



06 a 10 de Outubro de 2008  
Olinda - PE

**Nome do Trabalho Técnico**

**O SETOR DE PAPEL E CELULOSE COMO EXPORTADOR DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA OUTROS SETORES – “POTENCIAL TEÓRICO DE CONTRIBUIÇÃO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONSIDERANDO DIFERENTES TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO UTILIZANDO A LIXÍVIA COMO BIOCOMBUSTÍVEL”**

<b>José Ap. Cavalcante</b>	<b>Fabíola Pacheco</b>	<b>Paulo B H Dolzan</b>
<b>CPFL Paulista</b>	<b>Unicamp</b>	<b>Unicamp</b>
cavalcante@cpfl.com.br	fpacheco0212@uol.com.br	paulobhd@terra.com.br

**PALAVRAS CHAVE:**

Papel, Celulose, Energia, Biocombustível, Lixívia.

**DADOS DA EMPRESA:**

Nome: Companhia Paulista de Força e Luz  
Endereço: Rod. Mogi Mirim km 2,5, 1755  
Telefone/fax: 19-37568382  
E-mail: cavalcante@cpfl.com.br

**RESUMO**

Uma avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir da lixívia, utilizando-se modelos econométricos de projeção, foi realizada com os objetivos de: estudar o funcionamento do modelo e seus resultados; e estimar os potenciais técnico, econômico e de mercado, para diferentes níveis de eficiência na geração desta energia. Foram encontradas distorções de natureza da qualidade das séries históricas e dos tratamentos dados, e causadas pelas incorretas projeções dos valores futuros das variáveis independentes que alimentaram as equações modeladas. Os valores líquidos (superávit) encontrados para o cenário inferior do potencial de mercado para o ano de 2005 (turbina a vapor de contrapressão – 10% de eficiência), foram de 3.550 GWh ( 400MW), e para o cenário superior do potencial técnico e econômico para o mesmo ano, de 77.468 GWh (8,8 GW).

**1. OBJETIVOS**

1.1. Introdução

A geração de energia elétrica no Brasil, historicamente, tem sido associada às grandes hidrelétricas. Contudo, com a saída do setor público do papel de investidor e gerador, criou-se ao mesmo tempo um vácuo e uma oportunidade para a iniciativa privada. No início do Programa de Privatização e de Regulamentação do Setor Elétrico, o setor privado investiu não somente em construção de novas usinas hidrelétricas, como também em termelétricas para autogeração/co-geração, visando seu consumo próprio e venda para o Sistema/Rede. Houve inclusive um programa de incentivo à geração através de fontes alternativas, que oportunizava fixação de tarifas mais competitivas e financiamentos

por parte do BNDES. Porém, as tarifas para a fonte biomassa (a redor de R\$ 95/MWh) foram consideradas muito baixas, não alcançando a meta fixada de 1.100 MW de Potencia instalada.

Contudo, após os primeiros Leilões de Energia, decorrentes da implantação do novo Marco Regulatório do Setor Elétrico, as expectativas de continuidade destes investimentos, foram frustradas. Os preços praticados no primeiro destes leilões, em dezembro de 2004, para a chamada “energia velha”, estiveram ao redor de R\$ 67,33/MWh para energia disponível a partir de 2006. No segundo leilão, realizado em abril de 2005, a energia disponível para 2008, foi cotada em R\$ 83,13/MWh, valor ligeiramente superior mas que mesmo assim, limitou a venda de energia à apenas 23% da necessidade dos contratos. Estes valores impactam, principalmente, os autoprodutores que têm duas razões para não investir em tecnologias mais eficientes de geração: podem comprar o que precisam por preços mais baixos; e precisariam vender seus superávits a preços demasiadamente baixos e possivelmente não rentáveis.

Entretanto, com o fim da chamada energia velha (já amortizada), e da energia já existente mas ainda sem contrato (“botox”), são esperados preços pouco ou menos atrativos para os autoprodutores, como os do Setor de Papel e Celulose, pelo lado da energia que terão de comprar (Decreto no. 4.667, de 04 de abril de 2003) e, mais atrativos pelo lado do excedente que possam ter para vender. O Decreto acima dispõe sobre na tarifa de energia elétrica, chegando a zero em 2007.

Além disso, a expectativa de redução de custos de investimento calcada na estabilidade econômica, e alguma forma de benefício advindo: Geração Distribuída (próxima ao consumo), e da geração de Energia Limpa (CERs, Redução de Impostos ou outros subsídios “verdes”) poderão impulsionar os investimentos na direção de tecnologias de geração mais eficientes, e que gerem superávit passível de exportação para outros setores.

