



A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira

Nivalde José de Castro

Sidnei Martini

Roberto Brandão

Guilherme de A. Dantas

Raul R. Timponi

V Seminário de Geração e Desenvolvimento Sustentável
Fundación MAPFRE
25 de agosto de 2009

A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira

Nivalde José de Castro¹

Sidnei Martini²

Roberto Brandão³

Guilherme de A. Dantas⁴

Raul R. Timponi⁵

Introdução

Com uma participação superior a 80% de recursos hídricos em sua matriz elétrica, o Brasil possui uma oferta de energia elétrica ímpar comparada apenas a um restrito grupo de países, entre os quais, Noruega, Venezuela e Canadá, como mostra a Tabela 1. Este perfil hídrico do parque gerador garante a oferta de eletricidade a preços competitivos e com reduzida emissão de gases impactantes no efeito estufa. Neste sentido, enquanto para grande parte dos países, a formulação e execução de políticas de fomento a fontes alternativas e renováveis de geração de energia elétrica são relevantes e estratégicas, no Brasil, aparentemente, tal relevância não caberia, pois o país detém grande potencial

¹ Professor da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da UFRJ.

² Professor da Escola Politécnica da USP e Pesquisador Associado do GESEL/IE/UFRJ

³ Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

⁴ Doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

⁵ Mestrando do Instituto de Economia da UFRJ e Pesquisador do GESEL/IE/UFRJ.

hídrico a ser explorado e ter nível de emissão de CO₂ bem abaixo da média mundial.

Tabela 1
Participação da Geração Hídrica no Total
da Geração Elétrica de Países Seleccionados 2006

Países 10 Primeiros	% hidro no Total Oferta
Noruega	98,5
Brasil	83,2
Venezuela	72,0
Canadá	58,0
Suécia	43,1
Rússia	17,6
Índia	15,3
China	15,2
Japão	8,7
EUA	7,4
Resto do Mundo	14,3
Média Mundo	16,4

Fonte: IEA (2008)

De acordo com CASTRO et al. (2009), embora ainda existam mais de 150.000 MW potenciais de energia hidrelétrica a serem explorados, a expansão do parque hídrico brasileiro, baseado em grandes e médios empreendimentos, vem sofrendo, gradativamente, restrições crescentes na esfera da legislação ambiental. Por outro

lado, e este é um fato relevante, a expansão da capacidade instalada via usinas hidroelétricas terá como condição de base do sistema elétrico brasileiro, uma contrapartida obrigatória e necessária, com a complementação por outras fontes de energia, conforme será descrito ao longo deste estudo. Esta condição de base é que justifica os estudos sobre o potencial, viabilidade econômica e ampliação da participação das fontes alternativas e renováveis na matriz elétrica brasileira.

Neste sentido, a questão que se coloca para a política energética é examinar os possíveis e melhores cenários focando: qual a complementação mais eficiente para o parque hidroelétrico brasileiro. O ingente potencial de fontes alternativas e renováveis de energia elétrica a serem exploradas no Brasil as colocam como uma das principais alternativas de complementação à geração hídrica, especialmente ao se considerar que algumas destas fontes possuem uma intrínseca complementaridade com a sazonalidade do regime pluvial.

Este texto está dividido em quatro partes, além da presente introdução. Inicialmente analisa-se a evolução do parque hídrico brasileiro para um sistema hidrotérmico e a conseqüente necessidade de inserção de outras fontes de energia na matriz elétrica brasileira. A segunda parte é dedicada ao exame das principais fontes alternativas e renováveis: pequenas centrais hidrelétricas (PCH), bioeletricidade sucroenergética e a energia eólica. A terceira parte é dedicada ao estudo das necessidades de inserção destas fontes na matriz brasileira e a competitividade das mesmas. Por último são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

1 – A Evolução do Parque Hídrico Brasileiro

A matriz elétrica brasileira está assentada em bases hídricas. Nos últimos anos, a geração hídrica foi responsável por aproximadamente 90% da geração de energia elétrica. Os dados da Tabela 2 ilustram o atual perfil hídrico do setor elétrico brasileiro que garante a geração de energia a preços competitivos e reduzida intensidade de emissão de dióxido de carbono⁶.

