

Metodologia para execução de projeções de produção e consumo de energia em segmentos industriais energointensivos: uma aplicação para a indústria brasileira de papel e celulose

Marcelo Carlos Barbeli*

Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos - UNICAMP
Coordenador e Professor do Curso de Engenharia de Produção
Mecânica do Centro Universitário Anhanguera - Unidade Pirassununga
e-mail: marcelo.barbeli@unianhamguera.edu.br

■ Resumo

Este trabalho apresenta a proposta de metodologia para execução de projeções de consumo e produção de energia em segmentos industriais energointensivos. Particularmente, aborda uma aplicação para o segmento industrial de papel e celulose, sabidamente intensivo em combustíveis e energia elétrica. A metodologia apóia-se na aquisição de dados e processamento com base nas evoluções previstas para a produção física e para o consumo específico de energia da indústria de papel e celulose no País.

Em relação à produção física, são efetuadas projeções da produção e exportação de celulose, da produção de papel e do produto final. As previsões de consumo de eletricidade e de combustíveis e de autoprodução de eletricidade são baseadas em projeções do consumo específico de energia.

As projeções efetuadas prevêm possíveis substituições futuras entre os combustíveis utilizados pelas indústrias do setor, principalmente a substituição do óleo combustível pelo gás natural.

Palavras-chave: Energia, Indústria, Tecnologia, Meio Ambiente.

■ Abstract

This paper shows a methodology for energy demand and production in the high electric industry players in especially in the Brazil pulp and paper industries. The methodology board the known quantity and proceedings of physic production and specific demand of energy for Brazil pulp and paper industries.

For the current work, proceedings the projections of physic production and exportation of pulp, paper and the final products. The prevision of electric demand, fuel demand and electric self production are made based in the projections of specific energy demands. The projections presuppose substitution of the principals fuels used in the pulp and paper industry, in specially natural gas in substitution of the combustible oil.

Key-words: Energy, industry, technology, environment

■ A metodologia de projeção adotada

Os modelos de projeção da demanda de energia podem ser econométricos, técnico-econômicos (também conhecidos como modelos contábeis ou de simulação),

*Bolsistas FUNADESP - Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular

ou mistos (Bajay, 1983; Araújo, 1988). O modelo adotado neste trabalho pode ser classificado como misto, já que utiliza relações econométricas, mas também efetua ajustes nas projeções, na forma de simulações, para levar em conta as futuras substituições entre energéticos e a penetração de novas tecnologias.

Os modelos de projeção de demanda podem trabalhar com os consumos finais dos diversos energéticos, ou com os seus usos finais (força motriz, calor de processo, processos eletroquímicos, iluminação, etc.). A segunda opção é mais interessante do ponto de vista conceitual, mas exige levantamentos de campo recentes para propiciar uma base de dados confiável para as projeções; como os últimos levantamentos disponíveis para a indústria de papel e celulose foram feitos há mais de dez anos (Bajay, 1997), decidiu-se pela primeira opção neste trabalho.

Em qualquer uma das abordagens utilizadas nos modelos de projeção da demanda de energia, mencionadas acima, é comum se representar a demanda energética de um dado setor da economia como o produto de um indicador de atividade deste setor pelo consumo energético unitário desta atividade e se projetar estas duas grandezas. No caso do setor industrial como um todo, ou de segmentos industriais específicos, utiliza-se como indicadores de atividade o valor adicionado ou a produção física correspondentes. Quando se dispõe de um modelo macroeconômico que permita projetar o valor adicionado dos vários setores da economia, o que não é o caso deste trabalho, costuma-se adotar esta grandeza como indicador de atividade dos modelos de projeção de demanda de energia. Por outro lado, a tradição brasileira na projeção da demanda energética de segmentos industriais energo-intensivos tem sido o emprego da produção física destes segmentos como indicador de atividade. Como o valor adicionado da indústria brasileira de papel e celulose apresenta um comportamento cíclico acentuado, e a duração e amplitudes destes ciclos variam e são difíceis de prever, sobretudo a médio e longo prazo, optou-se, neste trabalho, em se utilizar a produção física como indicador de atividade.

■ Projeções de mercado para a produção de celulose, papel e produto final

Os principais fatores que influenciam a produção de celulose são o seu preço, o nível de estoques das

empresas e, principalmente, a demanda por papel. Os preços oscilam de acordo com os níveis mundiais de estoque de celulose, cujo controle é feito por uma associação de empresas produtoras de celulose e papel da América do Norte e Escandinávia, conhecida como *NORSCAN*. Seu efeito, entretanto, não influencia diretamente a produção das grandes empresas exportadoras de celulose instaladas no Brasil, cujo mercado ainda encontra-se em relativa expansão.

A produção e o consumo de papel, por sua vez, dependem da condição econômica do País, já que períodos de recessão inibem o consumo de determinados tipos de papel, como o papel para imprimir e escrever, os papéis para embalagens e os especiais, cuja demanda é bastante sensível às variações da economia. Por essa razão, utiliza-se, neste trabalho, o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, em milhares de dólares americanos, como a principal variável explanatória das projeções de produção de papel, com a exceção do papel tipo sanitário. Neste caso, o crescimento da população brasileira (POP), em milhões de habitantes, é o que melhor explica o crescimento na produção deste tipo de papel. Com exceção do papel tipo cartão/cartolina, para todos os demais tipos de papel houve uma boa correlação com os parâmetros adotados.