Neste sentido, este trabalho pretende analisar o comportamento deste setor, projetando produção e demanda de energia elétrica sob diferentes padrões de eficiência e consumo específico, decorrentes da adoção de novas tecnologias, para determinar o excedente do setor sob determinadas circunstâncias. O Potencial técnico e econômico é avaliado adotando-se inclusive, valores de eficiência de algumas tecnologias ainda não passíveis de serem implantados, com o intuito de revelarem a magnitude deste potencial de energia renovável. O Potencial de mercado de outras tecnologias já disponíveis em escala comercial, também é avaliado.

Estas avaliações são feitas usando-se Modelos Econométricos de Projeção de Tendência com Múltiplas Variáveis, através do pacote estatístico ANOVA, contido no programa computacional “Excel”, cuja pertinência para esta análise também é comentada.

## 1.2. Revisão Bibliográfica

### 1.2.1. Projeção e Análise Estatística

As séries históricas estatísticas apresentam problemas de confiabilidade nos países em desenvolvimento (Walter, 2005).

Walter (1987. p.20), cita que pelos problemas pela características dos dados acima comentada, a adaptação de modelos de projeção se torna mais difícil, principalmente depois de 1973. Após este período, segundo o mesmo autor, aumentou a complexidade dos elementos relevantes as estas análises, fato que vem requerendo utilização de técnicas de modelagem mais elaboradas.

Para o Setor de Papel e Celulose, os principais energéticos hoje utilizados, contemplam lixívia, resíduos florestais, eletricidade e gás natural, ente último se juntando aos primeiros na substituição dos óleos combustíveis pesados. Em 1987, a lenha e os óleos pesados, juntamente com a eletricidade, compunham o rol para sub-setor industrial (Walter, 1987. p.34).

Milone (2004. p.267), reconhece na Teoria dos Ajustamentos, ou Análise de Regressão e Correlação, um método que possibilita prever valores e relações com boa precisão quando para duas ou mais variáveis.

### 1.2.2. Potencial Técnico, Econômico e de Mercado, e Eficiência na Conversão Energética

A avaliação de Potenciais é de suma importância para o planejamento energético, sinalizando o caminho sobre o qual políticas de desenvolvimento devem centrar sua atenção, evitando sub e/ou sobre-estimativas que poderiam redundar em impactos sociais e econômicos negativos (Walter, 2005). Avaliações de potenciais termodinâmicos são mais raras mas mesmo assim ocorrem, a exemplo do efetuado por Tolmasquim et al. (2001), referido por Barbelli (2003. p. 83), que avaliou o potencial termodinâmico total para co-geração do setor de papel e celulose para o ano de 1998 em 7,83 GW. Também em Barbelli (2003), Skzlo e Tolmasquim (2001), estimaram um potencial técnico do setor industrial para co-geração, de 12,5 GW para o ano de 1998, embora já tendo o conhecimento que em 2000, este potencial não excedesse 2,0 GW.

CENBIO (2004), efetuou avaliação de potencial técnico de geração para o Setor Sucro-Alcooleiro em 2001, o que mostrou estar a disponibilização de energia excedente pelas usinas em apenas, 3,4 % do potencial técnico possível para o país naquela mesma data.

Macedo (2002), estima em 3GW o excedente de energia elétrica passível de ser gerada com tecnologias comerciais, e de 5 GW (bagaço + palha), pelo uso de não comerciais, como a gaseificação. Macedo (2001. p. 6), aponta que o potencial do setor de papel e celulose, das plantas chamadas integradas, seria de 900 a 1000 MW, com melhoria nas eficiências de geração, principalmente por aumento na pressão do vapor produzido.

Berni, Bajay & Athayde (1996), observam que a geração de eletricidade a partir de lixívia, de 1985 até 1994, não acompanhou a produção desta fonte de biomassa devido a falta de uma política de preços consistente para os combustíveis fósseis que por receberem subsídios cruzados, eram mais competitivos que a lixívia, por exemplo, fato este que está se alterando, em função de uma política de preços mais realística, principalmente em relação aos óleos combustíveis pesados.

Bajay, Berni & Lima (2004), ressaltam que basicamente, a produção de eletricidade do setor de papel e celulose advém de co-geração de ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, ou, mais raramente de extração-condensação, na sua maioria de baixo rendimento, podendo ser substancialmente melhorada pelo uso da tecnologia BIG-GT.

Barbelli (2003. p. 74-84), também destaca a baixa eficiência na produção de eletricidade dos sistemas de co-geração com caldeiras de alta pressão e turbinas a vapor de contrapressão na indústria de Papel e Celulose, estimando uma eficiência na eletrogeração de 10% para tal tecnologia, 25%; para turbinas de extração/condensação, e 40% para turbinas ciclo combinado de turbinas a gás e a vapor de extração/condensação.