Tabela 2
Parque Gerador Brasileiro

Tipo	Quantidade	Potência outorgada (kW)	Potência fiscalizada (kW)	%
CGH	227	120.009	146.922	0,11
EOL	17	272.650	289.150	0,26
PCH	320	2.399.598	2.381.419	2,29
SOL	1	20	20	0
UHE	159	74.632.627	74.851.831	71,20
UTE	1.042	25.383.920	22.585.522	24,22
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,92
Total	1.768	104.815.824	102.261.864	100,0

Fonte: Aneel (2008).

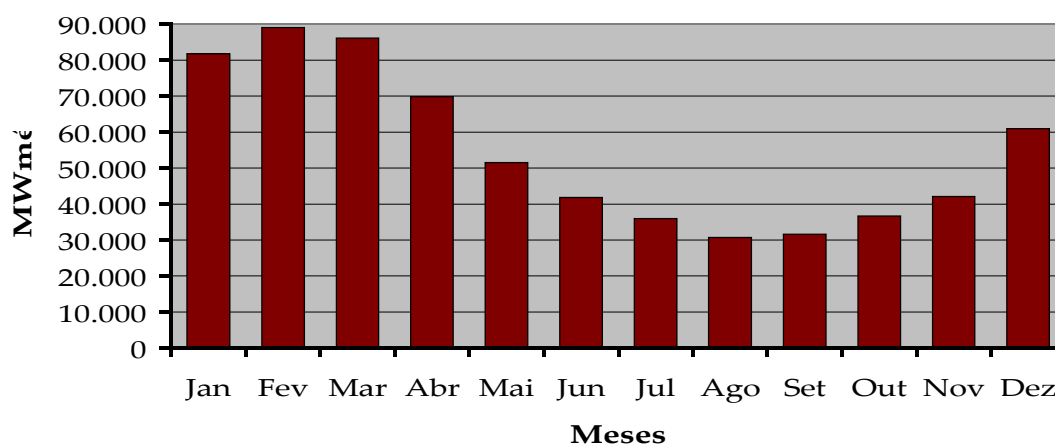
O fato relevante desta participação hídrica no sistema elétrico brasileiro é que a mesma ocorre concomitantemente a uma considerável irregularidade no regime pluvial, caracterizado por uma forte sazonalidade. Este comportamento sazonal é ilustrado no Gráfico 1 onde se verifica que no mês de fevereiro a Energia Natural Afluyente (ENA)⁷ ultrapassa os 89 mil MWmed em contraste com a ENA em torno

⁶ As emissões de CO₂ por tep da matriz elétrica brasileira são de 1,57 em contraste com o valor de 2,36 verificado na matriz energética mundial. A hidroeletricidade é juntamente com a utilização do etanol em larga escala uma das responsáveis pela reduzida intensidade de carbono da matriz brasileira.

⁷ Energia hídrica que corre pelos rios com fins energéticos.

de 30 mil MWmed no mês de setembro⁸. Outro dado significativo é a comparação entre a ENA média e a carga. Enquanto a ENA no período seco da estação das chuvas, compreendido entre maio e novembro, é da ordem de 38 mil MWmed, a carga do Sistema Interligado Nacional em 2008 se situou em torno de 51 mil MWmed.

Gráfico 1
Energia Natural Afluyente: média histórica.
Inclui todos os subsistemas do SIN (configuração de 2008)



Fonte: Site do ONS (www.ons.org.br). Dados elaborados pelo GESEL/IE/UFRJ a partir do banco de dados histórico da operação em 2008.

Com tais características somadas ao objetivo de aproveitar o potencial hidráulico brasileiro sem estar sujeito às incertezas e volatilidade impostas pelo regime de afluências, o parque hídrico foi construído com grandes reservatórios capazes de estocar água no período úmido, que são convertidos em energia elétrica no período seco. Esta energia potencial da água dos reservatórios é denominada Energia Armazenada e permite a regularização da geração hidrelétrica ao longo de todo o ano.

⁸ Estes números incluem apenas os rios que já possuem aproveitamento hidroelétrico.