A equação que melhor explica a produção de papel especial, $PPAP_{esp}$, em 1000 toneladas, é:

$$PPAP_{esp} = 2,8927 PIB - 1.040,6633 \quad (R^2 = 0,80) \quad (1)$$

As equações (2), (3), (4) e (5) são as que propiciam os melhores ajustes para as produções de papel tipo sanitário ($PPAP_{san}$), papel de imprensa ($PPAP_{imp}$), papel para embalagem ($PPAP_{emb}$) e papel para imprimir/escrever ($PPAP_{imp/esc}$), tudo em 1000 toneladas, respectivamente:

$$PPAP_{san} = 8,203 POP - 783,21 \quad (R^2 = 0,86) \quad (2)$$

$$PPAP_{imp} = 0,0117 (PIB)^2 + 10,262 PIB - 1.963,7 \quad (R^2 = 0,68) \quad (3)$$

$$PPAP_{emb} = 10,9862 PIB - 2.116,923 \quad (R^2 = 0,88) \quad (4)$$

$$PPAP_{imp/esc} = 6,3544 PIB - 998,3669 \quad (R^2 = 0,92) \quad (5)$$

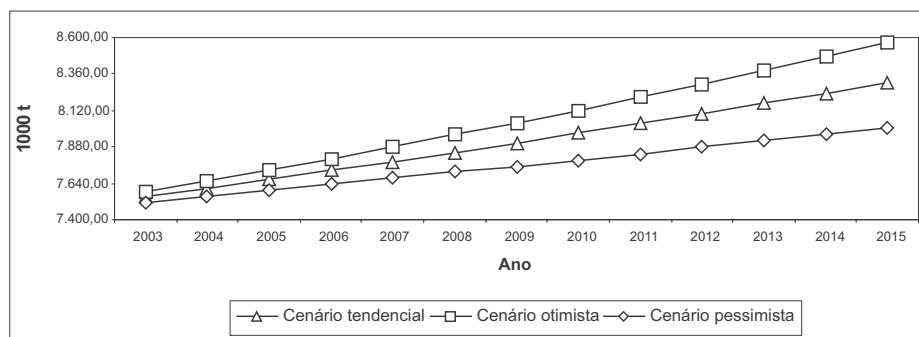
Considera-se, neste trabalho, um crescimento médio anual do PIB, com base no histórico dos últimos 30 anos, de 3,5% no cenário tendencial, de 4,5% no cenário otimista e de 2,5% no cenário pessimista. Para efeito de elaboração das projeções da produção de

papel sanitário, assume-se um crescimento médio anual de 1,0% da população brasileira até 2015. A figura 1 apresenta as projeções de crescimento da produção total de papel no Brasil, segundo os três cenários adotados.

A produção de celulose no País, por seu turno, depende do consumo interno de papel e das exportações de celulose. As exportações, por sua vez, dependem de fatores macroeconômicos complexos, como a estabilidade econômica dos mercados consumidores, cuja previsão é difícil de ser feita.

Estudos realizados pela MCM consultoria em 2003, baseados em um estudo da empresa Jakko Poyri, indicam um crescimento de 2,7% ao ano no consumo mundial de celulose até 2015, sendo que, em média, deverá ocorrer um crescimento de 4,7% no consumo de celulose de fibra curta contra um crescimento de 2% no consumo de celulose de fibra longa no mesmo período.

Figura 1 - Projeções da produção total de papel pela indústria brasileira, em 10³t



Fonte: Elaboração própria.

O consumo mundial de celulose explica razoavelmente bem, em termos estatísticos, o comportamento das exportações brasileiras desta commodity.

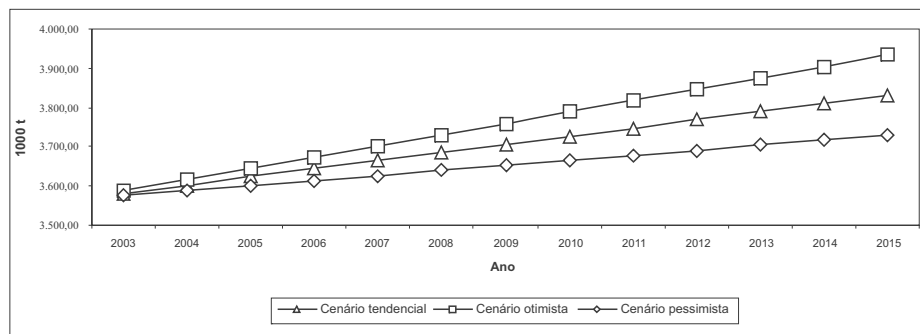
A melhor regressão estatística que se obteve neste trabalho para as exportações de celulose, EC, em 1000 toneladas, está indicada na equação (6):

$$EC = 0,2282 CMC - 4.284.508 \quad (R^2 = 0,88) \quad (6)$$

onde CMC é o consumo mundial de celulose, tanto de fibra longa como de curta, em 1000 toneladas.