Walter (1994), traça seis “configurações tecnológicas” para cogeração termoeletrica no Setor Sucro-Alcooleiro, em que analisa a viabilidade técnico econômica e de mercado para alguns e técnico econômica para outros de sistemas similares aos descritos acima por Barbelli (2003), com resultados também similares.

Berni & Bajay (1997), consideram uma eficiência na geração elétrica de 40% para plantas de co-geração com uso de tecnologia BIG-GT, com gaseificadores de leito fluidizado.

Larson & Consonni (1997), admitem uma eficiência na geração de energia elétrica de até 41,8% para ciclos combinados usando gaseificadores de biomassa do tipo “air-blow” operando com lixívia.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Escolha da Metodologia

Foram utilizados para estas avaliações, Modelos Econométricos de Projeção de Tendência com Múltiplas Variáveis, através do pacote estatístico ANOVA, contido no programa computacional “Excel”.

### 2.2. Formulação Teórica

2.2.1. Produção de lixívia no setor de Papel e Celulose no Brasil

$$Q_{pf} = Q_{pf} ( Pfs, Va, Fbcf ), \text{ onde:}$$

$Pfs$  : Produção física do setor

$Va$  : Pib do Setor (Valor adicionado bruto ao preço básico)

$Fbcf$  : Formação bruta de capital fixo

2.2.2. Produção teórica de energia elétrica gerada pela utilização de lixívia no setor sob três níveis de eficiência assumidos.

$$Q_{tei} = Q_{tei} ( Pfs, Pei, Pel ), \text{ (obtida sob determinado nível de tecnologia empregado / eficiência: } i = 10, 25 \text{ e } 40\% \text{ ), onde:}$$

$Pfs$  : Produção física do setor

$Pei$  : preço da eletricidade industrial

2.2.3. Demanda de Energia Elétrica pelo Setor de Papel e Celulose

$$Q_{des} = Q_{des} ( Pfs, Pei, Ceee ), \text{ onde:}$$

$Pfs$  : Produção física do setor

$Pei$  : Preço da eletricidade industrial

$Ceee$ : Consumo específico de energia elétrica

2.2.4. Contribuição Líquida de Energia Elétrica do Setor de Papel e Celulose

$$Q_{eli} = Q_{tei} - Q_{des}, \text{ onde:}$$

$Q_{tei}$  : Produção teórica de energia elétrica (i=10, 25 e 40%)

$Q_{des}$  : Demanda de energia elétrica do setor

### 2.3. Coleta de Dados

As fontes de dados utilizadas são descritas abaixo, com seus endereços de acesso.

- Formação Bruta de Capital Fixo e Exportação: IBGE- Sistema de Contas Nacionais. ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br))
- Ativo Imobilizado: IBGE - Pesquisa industrial Anual (PIA). ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br))
- Produção de lixívia: MME –Balanço Energético Nacional 2004. ([www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br))
- Valor Adicionado Bruto a Preço Básico do Setor de Papel e Celulose: IBGE – Contas Nacionais – Matriz Insumo Produto – tabela 2. ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br))
- Produção Física, Valor da Tarifa e Consumo Energético do Setor de Papel e Celulose: MME – Balanço Energético Nacional 2004. ([www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br))
- Deflatores setorial da indústria: IBGE – ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br))
- Câmbio médio para conversão de dólar a para Real: Fundação Getúlio Vargas.
- Lixívia convertida em EE – Bracelpa em Barbeli (2003)

## 2.4. Cálculos

### 2.4.1. Passos do tratamento dos dados, e depois dos cálculos

Todos os valores monetários em reais correntes com base em 2002 foram convertidos para reais constantes utilizando deflator setorial da indústria.

A projeção da produção de lixívia foi realizada a partir do modelo/equação obtida a partir dos coeficientes resultantes da análise do pacote ANOVA, do programa Excel. Para efetuar o teste a variável dependente foi a produção de lixívia e as variáveis explanatórias foram Produção Física da Indústria de Papel e Celulose, Valor Adicionado (bruto à preço básico) e Formação Bruta de Capital Fixo. O primeiro passo foi ajustar uma equação, resultante da correlação das variáveis explanatórias, que explicasse o comportamento da variável dependente para a série histórica do passado (dados medidos). Aqui foram encontrados uma série de inconsistências, como por exemplo em relação à variável que indicava a taxa de transformação de lixívia em energia elétrica medida pela indústria de celulose e integradas, que teve que ser eliminada do cálculo de produção de energia. A variável preço do gás natural, também foi eliminada do cálculo da demanda, por não apresentar consistência nem discernimento.