Segundo dados da EPE – Empresa de Pesquisa Energética – o atual parque hidrelétrico brasileiro instalado representa cerca de 30% do potencial hidrelétrico do país. Porém, o potencial remanescente encontra-se essencialmente na Região Norte do Brasil, que por ser uma extensa área de planície, impede a construção de grandes reservatórios. Soma-se a esta restrição física, a imposição de uma rígida legislação ambiental a partir da Constituição de 1988. Como resultado, existe uma grande dificuldade para construção de novas hidroelétricas que, mesmo sendo licenciadas, terão características de usinas a fio d’água, pelas restrições físicas e ambientais mencionadas, como se pode constatar nos dois empreendimentos do Rio Madeira recentemente licitados. Belo Monte, Tapajós e outros seguirão a mesma tendência. Logo, um corolário imediato dessas limitações é a redução da capacidade de regularização da geração.

Devido ao menor impacto ambiental em termos de área alagada, a construção de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH) constitui-se em um importante instrumento na exploração dos recursos hídricos do país. A exploração do potencial hídrico através da construção de PCH é uma estratégia importante para autoprodutores de energia elétrica. Entretanto, em termos do sistema elétrico como um todo, a necessidade de complementação descrita no parágrafo anterior permanece válida devido à reduzida escala de geração das PCH.

Esta crescente restrição de atender a carga no período seco impõe ao sistema elétrico brasileiro o desafio de complementar o parque hídrico com usinas que tenham a vocação para operarem na base do sistema durante o período seco. Atualmente esta complementação ocorre através de usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis, na maioria dos casos com elevado custo variável unitário (CVU). Estas usinas foram contratadas para servirem como “*backup*” do sistema,

apresentando, segundo os modelos matemáticos, uma probabilidade média baixa de serem despachadas no ano. No entanto, a evolução da matriz elétrica brasileira para uma matriz hidrotérmica, conforme assinalado anteriormente, exigirá um período de despacho dessas térmicas certamente maior do que a média estimada, sobretudo no período seco, o que acarretaria um impacto sobre o nível de preços da energia no Brasil não previsto.

Nestes termos, pode-se afirmar que a competitividade da energia elétrica brasileira requer que a complementação do parque hídrico brasileiro ocorra através de usinas que de fato tenham vocação para operarem na base, pelo menos sazonalmente. Dentre as opções economicamente existentes hoje, destacam-se:

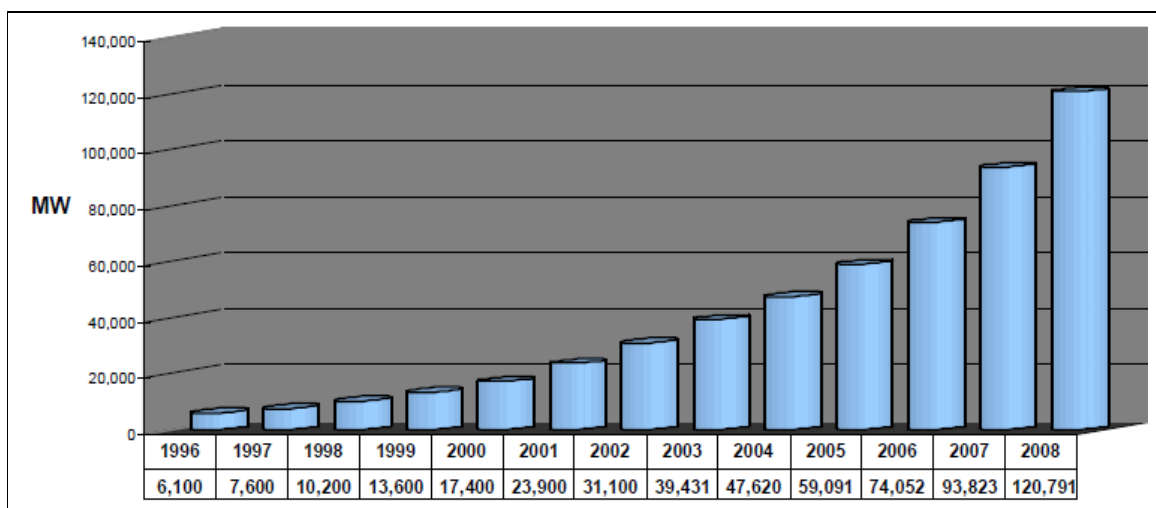
- i. Bioeletricidade Sucroenergética;
- ii. Energia Eólica;
- iii. Térmicas com baixo CVU;
- iv. Térmicas Inflexíveis.