Adota-se, neste trabalho, no cenário tendencial, a taxa média de crescimento de 2,7% ao ano, estimado no estudo da MCM, no consumo mundial de celulose até 2015; para os cenários pessimista e otimista assume-se taxas médias anuais de crescimento de 1,7% e 3,7%, respectivamente. A figura 2 ilustra as projeções das exportações de celulose nos três cenários.

Figura 2 - Projeções das exportações brasileiras de celulose, em 1000 t



Fonte: Elaboração própria.

A produção de celulose no País, PCEL, em 1000 toneladas, pode se projetada com o auxílio da equação (7):

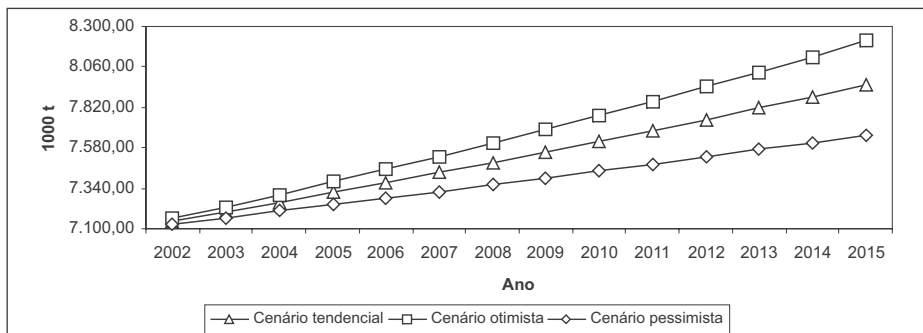
$$PCEL = 2.135.742 + 0,2495 CPAP + 0,9705 EC \quad (7)$$

onde CPAP representa o consumo total de papel no País, em 1000 toneladas.

A figura 3 mostra as projeções da produção de celulose nos três cenários macroeconômicos considerados neste trabalho.

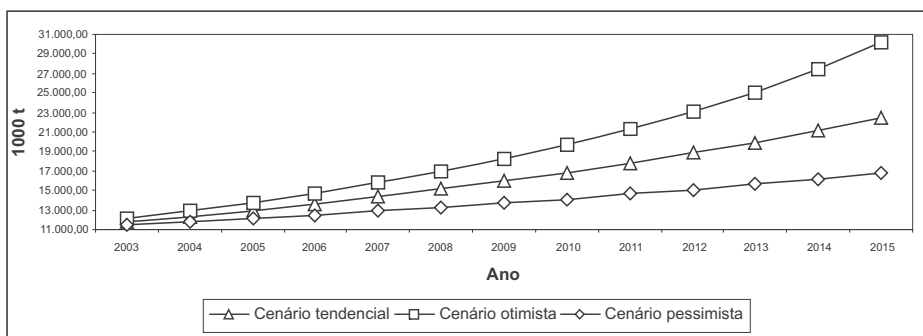
As projeções até 2015, nos três cenários, da evolução do produto final da indústria de papel e celulose, que é o volume total de produção de papel somado ao volume de celulose exportada, estão apresentadas na figura 4.

Figura 3 - Projeções da produção de celulose no Brasil, em 1000 t



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Projeções da evolução do produto final da indústria de papel e celulose brasileira, em 10³ t



Fonte: Elaboração própria.

■ Projeções do consumo de combustíveis e energia elétrica com base no produto final do setor de papel e celulose

A metodologia adotada neste trabalho para elaboração das projeções do consumo de combustíveis e energia elétrica da indústria de papel e celulose é baseada na multiplicação de projeções do produto final desta indústria por projeções do consumo específico dos principais combustíveis e da energia elétrica, isto é:

$$E = PF \times CE \quad (8)$$

onde E é consumo de energia, em GJ, PF é o produto final, em toneladas, e CE é o consumo específico de energia, em GJ/t, dos principais combustíveis utilizados e da energia elétrica.

Encontrou-se um razoável ajuste estatístico do consumo específico do gás natural, CE_{gn} , em GJ/t, com o tempo, t, em anos. A regressão correspondente está indicada na equação (9). Para o óleo combustível, lenha, lixívia e eletricidade, respectivamente, adotou-se os seguintes valores de consumo específico, constantes ao longo do período de projeção: 3,65 GJ/t, 4,0 GJ/t, 9,75 GJ/t e 4,4 GJ/t.

$$CE_{gn} = 139,14 \ln t - 1056,60 \quad (R^2 = 0,80) \quad (9)$$

No caso do gás natural, os três cenários apresentam pouca diferenciação em razão da expectativa de um aumento considerável em seu consumo no curto prazo.

■ Projeções do consumo de energia elétrica na indústria brasileira de papel e celulose, por tipo de planta

Quando se divide a indústria de papel e celulose por tipo de planta e se elabora previsões sobre a produção física e o consumo específico de eletricidade em cada um deles, as projeções resultantes, mais detalhadas, facilitam o estabelecimento de metas e programas de conservação deste energético.