O segundo passo, a projeção futura, utiliza estas equações para projetar o comportamento das variáveis dependentes para o futuro. Mas para que isto aconteça é necessário que as variáveis explanatórias também sejam projetadas para o futuro, no nosso caso para até 2015. Para este fim foi utilizadas equações polinomiais, obtidas através do pacote matemático do programa Excel, no grau de melhor ajuste (correlação) à tendência da série histórica destas variáveis explanatórias. Obtida a equação tendencial das variáveis explanatórias estas foram projetadas até 2015. Após, as mesmas foram utilizadas para realizar a projeção da variável dependente com a equação resultante da regressão (ANOVA).

Na Projeção do Potencial de Produção de energia elétrica para tecnologias com diferentes eficiências de conversão, a metodologia foi a mesma seguida para a projeção de produção de lixívia. A variável dependente, neste caso, foi o potencial de produção de energia elétrica e as variáveis explanatórias utilizadas foram produção física da Indústria de Papel e Celulose e preço da Eletricidade Industrial (já convertidos em reais/ton). As variáveis explanatórias foram projetadas para futuro usando equações polinomiais como acima descrito. Neste caso, o potencial de produção de energia elétrico utilizado foi a produção de lixívia, transformada para MWh, com base no conteúdo calórico utilizando valores de Berni, Bajay e Athayde (1996) de um PCI de 2.100Kcal/kg, multiplicada pela eficiência da tecnologia de conversão (10%, 25% e 40%), que correspondem às tecnologias que utilizam respectivamente: caldeiras de baixa pressão e turbinas à vapor de contrapressão; caldeiras de alta pressão e turbinas de extração/condensação, e por último ciclo combinado de turbina à biogás e turbina à vapor; obtendo assim, o potencial de produção de energia elétrica que seria teoricamente “medido” (série de produção histórica de lixívia do passado), se estas tecnologias estivessem implantadas. Depois, com a obtenção da equação do comportamento do potencial hipotético de produção de EE pelo método de regressão, este foi efetuada a projeção para o futuro.

Na Projeção do Consumo de Energia Elétrica da Indústria de Papel e Celulose. Novamente o método utilizado é o mesmo para todas as projeções. Neste caso a variável dependente foi o consumo de energia elétrica pelo setor e as variáveis explanatórias foram preços da eletricidade industrial, produção física da indústria de papel e celulose e consumo específico de energia elétrica. Tanto o comportamento da variável dependente quanto das variáveis explanatórias, foram delineados da mesma forma acima descrita.

### 2.4.2. Fórmulas de tendência das variáveis individuais explanatórias, e uma tabela com os valores de 2005, 2010 e 2015.

#### a) Projeção da Produção de Lixívia

Equações:

i) Variável dependente (ANOVA):

$$y = -5995,73914 x (1,135189 * X1) x (-0,00010752 * X2) x (0,01222219 * X3)$$

ii) Variáveis Explanatórias:

**Produção física (X1):**  $y = 4,9164x^4 - 98,947x^3 + 676,22x^2 - 1253,1x + 12196$  ( $R^2 = 0,9939$ )

Valor Adicionado (Bruto à preço básico)(X2):  $y = 37839x^2 + 449091x + 1E+07$  ( $R^2 = 0,6775$ )

Formação Bruta de Capital Fixo (X3):  $y = 51,686x^5 - 1570,3x^4 + 17636x^3 - 88386x^2 + 183743x - 5617,7$  ( $R^2 = 0,9085$ )

b) Projeção do Potencial de Produção de energia elétrica para tecnologias com diferentes eficiências de conversão

Equações:

b.1) Eficiência de Conversão de 40%

i) Variável dependente (ANOVA):

$$y = -21986,83 x (4,565412 * \text{Variável X 1}) x (2,67101 * \text{Variável X 2})$$

ii) Variáveis Explanatórias:

**Produção física (X1):**  $y = 4,9164x^4 - 98,947x^3 + 676,22x^2 - 1253,1x + 12196$  ( $R^2 = 0,9939$ )

**Preço da Eletricidade Industrial (X2):**  $y = -0,2049x^3 + 6,4647x^2 - 25,697x + 1275,5$  ( $R^2 = 0,9166$ )

b.2) Eficiência de Conversão de 25%

i) Variável dependente (ANOVA):

$$y = -13741,8 x (2,853383 * X 1) x (1,669381 * X 2)$$

ii) Variáveis Explanatórias:

**Produção Física (X1):**  $y = 4,9164x^4 - 98,947x^3 + 676,22x^2 - 1253,1x + 12196$  ( $R^2 = 0,9939$ )

**Preço da Eletricidade Industrial (X2):**  $y = -0,2049x^3 + 6,4647x^2 - 25,697x + 1275,5$  ( $R^2 = 0,9166$ )

b.3) Eficiência de Conversão de 10%

i) Variável dependente (ANOVA):

$$y = -5496,71 x (1,141353 * X1) x (0,667752 * X2)$$

ii) Variáveis Explanatórias:

**Produção Física (X1):**  $y = 4,9164x^4 - 98,947x^3 + 676,22x^2 - 1253,1x + 12196$  ( $R^2 = 0,9939$ )

**Preço da Eletricidade Industrial (X2):**  $y = -0,2049x^3 + 6,4647x^2 - 25,697x + 1275,5$  ( $R^2 = 0,9166$ )

c) Projeção do Consumo de Energia Elétrica da Indústria de Papel e Celulose.

i) Variável dependente (ANOVA):

$$y = -1011,5871 x (-0,0077667 * X 1) x (0,07043706 * X 2) x (14497,2969 * X 3)$$

ii) Variáveis Explanatórias:

**Preço da Eletricidade Industrial (X1):**  $y = -0,2049x^3 + 6,4647x^2 - 25,697x + 1275,5$  ( $R^2 = 0,9166$ )

**Produção física (X2):**  $y = 4,9164x^4 - 98,947x^3 + 676,22x^2 - 1253,1x + 12196$  ( $R^2 = 0,9939$ )

**Consumo específico de energia elétrica:**  $y = -0,0002x + 0,072$  ( $R^2 = 0,2417$ )

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Projeção da Produção de Lixívia – Figura 01

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,99651658
R-Quadrado	0,99304529
R-quadrado ajustado	0,98956794
Erro padrão	185,92344
Observações	10

  

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	29614853,2	9871617,72	285,574901	7,33921E-07
Resíduo	6	207405,154	34567,5256		
Total	9	29822258,3			

  

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	-5995,73914	1403,0261	-4,2734338	0,00524326	-9428,822835	-2562,655443
Variável X 1(Prod.Física)	1,135189	0,08409256	13,49928	1,0245E-05	0,929421767	1,340956224
Variável X 2(Valor Adic.Bruto)	-0,00010752	4,2978E-05	-2,501742	0,04641871	-0,000212683	-2,35641E-06
Variável X 3(F.Cap.Fixo)	0,01222219	0,00807216	1,51411576	0,1807678	-0,007529697	0,031974076

O Ajuste obtido nesta projeção foi bom (0,9965), com altos valores para de F e baixos para o F de significação. O coeficiente da variável Produção Física, mostrou-se positivo/direto (Milone, 2004), e portanto consistente, e as os valores estatísticos t e P se indicaram ser a variável discernível. O Valor Adicionado Bruto mostrou-se negativo/indireto e portanto inconsistente, com a influência esperada no comportamento de variável independente, além de possuir um baixo valor numérico, fato que explica uma a baixa influência sobre o comportamento da V.Dependente. Não obstante, a análise estatística e de probabilidade, mostram também sua inconsistência. Uma provável causa deste comportamento é a dispersão desuniforme destes valores, que tem como provável causa as mudanças no faturamento do setor provocadas pelas grandes variações cambiais no período estudado, já que as exportações são muitas para o mesmo. Contudo, quando esta variável foi eliminada, ocorreu o agravamento na qualidade estatística da variável Formação de Capital Fixo, que embora apresente consistência, possui erro relativamente alto ( t baixo) e somente seria discernível admitindo a probabilidade de 18% de erro, que é muito alta. Assim, a mesma foi mantida. A introdução de variáveis mudas (dummy) não apresentou discernimento.

#### 3.2. Projeção do Potencial de Produção de energia elétrica para tecnologias com diferentes eficiências de conversão

##### 3.2.1. Potencial Técnico, Econômico e de Mercado – caldeiras de baixa pressão e turbinas a vapor do tipo contrapressão (eficiência: 10%) – Figura 02

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,99596
R-Quadrado	0,991937
R-quadrado ajustado	0,989633
Erro padrão	219,3918
Observações	10

  

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	41448399,33	20724199,66	430,563243	4,70763E-08
Resíduo	7	336929,3596	48132,76565		
Total	9	41785328,69			

  

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	-5496,708	736,7008168	-7,461248424	0,00014186	-7238,72718	-3754,688437
Variável X 1(P.Física)	1,141353	0,039101262	29,18967452	1,426E-08	1,048893389	1,233812842
Variável X 2(Preço Elet Ind.)	0,667752	0,288498082	2,314582061	0,05382227	-0,014436588	1,34994156

### 3.2.2. Potencial Técnico, Econômico e de Mercado – caldeiras de alta pressão e turbinas à vapor do tipo extração/condensação (eficiência: 25%) – Figura 03

#### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,99596
R-Quadrado	0,991937
R-quadrado ajustado	0,989633
Erro padrão	548,4795
Observações	10

