neste tipo de planta, a maior parte do vapor empregado no processo de produção de papel e celulose. O combustível utilizado por esta caldeira é o licor negro que, a partir de um processo de evaporação de parte do mesmo, tem a sua concentração de sólidos aumentada.

Por ser uma máquina térmica, a caldeira de recuperação apresenta muitas perdas, além de variação de rendimento conforme as condições de operação. A otimização do ar de combustão, bem como a limpeza dos evaporadores em cascata, podem melhorar sua eficiência.

O uso de selo mecânico nas bombas de licor negro evita um grande desperdício do combustível. Há outras medidas de conservação de energia passíveis de utilização em

caldeiras de recuperação, tais como o aumento da concentração do licor negro e de sua temperatura, aumento da temperatura do ar de combustão e recuperação do calor dos gases de combustão.

Além disso, melhorias no sistema de distribuição de ar proporcionam uma melhor queima do licor negro, com o conseqüente aumento na eficiência da caldeira. Reduções nas emissões de poluentes podem ser conseguidas através da otimização da operação do sistema de lavagem de gases e do precipitador eletrostático. Estas medidas, somadas a outras, podem proporcionar um potencial de conservação de energia de aproximadamente 8 GJ/t de celulose.

1.7. Calcinação

A calcinação consiste, basicamente, em um processo de conversão do licor verde em licor branco. Nesta etapa do processo, as possibilidades de conservação de energia são baixas, em razão do baixo consumo de energia elétrica e vapor. O equipamento utilizado na calcinação, o forno de cal, opera com um consumo de 3,2 GJ para cada tonelada de óxido de cálcio. Este forno é praticamente um reator de quatro estágios: secagem, aquecimento, calcinação e resfriamento.

São nestes estágios que ocorrem os potenciais de conservação de energia neste equipamento. Neste caso, as principais estratégias para a redução de consumo de energia referem-se ao controle e minimização do volume de água que entra no forno, otimização das trocas térmicas entre os produtos de combustão e a água de processo, redução das perdas de calor e recuperação do calor contido nos gases de escape. Um outro ponto importante é a correta remoção de sólidos grosseiros: uma redução de cerca de 1% promove uma economia de energia de 44 MJ por tonelada de produto.

1.8. Produção de papel

A etapa de fabricação de papel consome elevadas quantidades de energia elétrica e vapor, que, dependendo do tipo de papel, variam consideravelmente. A tabela 3 mostra o consumo específico médio de vapor e de energia elétrica para os diversos tipos de papel, enquanto que a tabela 4 mostra o consumo específico médio de vapor e de energia elétrica em relação às etapas do processo de fabricação de papel imprensa.

Tipo de papel	Consumo de vapor (GJ/t)	Consumo de energia elétrica	
		(GJ/t)	(kWh/t)
Papel imprensa	3,4 – 5,5	1,51 – 2,28	420 – 630
Papel de impressão revestido	5,1 – 5,6	1,98 – 2,95	550 – 820
Papel de impressão sem revestimento	4,3 – 7,2	1,98 – 2,41	550 – 670
Papéis especiais	3,7 – 7,7	1,58 – 3,24	440 – 900
Papel de embalagem	3,4 – 8,8	1,85 – 2,38	515 – 660
Papel para fins sanitários	2,6 – 4,5	3,01 – 3,78	835 – 1.050

Fonte: McIvor *et alii*, 1999

Tabela 3 – Consumo específico médio de vapor e energia elétrica para fabricação dos tipos mais importantes de papel

Operação	Consumo de vapor (GJ/t)	Consumo de energia elétrica	
		(GJ/t)	(kWh/t)

Preparo de matéria prima	0,66	0,36	100
Formação da folha	0,3	0,51	142
Secagem e acabamento	3,2	0,16	45
Sistemas auxiliares	-	0,15	42
Total	4,16	1,18	329

Fonte: McIvor *et alii*, 1999

Tabela 4 – Consumo específico médio de vapor e energia elétrica nas várias etapas do processo de fabricação de papel imprensa

Os dados das tabelas 3 e 4 indicam que quanto maior for o grau de acabamento do papel, mais energia é utilizada em sua fabricação.

A máquina de papel é um equipamento que apresenta um vasto potencial de conservação de energia. A conversão do vapor de média pressão do pré-secador para vapor de baixa pressão propicia uma razoável economia de energia, bem como a adição de um economizador na exaustão do secador. A reciclagem da água da seção de prensagem para uso na corrente de rejeito dos limpadores é uma medida muito pouco adotada e que proporciona economia de energia. Somadas a outras, tais medidas seriam capazes de evitar uma perda de aproximadamente 1 GJ/t de celulose processada.