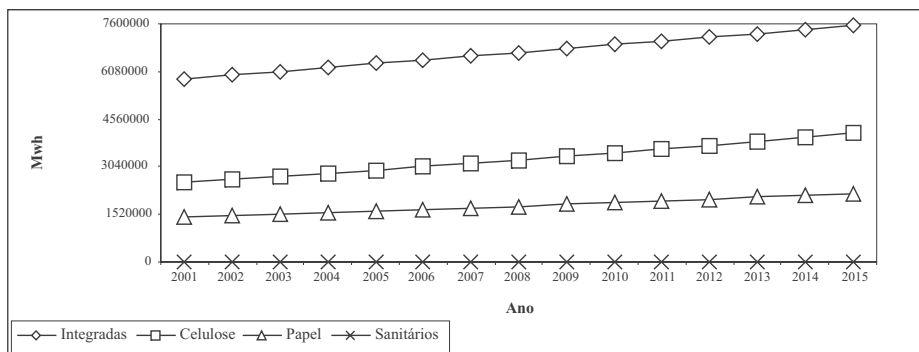
Os tipos de planta considerados são: plantas produtoras de celulose, de todos os tipos de papéis (menos papéis sanitários), de papéis sanitários e plantas integradas.

Para efeito de elaboração de projeções, a produção física nas plantas produtoras de papel sanitário varia diretamente com o crescimento da população, enquanto que nas plantas produtoras dos demais tipos de papel a evolução da produção física está diretamente relacionada com a variação do PIB. Já a evolução da produção nas plantas de celulose e nas plantas integradas segue uma relação funcional mais complexa. No caso das plantas produtoras de celulose, o ritmo da produção é determinado pelo consumo interno de papel e pelas exportações de celulose. Esta mesma relação se aplica às plantas integradas, que produzem simultaneamente papel e celulose. As taxas de crescimento populacional, evolução do PIB e exportação de celulose são as mesmas utilizadas anteriormente.

O consumo de eletricidade por tipo de planta considera tanto a eletricidade adquirida quanto a produzida na própria planta. As projeções do consumo específico de energia elétrica por tipo de planta não apresentaram um bom ajuste estatístico com a variável

tempo, principalmente no caso das plantas de papel e papel sanitário. Adotou-se, então, um consumo específico médio ao longo da série projetada de 0,76 MWh/t para plantas produtoras de papel e 1,07 MWh/t para plantas de papel sanitário e plantas de celulose. No caso das plantas integradas, utilizou-se a regressão estatística obtida, que se mostrou razoável.

Figura 5 - Projeções do consumo final de energia elétrica por tipo de planta



Fonte: Elaboração própria.

■ Projeções da autoprodução de energia elétrica da indústria brasileira de papel e celulose - Projeções por tipo de fonte de energia

A autoprodução de energia elétrica é uma prática comum na indústria de papel e celulose, principalmente nas fábricas de celulose e nas integradas. Fatores como a alta demanda de energia elétrica aliada à reestruturação das tarifas de eletricidade para a indústria, já em andamento, com incrementos substanciais sobretudo para as unidades industriais de maior porte, atendidas nos grupos tarifários A1, A2 e A3, deverão tornar a autoprodução de eletricidade uma atividade crescente no setor.

As fábricas de celulose e as fábricas integradas saem na frente nesta nova tendência, pelo motivo de gerarem grandes quantidades de um subproduto de grande interesse em plantas de co-geração, a lixívia, e por já possuírem uma razoável experiência neste tipo de atividade. Espera-se, também, uma maior inserção do gás natural na matriz energética desta indústria, principalmente a partir de 2007, quando, segundo a legislação vigente, os subsídios cruzados deixarão de existir.

Com o objetivo de quantificar o incremento desta atividade, considera-se, nesta seção, um cenário tendencial de produção, por tipo de planta, e um cenário de autoprodução de energia elétrica a partir de algumas

fontes de energia, a partir de projeções de consumo específico destas fontes, também por tipo de planta, prevendo-se uma maior inserção do gás natural em substituição do óleo combustível, a partir de 2007.

As projeções de autoprodução de eletricidade em plantas de papel tipo sanitário levam em conta a geração hidrelétrica e a co-geração com gás natural. O gás natural atualmente não é utilizado para geração de eletricidade nas fábricas de papel tipo sanitário. Assume-se, neste trabalho, que, em 2007, a eletricidade gerada em plantas de co-geração com gás natural irá corresponder a cerca de 1% do consumo total de eletricidade naquele ano. A partir de 2008, assume-se que a participação do gás natural na matriz energética de autoprodução destas plantas aumente em 5% ao

ano. No caso da geração hidrelétrica, adota-se a melhor produção específica de eletricidade da série histórica - 16,7 kWh/t, uma vez que não se conseguiu um bom ajuste estatístico com a variável tempo, e projeta-se a autoprodução de hidroeletricidade a partir das previsões de produção física realizadas neste trabalho.

Existe uma tendência de incremento da autoprodução de energia elétrica a partir da geração hidrelétrica, seja em pequenas centrais hidrelétricas ou em parcerias com outros investidores em centrais hidrelétricas de maior porte. A utilização do gás natural a partir de 2007 deverá ocorrer em razão do fim dos subsídios cruzados e, também, devido às restrições ambientais crescentes para a construção de centrais hidrelétricas, principalmente na região Sudeste.