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	259052496	129526248	430,5632428	4,70763E-08
Resíduo	7	2105808,5	300829,785		
Total	9	261158304			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	-13741,77	1841,75204	-7,4612484	0,000141864	-18096,81795	-9386,721093
Variável X 1(Prod.Física)	2,853383	0,09775316	29,1896745	1,42598E-08	2,622233473	3,084532106
Variável X 2(Preço Elet Ind)	1,669381	0,72124521	2,31458206	0,053822266	-0,03609147	3,374853901

### 3.2.3. Potencial Técnico e Econômico – Gaseificadores de biomassa, turbinas à gás, combinadas com recuperadores de calor dos gases de exaustão/produção de vapor e acionamento de turbinas à vapor do tipo extração/condensação (eficiência: 40%) – Figura 04

#### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,995960169
R-Quadrado	0,991936659
R-quadrado ajustado	0,989632847
Erro padrão	877,5672342
Observações	10

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	2	663174389,3	331587194,6	430,5632428
Resíduo	7	5390869,753	770124,2505	
Total	9	668565259		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>
Interseção	-21986,83123	2946,803267	-7,461248424	0,000141864	-15018,75375	-28954,90872
Variável X 1(Prod.Física)	4,565412463	0,156405049	29,18967452	1,42598E-08	4,935251369	4,195573556
Variável X 2(Preço Elet Ind)	2,6711009945	1,15399233	2,314582061	0,053822266	5,399766242	-0,057746352

O Ajuste verificado para estas análises foram todos bons, ( $R = 0,9959$ ), da mesma forma a estatística F e F de significação. As duas variáveis se mostraram consistentes com a influência esperada sobre a variável dependente, com erros (desvio) relativamente baixos (t) e discerníveis a níveis de 5% de probabilidade (P).

Foi eliminada da formulação teórica a variável explicativa que media a taxa de conversão de lixo em energia elétrica medida pelo setor no período, que embora apresentasse uma lógica causal, não se mostrou consistente. Da mesma forma foi eliminado o preço do gás natural, potencial substituto. Talvez o volume consumido de gás natural fosse melhor variável. A variável, óleos combustíveis pesados, pela relação indireta que poderia proporcionar também teria sido uma boa opção, e não foi usada.



### 3.3. Projeção do Consumo de Energia Elétrica da Indústria de Papel e Celulose - Figura 05

#### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo		0,999827048				
R-Quadrado		0,999654125				
R-quadrado ajustado		0,999481188				
Erro padrão		2,851170316				
Observações		10				

  

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	140970,5659	46990,18863	5780,439586	9,05E-11
Resíduo	6	48,77503303	8,129172172		
Total	9	141019,3409			

  

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	-1011,587084	58,65273949	-17,24705603	2,43356E-06	-1155,105273	-868,068896
Variável X 1(Preço Elet)	-0,007766653	0,004060249	-1,912851634	0,104294732	-0,017701731	0,002168424
Variável X 2(Prod. Física)	0,070437057	0,000572959	122,9355328	1,95338E-11	0,069035075	0,071839039
Variável X 3(Cons.Espec.El.)	14497,2969	798,2906113	18,16042516	1,79469E-06	12543,94871	16450,64509

O Ajuste encontrado é considerado ótimo ( $R= 0,9998$ ), da mesma que os valores para  $F$  e  $F$  de significação ( $5780,4$  e  $9E-11$ , respectivamente). Todas as variáveis dependentes estão se apresentando consistentes. A variável preço da eletricidade está apresentando um erro (desvio) medianamente alto e uma probabilidade aceitável quase em nível de 90 % (10%). Contudo, a variável Consumo específico possui um coeficiente exageradamente alto em relação aos demais, e discernibilidade (coeficientes estatísticos) também exageradamente melhores que os demais. Isto refere a uma situação de dependência entre ela e a variável independente, onde esta estaria explicando quase que sozinha o comportamento da dependente, o que mereceria atenção.

Os resultados abaixo demonstram pelo lado das projeções estatístico matemáticas, utilizadas para modelagem deste modelo de projeção econométrico, que os valores aumentaram exageradamente a partir de 2005, muito acima das previsões de crescimento para o setor de papel e celulose (2-6% aa) previstos pela Bracelpa, bem como acima de previsões de crescimento da economia como um todo, e portanto devem ser desconsiderados. Como a base de dados contempla medições até 2003, uma provável razão para esta distorção esteja nos valores que alimentaram as equações das variáveis dependentes. Estes valores foram projetados com base em equações de graus 2 até 4, e que crescem em escala não consistente com o crescimento da economia. Isto reflete em crescimentos exagerados também dos Potencias Projetados. Uma solução alternativa para este seria a de projetar as variáveis dependentes com base em equações lineares, mesmo com a redução na qualidade do ajuste, além é claro do tratamento mais apropriado e da qualidade da base de dados.