Em linha com a hipótese central deste estudo, a bioeletricidade, energia eólica e PCH's se constituem no foco analítico a ser discutido na seqüência, por serem, na avaliação dos autores, as que apresentam maiores condições econômicas e maiores externalidades positivas ao sistema elétrico. Desta forma, a próxima parte deste trabalho examinará estas fontes alternativas e renováveis de energia elétrica no Brasil de maneira individualizada.

2 – Fontes Alternativas e Renováveis de Geração de Energia Elétrica no Brasil: benefícios, potencial e vocação

O mundo vive atualmente um grande “boom” das fontes de geração renováveis no setor de energia elétrica. Como ilustração, a potência instalada mundial de energia eólica aumentou de 17.400 MW instalados para 120.000 MW no período compreendido entre 2000 e 2008, como pode ser constatado através do Gráfico 2. A principal causa dos maciços investimentos em energia renovável é a necessidade de se garantir a segurança do suprimento sujeito às restrições impostas pela necessidade de se mitigar o aquecimento global (DANTAS, 2008).

Gráfico 2 –
Evolução da Potência Instalada de Energia Eólica no Mundo. 1996 – 2008
(em MW)



Fonte: GWEC (2009).

Na ótica dos países desenvolvidos, os maiores custos destas tecnologias são mais do que compensados pela segurança do suprimento e a redução das emissões dos

gases do efeito estufa, onde a maior parte desses países assumiu compromissos formais de redução. Cabe frisar que estes investimentos, ao diversificarem a matriz energética, por si só já contribuem para o aumento da segurança energética. Isto se dá, sobretudo se for considerada a dependência que a maior parte destes países tem da importação de combustíveis fósseis de regiões com grande instabilidade geopolítica. A invasão do Iraque é um exemplo bastante elucidativo da instabilidade e da busca de controle destas regiões. Logo, verifica-se nos últimos anos a adoção de políticas de promoção e incentivo às fontes renováveis nos países desenvolvidos, com relativo sucesso. Um exemplo deste processo é Projeto Desertec, recém anunciado por empresas alemãs, que pretende explorar a energia solar no deserto do Saara, transportando-a até a Europa. O projeto atinge o impressionante volume de investimento estimado de € 555 bilhões e conseguirá suprir, até 2050, 15% das necessidades de energia elétrica da Europa.

No Brasil, a abundância de recursos hídricos a serem explorados somada à disponibilidade de outras fontes de energia, como por exemplo, o gás natural, relegou a um segundo plano a necessidade de se desenvolver e promover outras fontes renováveis de energia elétrica. Contudo, a redução da capacidade de geração hídrica, discutida na seção anterior, traz à tona a necessidade de se debater a importância de quais fontes de geração complementares a geração hídrica deverão ser empregadas na expansão da matriz elétrica brasileira nos próximos anos. Esta discussão ainda se torna mais relevante diante a necessidade brasileira de manter sua matriz energética com reduzida intensidade de carbono, para que suas emissões de gases impactantes no efeito estufa não atinjam níveis insustentáveis⁹.

⁹ A matriz energética brasileira possui uma participação de 45% de fontes renováveis de energia em contraste com a média mundial de 12%. Logo, possui reduzida emissão de gases do efeito estufa.

Desta forma, nota-se que o desafio brasileiro é manter a oferta de energia elétrica com caráter limpo, renovável e competitivo. No entanto, conforme será visto posteriormente neste estudo, o Brasil possui plenas condições de responder a esta questão de maneira satisfatória, sobretudo porque são justamente as usinas termoelétricas movidas a combustíveis fósseis que potencialmente se constituem no maior risco à competitividade da energia elétrica brasileira.

Na análise de cada uma das fontes alternativas e renováveis de energia elétrica no Brasil serão utilizados como parâmetros qualitativos os benefícios, o potencial e a sua respectiva vocação com o objetivo de embasar o argumento que será apresentado na terceira seção deste estudo.

2.1 – Pequenas Centrais Hidroelétricas¹⁰

A expansão da oferta de energia elétrica de origem hídrica na matriz brasileira apresenta sérias limitações, como foi examinado anteriormente. Entretanto, as restrições são menores no caso de projetos de pequeno porte. Desta forma, o desenvolvimento de PCH se constitui em um importante mecanismo de exploração do potencial hidroelétrico, mas com uma reduzida capacidade de dar solução estratégica e estrutural ao sistema elétrico, dada a dimensão de escala e dinâmica de expansão da carga.