Na autoprodução praticada no segmento industrial que produz os demais tipos de papel a situação muda um pouco, em razão de alguns fabricantes já utilizarem o gás natural e outros combustíveis para a geração de eletricidade em unidades de co-geração. Neste segmento industrial, considera-se uma penetração mais forte do gás natural, que deverá deslocar o uso do óleo combustível em razão da relação de preços favorável ao gás, atualmente de 0,4. Estima-se que, a partir de 2007, quando os subsídios cruzados nas tarifas de energia elétrica deverão deixar de existir, ocorra uma mudança sensível na matriz energética dos fabricantes de papel. Considera-se, para os fabricantes de papel,

que a produção específica de eletricidade via geração hidrelétrica deve manter-se em 88,37 kWh/t até 2015. Assume-se que a geração de eletricidade através de biomassa deverá manter a produção específica de 14,50 kWh/t até 2007 e declinar cerca de 1% ao ano em razão da penetração do gás natural. Já no caso do óleo combustível, as projeções partem de uma produção específica de 14,54 kWh/t com declínio de 1% ao ano até 2007 e 5% ao ano após este ano, significando uma grande perda de espaço para o gás natural. Dotado de forte poder de penetração nesta indústria, o gás natural deve apresentar um crescimento de produção específica de 5%, a partir de 4,6 kWh/t, até 2007 e 10% após este ano, até o final do período de projeção.

Os fabricantes de celulose possuem uma boa experiência na autoprodução de eletricidade, proporcionada pelo consumo da lixívia em unidades de co-geração utilizando caldeiras de recuperação. O seu uso para geração de eletricidade deve continuar intenso neste tipo de fábrica, pois não há nenhum combustível com potencial de competitividade com ela. O emprego de outras formas de biomassa, tais como cavacos, cascas de árvores, etc., na geração de eletricidade deverá crescer menos acentuadamente, mas, ainda assim, mantendo sua importância na indústria de celulose. Já o óleo combustível deverá perder importância na matriz de autoprodução, principalmente em relação ao gás natural, que deverá penetrar fortemente nestas fábricas. O óleo combustível, porém, não deve deixar de ser consumido no horizonte das projeções efetuadas neste trabalho, por conta dos equipamentos específicos para este combustível, existentes nestas fábricas, que ainda possuem uma elevada vida econômica residual

As projeções da produção de eletricidade a partir da lixívia foram baseadas na seguinte regressão, com a variável produção física, PF, em toneladas, para a produção específica de energia elétrica com este resíduo, PEELEPC₁, em MWh/t:

$$PEELEPC_1 = 95953 PF - 620189 \quad (R^2 = 0,94) \quad (10)$$

Os demais energéticos consumidos na autoprodução de eletricidade nas fábricas de celulose não apresentaram um bom ajuste estatístico com a variável tempo. Nos casos da biomassa e da hidroeletricidade considerou-se produções específicas de 0,19 MWh/t e de 0,002 MWh/t, respectivamente, ao longo de todo o período de projeção. O óleo combustível perde espaço na geração de eletricidade,

com sua produção específica declinando de 0,008 MWh/t em 2003 para 0,007 MWh/t em 2007, 0,006 MWh/t em 2009 e 0,005 MWh/t no final do horizonte de planejamento. Já o gás natural parte de uma produção específica de 0,023 MWh/t em 2001, aumentando 10% ao ano até 2015, refletindo um forte poder de penetração nas fábricas de celulose.

As fábricas integradas, da mesma forma que as de celulose, mostram uma vocação para a autoprodução de eletricidade. Elas dispõem, também, da lixívia, importante energético sem concorrentes neste tipo de fábrica. As plantas integradas devem continuar a produzir eletricidade principalmente através da lixívia e da biomassa e, em menor escala, através da hidroeletricidade. O gás natural deve adquirir maior importância neste tipo de fábrica, ao contrário do óleo combustível, que deve perder importância gradualmente. Para efeito das projeções, conseguiu-se um bom ajuste estatístico para a produção específica de eletricidade a partir da lixívia, PEELEPI₁, em MWh/t, com a variável produção física, PF, em toneladas, através da equação (11):

$$PEELEPI_1 = 0,512 PF - 904390 \quad (R^2 = 0,92) \quad (11)$$

e a partir da biomassa, PEELEPI_b, em MWh/t, através da equação (12):

$$PEELEPI_b = 0,2147 PF - 400715 \quad (R^2 = 0,96) \quad (12)$$

Nos casos do óleo combustível e da hidroeletricidade, não se encontrou um bom ajuste estatístico com a variável tempo. Assumiu-se, para a hidroeletricidade, uma produção específica de 0,008 MWh/t até 2006 e 0,009 MWh/t a partir de 2007. Para o óleo combustível, assumiu-se uma queda de 10% ao ano na sua participação para geração de eletricidade. O gás natural também não apresentou um bom ajuste estatístico com o tempo, em razão de sua utilização recente nas fábricas integradas, com apenas três anos para análise. Adotou-se, neste trabalho, uma produção específica que se eleva de 0,007 MWh/t em 2001 para 0,012 MWh/t em 2006; assume-se que haverá, a partir de 2007, um crescimento de 10% ao ano na produção de eletricidade com gás natural.