Aspectos como a sobrevalorização do real após seu lançamento em 1994, da sua desvalorização em início de 1999, depois com novamente a sua desvalorização no segundo semestre de 2003, somados ao efeito da restrição de oferta de energia elétrica em 2001 (apagão) e ao realinhamento de tarifas elétricas e preços de substitutos energéticos; requerem tratamento de dados bastante mais trabalhosos e específicos.

A tendência de crescimento da produção e faturamento do setor de papel e celulose depois puxada pela alta do dólar e 2003, iniciada quando do baixo nível ocorrido em 2001, puxa a projeção no final do período para cima de forma exponencial, o que provoca distorção nos valores estimados, mesmo com boa correlação.

**Figura 06** – Contribuição teórica de energia elétrica do setor de papel e celulose gerada pela lixívia

	2005			2010			2015		
	Qte 10	Qte 25	Qte 40	Qte 10	Qte 25	Qte 40	Qte 10	Qte 25	Qte 40
<b>Qtei</b>	24.639	61.599	98.558	122.120	305.300	488.480	463.595	1.158.988	1.854.381
<b>Qdes</b>	21.089	21.089	21.089	92.038	92.038	92.038	341.345	341.345	341.345
<b>Qeli</b>	3.550	40.509	77.468	30.082	213.261	396.441	122.250	817.643	1.513.036

1. Qteli : Produção Teórica de Energia Elétrica GWh  
 2. Qdes (Demanda Eletrica do Setor) GWh  
 3. Qtli (Contrib. Liquida Energ. Eletr ) GWh

Qte 10: TECNOLOGIA ATUAL - TURBINA VAPOR CONTRAPRESSÃO  
 Qte 25: TECNOLOGIA EM IMPLANTAÇÃO EM ALGUMAS PLANTAS - TURBINA DE EXTRAÇÃO/CONDENSAÇÃO  
 Qte 40: TECNOLOGIA DE PONTA - EXISTENTE EM PLANTAS PILOTO - GASEIFICADORES/TURBINAS A GÁS E VAPOR - EXTR/CONDENSAÇÃO

A Figura 07, abaixo, revela a geração de energia elétrica medida pela lixívia para o ano 2000 como sendo de apenas 9,9 % do potencial técnico econômico (teórico) projetado para utilização de todo seu consumo para geração prioritária de eletricidade, a uma eficiência de 40%. Para o ano de 2005, este valor seria de 6,3 % . Em relação aos potenciais de mercado das tecnologias que utilizam turbinas de contrapressão (10% eficiência) e das de extração/condensação (25% eficiência), para o ano de 2000, a produção observada estaria em aproximadamente 40% e 16%, mostrando que mesmo em relação as tecnologias disponíveis no mercado ainda havia muito a se melhorar. Os números de 2005 mostram a mesma tendência.

**Figura 07** – Comparativo entre valores observados de produção de energia elétrica gerada pela transformação de lixívia, projeções teóricas do máximo gerado sob diferentes níveis tecnológicos e de eficiência para os anos de 2002 e 2005.

Ano Base	EE Gerada Lixívia		Qtel 10		Qtel 25		Qtel 40	
	GWh	(% a	GWh	(% a	GWh	(% a	GWh	(% a
2000 b	4.770	9,9	12.097	25,0	30.244	62,5	48.391	100,0
2005 c	6.222	6,3	24.639	25,0	61.598	62,5	98.557	100,0
Tx anual cresc. (%)	5,5		15,3		15,3		15,3	

- a.) percentual de geração observado em relação as diferentes tecnologias teoricamente projetadas  
 b) Para EE Lixívia – valores da Bracelpa; para os demais valores dos cálculos deste trabalho  
 c) Para EE Lixívia – valores projetados a partir de suas medições em 2000; para os demais idem acima

Os resultados constantes da Fig. 06 mais acima, mostram para um cenário inferior de potencial de mercado líquido para o setor, um valor de 3.550 GWh, equivalentes a aproximadamente 400MW de potencia instalada, disponíveis para a venda depois de atendida toda demanda do setor. O valor bruto para este cenário seria de 24.639 MWh, equivalentes a aproximadamente 2,8 GW de potencia instalada. O cenário de eficiência de 25%, é pode ser considerado potencial de mercado, pois as tecnologias já são comerciais e poderia render em 2005, 40.509 GWh líquidos ( 4,62 GW). Para o cenário de potencial técnico-econômico, ainda teórico, a geração líquida do setor seria para 2005, 77.468 GWh (8,84 GW), que indicam quanto na verdade o setor teria de superávit se a tecnologia em questão já estivesse implantada, ou quanto ela é atrativa para ser perseguida.