1.9. Sistemas complementares de geração e distribuição de vapor

Os sistemas complementares de geração e distribuição de vapor apresentam perdas facilmente identificáveis. As possibilidades de substituição de combustíveis também são amplas. De uma maneira geral, a manutenção eficiente dos geradores de vapor, com trocas periódicas de tubulações mal conservadas, a recuperação dos calores sensível e latente, a otimização da operação das bombas e seus motores elétricos, ventiladores, insufladores, exaustores, além de um maior uso da biomassa e de sistemas de queima em suspensão, pode resultar em economias de até 3 GJ/t de vapor produzido (McIlroy e Wilczinsky, 1999). O vapor produzido, se distribuído em condições deficientes, em tubulações mal isoladas, pode provocar sérias conseqüências, inclusive afetando o funcionamento de certas máquinas.

Também de fácil identificação, esta perda pode, dependendo do caso, representar 30% da energia contida no vapor.

2. Estimativa de potenciais de conservação de energia na indústria de papel e celulose

Quando se estima um potencial de conservação de energia para um segmento industrial, deve-se sempre ter o cuidado de considerar a heterogeneidade das empresas que compõem este segmento. O caso da indústria de papel e celulose não é diferente.

Apesar de ser um segmento industrial verticalizado e globalizado, como já foi dito anteriormente, a heterogeneidade das fábricas ainda é considerável. Os valores encontrados para o desperdício de energia devem ser encarados como norteadores, pois, em geral, variam de planta para planta, não servindo como uma medida exata da situação do setor.

Na tabela 5 efetua-se uma comparação entre os valores de consumo específico médio e mínimo (médias ao longo do histórico disponível) de eletricidade, dos quatro tipos de plantas de papel e celulose em 2000. As diferenças entre estes dois valores, indicados na tabela 5, representam uma estimativa de um potencial técnico de conservação de energia, realizável com as tecnologias atualmente empregadas pelas empresas de papel e celulose brasileiras.

Tipos de plantas	Potencial de conservação (MWh/t)
------------------	-------------------------------------

Fábricas de celulose	0,79
Fábricas integradas	0,37
Fábricas de papel	0,60
Fábricas de papel sanitário	0,46

Fonte: Elaboração própria a partir de Vilasboas 2000

Tabela 5 – Potencial técnico de conservação de energia elétrica da indústria de papel e celulose, por tipo de planta, em 2000

A tabela 6, por outro lado, indica potenciais de conservação de energia que podem ser obtidos em fábricas de papel e celulose, de acordo com a literatura técnica pesquisada.

Os valores correspondentes à última linha da tabela podem ser vistos como estimativas, mais grosseiras, de potenciais de conservação das plantas que só fabricam papel, inclusive sanitário, enquanto que a soma dos valores das linhas anteriores são estimativas destes potenciais para fabricantes de celulose de mercado.

Etapa do processo	Vapor (GJ/t)	Energia elétrica (GJ/t)	Energia elétrica (kWh/t)
Preparo da matéria prima	--	0,047	13,0
Polpação	12,0	0,027	7,6
Deslignificação com oxigênio	1,9	--	--
Evaporação	0,4	0,061	17,0
Caldeiras de recuperação	8,0	0,015	4,2
Calcinação/fornos de cal	0,044	0,025	7,0
Branqueamento	1,50	0,003	0,9
Produção de papel	1,71	0,083	23,0
Total	25,554	0,26	72,7

Fonte: Elaboração própria, a partir de McIlroy e Wilczinsky (1999), Syberg *et alii* (1999) e IPT (1985)

Tabela 6 – Potenciais de conservação de energia em fábricas de papel e celulose, por etapas da cadeia produtiva

3. Conservação de energia e proteção ambiental

As empresas produtoras de papel e celulose são bastante sensíveis às questões ambientais, obviamente por razões comerciais, principalmente em se tratando do mercado internacional. Por essa razão, muitas vezes as empresas de papel e celulose adotam tecnologias ou equipamentos visando a minimização de impactos ambientais e estas provocam rebatimentos positivos ou negativos no consumo de combustíveis e energia elétrica, levando a diminuições, ou aumentos, no consumo específico de energia.

Neste sentido, são vários os exemplos de adoção de tecnologias e equipamentos colocados em funcionamento com o intuito de promover uma menor agressão ao meio ambiente mas que, além de atingir este objetivo, contribuem, também, para uma diminuição no consumo de energia. A deslignificação com oxigênio é um exemplo disso; ela foi concebida visando a diminuição da demanda química do processo de branqueamento, mas acabou por proporcionar, também, uma diminuição no consumo de vapor. O desenvolvimento de prensas que reduzem o grau de umidade das cascas de árvores é um outro bom exemplo. Seu objetivo é o de eliminar a umidade visando uma redução nas emissões de poluentes com a queima destas cascas nas caldeiras de biomassa.

Além de alcançar este objetivo, esta tecnologia também ajuda a aumentar a eficiência destas caldeiras.