Com o fim dos subsídios cruzados nas tarifas de energia elétrica, prevê-se um gradual rearranjo da matriz de autoprodução de eletricidade, uma vez que a aquisição desta deverá se tornar mais cara, obrigando as empresas a se adequarem e tornando mais atrativa a

autoprodução. Em contrapartida, espera-se que ocorra uma redução nos preços do gás natural, induzindo a uma maior penetração deste combustível nesta indústria, principalmente em modernos sistemas de co-geração. Segundo uma previsão recente de Ildo Sauer, diretor da área de gás e energia da Petrobrás, em nota técnica de 2004, cerca de 50% da oferta total de 48,8 milhões de metros cúbicos/dia deverá ser destinado à indústria em 2007, o que representará um aumento de 32% em relação ao montante consumido atualmente.

Considerando, ainda, que a lixívia e a biomassa (resíduos) não são concorrentes diretos do gás natural, pois são inerentes ao processo produtivo adotado, o seu consumo como energético deverá seguir a tendência de aumento da produção de papel e celulose. A partir dessas considerações, é razoável imaginar uma penetração gradual do gás natural até 2007, e que, a partir de 2008, ocorra uma penetração mais acentuada até o final do período considerado. O montante efetivo desta substituição, obviamente, dependerá da relação de preço entre os dois combustíveis. Nos últimos anos, esta relação tem sido francamente favorável ao gás mas não a ponto de definir uma substituição forte e sustentável entre ambos, pois o mercado ainda se ressentia da falta de uma política efetiva de preços para o gás natural.

■ Projeções de co-geração, considerando o uso de novas tecnologias

A penetração de novas tecnologias para co-geração de eletricidade e vapor de processo na indústria de papel e celulose brasileira deverá ocorrer ainda na década de 2000. Alguns fatores, como a falta de política de preços para o gás natural, ou mesmo a falta de uma política industrial para o setor, atrasam o processo de inserção de novos equipamentos e tecnologias mais modernas. Em alguns países, como Finlândia e Suécia, a indústria de papel e celulose já emprega tecnologias e equipamentos modernos em sistemas de co-geração de energia para geração de eletricidade, como geradores de vapor de leito fluidizado e gaseificadores. No Brasil, a indústria de papel e celulose, apesar de produzir uma significativa quantidade de eletricidade em plantas de co-geração, o faz sem a utilização de tecnologias mais eficientes ou equipamentos mais modernos. Empregam-se ainda hoje nas fábricas brasileiras, na grande maioria dos casos, a chamada tecnologia tradicional, com geração de vapor em caldeiras de alta pressão e

posterior produção de eletricidade em turbinas de contrapressão ou através da queima da lixívia nas caldeiras de recuperação com o processamento do vapor nas mesmas turbinas de contrapressão.

Tabela 1 - Principais tecnologias com potencial de utilização na produção de eletricidade e vapor de processo na indústria de papel e celulose, sua terminologia e previsão de disponibilidade da tecnologia.

Tecnologias/equipamentos	Terminologia	Disponibilidade (ano)
Sistema tradicional de co-geração com caldeiras de alta pressão e turbinas a vapor de contra-pressão	A	2004
Sistema tradicional de co-geração com caldeiras de alta pressão e turbinas a vapor de extração/condensação	B	2004
Sistemas de co-geração com turbinas a gás e recuperação de calor residual	C	2008
Sistemas de co-geração em ciclo combinado e turbinas de contrapressão	D	2008
Sistemas de co-geração em ciclo combinado e turbinas de extração/condensação	E	2008
Sistemas de gaseificação de lixívia	F	2012

Fonte: Elaboração própria

As projeções realizadas nesta seção simulam a penetração dessas novas tecnologias para geração de eletricidade e vapor de processo a partir de curvas logísticas.

Utiliza-se uma curva logística simples, já usada por Oliveira e Bajay (2004) para projetar a difusão de tecnologias que consomem gás natural no setor residencial. Neste caso, $C(t)$, na equação (13), representa a parcela da autoprodução total por co-geração realizada por uma dada tecnologia, dentre aquelas relacionadas na tabela 1, no ano t do horizonte de projeção:

$$C(t) = \frac{K}{1 + e^{-a(t-b)}} \quad (13)$$

e:

K é a capacidade de suporte ou o limite para onde tende a se estabilizar a parcela de autoprodução simulada;

a é o tempo de crescimento da curva, ou seja, o tempo que a curva leva para crescer de 10% a 90% da capacidade de suporte **K**;

b é o tempo médio de crescimento quando a curva chega a 50% do parâmetro **K**;

O horizonte de projeção utilizado é relativamente

curto, em vista da possibilidade de amadurecimento e da disponibilidade comercial de certas tecnologias, ainda em fase de estudos e testes em plantas de demonstração. Isso se deve à também relativamente curta série histórica disponível e que impossibilitou o uso de um horizonte de projeção maior, sob pena de se trabalhar com níveis muito elevados de incerteza.

As tendências indicam uma penetração da tecnologia de co-geração com turbinas a gás em fábricas de papel a partir de meados de 2007, quando se espera que já se tenha definida uma política de preços para o gás natural que incentive a co-geração com gás e, também, que já esteja disponível o gás da bacia de Santos para consumo industrial. Nesta projeção, considera-se que, a longo prazo, do total de eletricidade produzida em plantas de co-geração, cerca de 40% seja proveniente de tecnologias que empregam o gás natural como combustível e o restante, aproximadamente 60%, sejam provenientes da tecnologia tradicional de co-geração, queimando lenha e resíduos da biomassa e empregando turbinas a vapor de contrapressão.