#### 4. CONCLUSÕES

- 4.1. A qualidade do tratamento dada a dados históricos com problemas de qualidade e quantidade, obtidos, bem como seu tratamento, podem implicar na retirada de variáveis dependentes importantes para a o resultado que se quer obter;
- 4.2. Os valores de ajuste obtidos nem sempre determinam a qualidade da modelagem, devendo ser estudada a flexibilização dos mesmos em prol da consistência da análise como um todo;
- 4.3. As economias ainda não estabilizadas e seus reflexos na variação do câmbio e das atividades econômicas, conferem ao estudo uma complexidade ainda maior, exigindo análise de períodos específicos de forma separada;
- 4.4. A utilização de equações polinomiais para projeção de valores de variáveis independentes, a despeito do bom ajuste, pode causar distorções, principalmente para projeções de longo prazo, pelo fato do forte crescimento dos indicadores das variáveis considerados neste estudo nos últimos 4 anos;
- 4.5. Os valores encontrados foram de 3.550 GW (400MW) de potência instalada para 2005, considerando o Potencial de Mercado inferior com turbinas a vapor de contrapressão (eficiência 10%), 40.509 GWh (4,6 GW) considerando o Potencial de mercado Superior com turbinas a vapor de extração/condensação (eficiência 25%), de geração líquida a partir da lixívia.
- 4.6. O valor teórico encontrado para 2005 considerando um Potencial Técnico e Econômico superior, com tecnologia de ciclo combinado de turbinas a biogás e vapor, foi de 77.468 GWh (8,84 GW).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F. G. e COELHO, S. T. “Utilização de Resíduos Agro-Industriais no Setor de Papel e Celulose”, ENE 5726 – Biomassa Como Fonte de Energia, USP, São Paulo, 2002, pp. 28-30 e 38.
2. 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”, Anais do 3º Congresso Latino-Americano sobre Geração e transmissão de Energia Elétrica, vol. 2. Guaratinguetá: UNESP, 1997, pp. 699-704.
3. BARBELI, M. Produção e Consumo de energia na indústria de papel e celulose: passado recente e perspectivas futuras. Tese de doutorado em planejamento de sistemas energéticos, FEM, UNICAMP, Campinas, 2003.
4. BERNI, M. D. e BAJAY, S. V. “ Gasification technologies and the Brazilian potential for the production of eletricity from wood and forest wastes”, Proceedings of the 4th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, vol. 2. Porto: INFUB, 1997, pp. 125-35.
5. BERNI, M. D.; BAJAY, S. V. e ATHAYDE, M. A. P. “The potential of the black liquor and forestry residues for the generation of electricity and the corresponding environmental impacts

in the Brazilian pulp and paper industry”, Proceeding of the World Renewable Energy congress, vol. 3. Oxford: Elsevier Science, 1996, pp. 1970-73.

6. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa “Levantamento Real de Cogeração de Excedentes no Setor Sucro-Alcooleiro”, São Paulo-SP, 2001
7. FARLA, J.; BLOK K. e SCHIPPER, L. “Energy efficiency developments in the pulp and paper industry”, A cross-country comparison using physical production data, vol. 25. Nº 7-9. Energy Policy: Elsevier Science, 1997, pp. 745-758.
8. LARSON, E. D. e CONSONNI, S. “Performance of Black Liquor Gasifier/Gás Turbine Combined Cycle Cogeneration in the Kraft Pulp and Paper Industry”. Making a Business from Biomass (1997).
9. MACEDO, I. C. “Energia da Cana de Açúcar no Brasil”. UNICAMP, Campinas, SP, 2002, pp. 03.
10. MACEDO, I. C. “Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento”. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Ctenerg, 2001, pp. 06.
11. NOGUEIRA, L. A. H. e LORA, E. E. S. “Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações”, 2ª edição, Rio de Janeiro, 2003, pp. ....
12. VÉLÁZQUEZ, S. M. S. G. “A Cogeração no Setor de Papel e Celulose como Contribuição à Oferta de Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado. PIPGE. USP, São Paulo, 2000.
13. WALTER, A. C. S. “ Impactos dos Programas de Conservação na Demanda Energética Industrial do Estado de São Paulo”, Tese de Mestrado Parte 1, W171i, Pt.1, BAE/8030, UNICAMP, Campinas, 1987, pp. 19-36.
14. WALTER, A. C. S. “ Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucro-Alcooleiro”, Tese de Doutorado, W171v, BAE/23581, UNICAMP, Campinas, 1994.
15. WALTER, A. C. S. “Material Didático de Aula”, Disciplina Demanda e Conservação de Energéticos - PE 103. Curso Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 2005.
16. WALTER, A. C. S. “A Biomassa Moderna e a Geração Distribuída no Brasil. Fóruns Permanentes de Energia e Ambiente – Universalização do Atendimento de Energia Elétrica Distribuída, UNICAMP, Campinas, 2004.