Obviamente nem todas as tecnologias e equipamentos que visam reduzir impactos ambientais negativos da indústria de papel e celulose propiciam este bônus, em termos de redução de consumo específico de energia. Algumas delas provocam aumentos de consumo específico, como é o caso do tratamento secundário dos efluentes de uma fábrica de papel e celulose, ou, então, o processo de branqueamento da pasta de celulose através do tratamento seqüencial OZEDP. É necessário, então, que se faça um balanço para se verificar o efeito líquido, em termos de consumo específico de energia, do conjunto destas tecnologias empregadas ou planejadas para uma determinada planta ou tipo de planta.

Esta questão, por outro lado, evidencia a necessidade de se buscar uma melhor concatenação entre as políticas energética e ambiental do governo para os segmentos industriais energo-intensivos e entre as estratégias energética e ambiental das empresas do setor.

4. Conclusão

O segmento industrial de papel e celulose apresenta um potencial de conservação de energia bastante grande. As perdas são significativas e as perspectivas de conservação podem ser enquadradas tanto pela adoção de medidas que evitem tais perdas quanto pela adoção de novas tecnologias de processo ou de equipamentos de produção. Se por um lado a crise de abastecimento de energia, como a ocorrida em meados de 2001/2002, pode se repetir afetando negativamente os índices de produção do setor, por outro lado o decreto N° 4.667, de 26 de abril de 2002, que estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica, compra de energia elétrica do serviço público de distribuição, entre outras regulamentações, deve promover um incentivo maior para a autoprodução e conservação de energia elétrica. Este decreto, basicamente, estipula o fim dos subsídios cruzados para os setores eletrointensivos. O artigo 1°§ 2° aponta para o fim dos subsídios de forma gradual com pesos de 90%, 75%, 50%, 25% e 0% em 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007 respectivamente. Isso obrigará os segmentos eletrointensivos, que inclui a indústria de papel e celulose, a adotar um posicionamento mais efetivo quanto á políticas de conservação de energia, consumo e autoprodução de eletricidade, possivelmente reestruturando a sua matriz energética.

O fato é que a indústria de papel e celulose brasileira não pode considerar sua gestão energética somente ancorada ás questões ambientais com a finalidade de facilitar as exportações de seus produtos. A gestão energética séria e comprometida com a conservação de energia pode ser uma das vias fortalecedoras deste segmento industrial.

5. Referências bibliográficas

- AGRASimons Limited Consulting Engineers. A guide to energy savings in the Kraft pulp industry. Vancouver, BC, ISBN 1-896742-51-3. Canadá. 2000.
- Bajay et al, 1998. Desenvolvimento de programas de conservação de energia elétrica e modulação de carga nos segmentos industriais de papel e celulose e fundição, na região administrativa de Campinas. Relatório técnico final partes I e II. UNICAMP. Campinas, 1998.
- BNDES, 2001. O setor de papel e celulose no Brasil e no mundo. Relatório setorial BNDES. Área de operações industriais 2. Disponível em [www. bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)
- BNDES, 1998. A crise asiática e o setor de papel e celulose no Brasil. Informe setorial n° 14. Produtos florestais. Área de operações industriais 2. março de 1998. Disponível em www. bndes.gov.br
- Bracelpa, 2001. Relatório estatístico Bracelpa 2001. Associação Brasileira dos Fabricantes de Papel e Celulose. São Paulo, 2001.

- Bruce, D., Wilson, R., Steam plant, power generation and effluent treatment. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.
- Dessureault, S. Recycling and deinking mills. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.
- IPT, 1990. Desenvolvimento e implantação do sistema integrado de planejamento energético. Estudos setoriais: v.2 – papel e celulose, ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 90 p., 1990.
- McIlroy, D., Wilczinsky, J., Chemical Pulp Mills. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.
- McIvor, A, Dahl, C, Lindstrom, R, Paper, board, tissue and pulp machines. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.
- PAPTAC. The pulp and paper technical association of Canada. A guide to energy savings opportunities in the kraft pulp industry. ISBN 1-896742-51-3. Canada, 1999.
- Syberg, O, Wong, K.C, Persson, E, Deeb, S., Common mill equipment. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.
- Tolmasquin, M.T., Szklo, A.S., 2000. A matriz energética brasileira na virada do milênio. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, ENERGE, 2000, 542 p., ISBN 85-285-0039-X.
- Vélazquez, S.M.S.G, Coelho, S.T., Varkulya, A. Jr., A cogeração de eletricidade no setor de papel e celulose: avaliação técnica e econômica. Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, novembro, 1999, Águas de Lindóia, SP.
- Vilasboas, P., Consumo de combustíveis no setor de papel e celulose. GT-13/ assuntos Energéticos. ANFPC, São Paulo, Relatórios de 1990 a 1997. Dados extra-oficiais de 1998 a 2000.
- Wearing, J, Crotogino, R, Mill Manager's Overview. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN, pulp and paper research institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.