Supõe-se que os fabricantes de papel, por não possuírem resíduos combustíveis, como cavacos e lixívia, em grandes quantidades, devam adotar o gás natural como fonte de energia complementar, para a geração de calor de processo simultaneamente com a produção de eletricidade. À medida em que as tecnologias de geração de eletricidade com turbinas a gás penetram neste tipo de indústria, as velhas turbinas a vapor de contrapressão devem, aos poucos, perder importância.

Já nas fábricas de papéis sanitários, a utilização de tecnologias de co-geração com turbinas a gás devem começar a penetrar um pouco mais tarde, a partir de meados de 2008. Da mesma forma que para os fabricantes de papel, a falta de uma política de preços para o gás natural que incentive a co-geração constitui hoje em um fator impeditivo a uma maior utilização deste combustível. A utilização do gás natural neste tipo de indústria, porém, deve ser ligeiramente maior do que nas fábricas de papel. Assume-se, nestas projeções, que, a longo prazo, aproximadamente 50% da eletricidade co-gerada neste tipo de fábrica seja produzida através da tecnologia que utiliza turbinas a gás de extração-condensação, ficando o restante por conta de plantas consumindo lenha e resíduos da biomassa e empregando as velhas turbinas a vapor de contrapressão. Isso se deve ao fato da localização deste tipo de fábrica, pouco dispersa, ser mais favorável ao alcance das linhas de

distribuição de gás.

O uso de tecnologias de produção de eletricidade a partir do gás natural deve ficar em segundo plano nas plantas de celulose. Isso deve ocorrer devido à sua localização e, também, devido ao fato delas produzirem um enorme volume de lixívia, o que lhe confere uma característica peculiar. Devido a este fato, tais plantas devem continuar a produzir sua eletricidade a partir, principalmente, da lixívia. A atual geração de eletricidade empregando caldeiras de recuperação de alta pressão e turbinas de contrapressão deverá acontecer por um bom tempo e, à medida em que estes equipamentos alcançarem o final de sua vida útil ou os seus custos de manutenção se tornem proibitivos, devem ser substituídos por turbinas de extração/condensação, mas sempre lançando mão da lixívia como combustível. Em um futuro mais distante, mais precisamente no final do horizonte de projeção, com o início da disponibilidade comercial das tecnologias de gaseificação de lixívia, este tipo de planta deverá iniciar uma reorientação de sua matriz energética, com uma possível introdução de tais sistemas. O gás natural deverá ser utilizado para calor de processo, sem grandes repercussões na autoprodução de eletricidade.

Para as fábricas integradas se pode seguir o mesmo raciocínio empregado para as plantas de celulose, com a diferença das primeiras possuírem uma pequena vantagem em termos de localização. Em razão disso, somado ao fato de também produzirem papel, o uso de gás natural pode vir a acontecer no futuro, mas é pouco provável que possua grande repercussão na autoprodução de eletricidade. O gás deverá ser mais utilizado para a geração de calor de processo. A lixívia deverá continuar sendo o combustível mais empregado por este tipo de fábrica para a produção de eletricidade. Como deverá ocorrer nas plantas de celulose, à medida em que as turbinas de contrapressão alcançarem o fim de sua vida útil, elas devem ser substituídas pelas de extração-condensação. No final do horizonte de projeto, as tecnologias de gaseificação de biomassa deverão estar disponíveis comercialmente e deverá ocorrer uma pequena penetração destes sistemas neste tipo de fábrica.

■ Projeções da intensidade energética da indústria brasileira de papel e celulose

No setor industrial de uma forma geral, e na indústria de papel e celulose em particular, existe uma

estreita relação entre a atividade econômica e o uso de energia. Esta relação pode ser medida pelo coeficiente de intensidade energética. O conceito de intensidade energética relaciona o consumo de energia (E) com o produto econômico do segmento industrial analisado, representado pelo seu valor adicionado (VA). O coeficiente de intensidade energética expressa a quantidade de energia associada a uma unidade de valor adicionado. Este coeficiente pode ser definido para o consumo total de energia, ou, então, para o consumo de um dado energético.

É comum se ter projeções do valor adicionado de um determinado segmento industrial, fornecidas por algum modelo macroeconômico. De posse dessas projeções da atividade econômica do segmento industrial, se forem disponíveis projeções da intensidade energética, pode-se estimar o consumo futuro de energia no ramo industrial em questão. Este procedimento, já considerado clássico, de projeção, no entanto, depara-se com um obstáculo quando a intensidade energética apresenta um comportamento cíclico de elevada amplitude e duração variável, como acontece na indústria de papel e celulose. A figura 24 ilustra este comportamento para o período 1995 - 2002. As fortes oscilações indicadas têm como origem as oscilações correspondentes no preço da celulose no mercado mundial.

Tal comportamento da intensidade energética é difícil de se modelar diretamente, preferindo-se, nestes casos, se projetar o consumo energético com base no produto do consumo energético específico pela produção física do segmento industrial, isto quando se têm produtos relativamente homogêneos, como é o caso da indústria de papel e celulose.

Utiliza-se, nesta seção, a equação (14) para se estimar a evolução futura da intensidade energética da indústria de papel e celulose no País, a partir das projeções do consumo energético específico (E/PF), baseadas em estimativas da produção física do produto final desta indústria (PF), e de projeções do valor unitário desta produção (VA/PF).

$$\frac{E}{VA} = \frac{\frac{E}{PF}}{\frac{VA}{PF}} \quad (14)$$

■ Conclusão

Segundo dados divulgados pela Bracelpa, em 2003 aproximadamente 50% do consumo de eletricidade da indústria de papel e celulose é suprido por geração própria. De acordo com as projeções realizadas neste trabalho, a eletricidade gerada nas próprias fábricas poderá atender a cerca de 65% do consumo até 2015, de acordo com um cenário tendencial de produção para as empresas de papel e celulose. Segundo previsões feitas pela Bracelpa, a eletricidade autoproduzida pela indústria de papel e celulose deverá corresponder, a médio prazo, a cerca de 60 a 70% da eletricidade consumida no setor, de uma forma geral, as fábricas de celulose deverão produzir de 80 a 85% da eletricidade consumida por elas, as fábricas integradas irão gerar de 50 a 60% das suas necessidades de eletricidade e, por último, as fábricas de papel irão produzir aproximadamente 10% da sua demanda de energia elétrica, projeções estas aderentes às realizadas neste trabalho.

Tolmasquim e Szklo (2000) projetaram a matriz energética da indústria brasileira de papel e celulose, com base em previsões da evolução de sua produção física. Eles construíram três cenários de projeção, baseados no crescimento do PIB do País e do setor industrial, denominados cenários otimista, tendencial e pessimista. Em cada cenário, a divisão da produção total entre papel e celulose é diferente ao longo do horizonte de projeção. Dá-se, no trabalho, um maior peso relativo à produção de papel, em relação à produção de celulose. O mix da produção de papel baseia-se, aparentemente, na série histórica disponível para os autores.

Tolmasquim e Szklo consideram a indústria de papel e celulose como um todo, enquanto que, nesta tese, além de considerá-la como um todo, o segmento industrial em questão também é desagregado por tipo de planta. A razão disso é que esta indústria apresenta uma descontinuidade tecnológica bastante grande e um perfil altamente heterogêneo. A análise por tipo de planta, neste caso, tem como objetivo minimizar estas distorções, aliada ao fato de que a autoprodução de eletricidade é mais forte em determinados tipos de planta do que em outros, favorecendo uma análise mais requintada deste segmento industrial.

Uma outra diferença, de caráter analítico, é que, neste trabalho, enxerga-se a perspectiva de uma maior participação da produção de celulose em relação à de

papel, visto a sua importância em termos de mercado internacional, sem contar a consideração do produto final do setor, que muda toda a estrutura de análise e previsões.

Estas diferenças estruturais produzem sensíveis diferenças nas projeções de produção física e, conseqüentemente, nas projeções de consumo de energia.

Do ponto de vista das projeções do consumo de energia, este trabalho considera a hipótese da penetração do gás natural para produção de eletricidade, enquanto que, em seu trabalho, Tolmasquim e Szklo consideram a penetração do gás natural em substituição ao óleo combustível somente para a produção de calor de processo. Neste aspecto, este trabalho vai mais além, pois, a partir do momento em que se considera o uso do gás natural para geração de eletricidade, projeta-se também a penetração de novas tecnologias, principalmente as que envolvem turbinas a gás, na indústria de papel e celulose.

■ Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, J. L. R. H., *Modelos de Energia para o Planejamento*, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular da COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, setembro de 1988.
- 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.
- BAJAY, S. V., *A indústria de papel e celulose: Seu consumo energético, por usos finais e tipos de plantas, evolução tecnológica e perspectivas de conservação de energia*. In: Congresso Latino-Americano sobre Geração e Transmissão de Energia Elétrica, 3. Campos de Jordão, SP, 1997. *Anais*, v. 2. UNESP, Guaratinguetá, SP, Brasil, p. 699-704.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, BEN 2004 (ano base 2003) e anos anteriores.
- BERNI, M. D. & BAJAY, S. V. *Fibras secundárias e a sustentabilidade energética e ambiental da indústria de papel*. In: Congresso Brasileiro de Energia, 9. Rio de Janeiro, 2002. *Anais*, v. 1. COPPE/UFRJ, Clube de Engenharia e SBPE, Rio de Janeiro, p. 246-52.
- BNDES, 2000. *A década de 90 - Mercado nacional de papéis*. Relatório setorial bndes. Área de operações industriais 2. novembro de 2000. Disponível em 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.
- 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.
- MACEDO, A.R.P., JUVENIL, T.L, MATTOS, R.G. *O setor de celulose e papel no Brasil*. ABTCP Guia de compras celulose e papel. 4ª ed., São Paulo, 2002.
- OLIVEIRA e BAJAY (2004). *Projeções da penetração do gás natural no setor residencial brasileiro utilizando curvas logísticas*. Trabalho apresentado no XI CBE, Rio de Janeiro, 2004, 13p.
- 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.
- SZKLO, A.S. *Tendências de desenvolvimento da cogeração a gás natural no Brasil*. Tese de doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, fevereiro de 2001.
- TOLMASQUIN, M.T. e 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.
- 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.