Porém, o desmatamento coloca o Brasil na condição de um dos maiores emissores de gases do efeito estufa.

¹⁰ Usinas hídricas com potência instalada inferior a 30 MW.

2.1.1 – Vantagens e Características

A geração de energia elétrica das PCH apresenta as vantagens típicas de empreendimentos hídricos: energia limpa gerada a preços competitivos. Uma vantagem adicional destes projetos em comparação com projetos hídricos de grande porte é o menor tempo necessário para construção, o que permite uma expansão rápida da capacidade de geração. Além destas vantagens, é importante ressaltar que a indústria nacional de bens de capital é capaz de fornecer os equipamentos necessários para a construção de uma PCH. E que há um padrão de financiamento bem definido e estruturado, apoiado nas linhas de financiamento do BNDES, capaz de atender toda a demanda deste segmento produtivo.

O fator de emissão de gases impactantes no efeito estufa de uma usina hidrelétrica se situa na ordem de 20 g por KWh gerado, se considerando todo o ciclo de vida da usina. Por sua vez, uma usina térmica emite entre 600 g e 1200 g por KWh dependendo do combustível fóssil utilizado. Neste sentido, em uma conjuntura onde a mitigação da emissão de gases do efeito estufa é uma medida imperiosa, o investimento em projetos de PCH está alinhado com os objetivos delineados pela esfera ambiental em uma visão mais ampla.

Em termos de competitividade as PCH, assim como projetos hídricos de forma genérica, são projetos que se caracterizam como de capital intensivo e reduzido custo marginal de operação. Além disso, estes projetos possuem uma longa vida útil. Portanto, suas condições de base garantem a oferta a preços competitivos quando comparados a empreendimentos térmicos. Cabe frisar, que devido à menor escala destes projetos, os mesmos possuem um custo médio de geração

nitidamente superior aos grandes projetos hídricos. Segundo estimativas mais recentes, enquanto o custo de investimento do KW instalado de uma usina hídrica de grande porte está na ordem de R\$ 2.500, o custo de investimento de uma PCH é superior a R\$ 4.000 por KW instalado.

2.1.2 – Potencial

De acordo com dados publicados pela Aneel, atualmente existem 346 usinas PCH em operação, totalizando uma potência instalada de aproximadamente 2.800 MW. A este montante, somam-se 70 empreendimentos em construção com potência de 1.000 MW. Ao se comparar a soma da capacidade instalada dos projetos em operação e aqueles em construção com o potencial brasileiro de 7.300 MW nota-se um razoável potencial a ser explorado, mas claramente insuficiente para atender à dinâmica de expansão da carga brasileira.

2.1.3 – Vocação

Dividindo a potência total das PCH em operação pelo número de PCH existentes se obtém a potência média em MW muito baixa. Desta forma, percebe-se a reduzida capacidade destes empreendimentos e a limitada contribuição que os mesmos podem dar à dinâmica de expansão do sistema elétrico brasileiro como um todo. Como ilustração, apenas a Usina de Santo Antônio e a Usina de Jirau no Rio Madeira vão possuir juntas uma capacidade instalada mais de duas vezes superior a potência total das PCH brasileiras existentes.

Estas evidências empíricas indicam que a vocação mais promissora para as PCH's, no sistema elétrico brasileiro, é direcionar sua oferta para o ACL – Ambiente de

Contratação Livre, comumente denominado por mercado livre. E neste ambiente de mercado, destaca-se a expansão da capacidade de geração dos autoprodutores. Investimentos deste tipo são atraentes para o produtor e para o consumidor. Para o consumidor, fica com garantia de suprimento de oferta de energia com preços relativamente competitivos e sem exposição às oscilações de preços no mercado livre, oscilações determinadas no curto prazo pelo PLD e no médio prazo pelas perspectivas da demanda e oferta de energia elétrica. Por isso, a alternativa é a busca de contratos com maior duração firmados entre as PCHs e os consumidores livres. Para o produtor, esta modalidade também garante mais segurança ao empreendimento. Ao firmarem contratos de maior duração, atende-se a uma exigência para obter financiamento junto ao BNDES. O contrato é uma peça importante e chave na configuração da garantia para o empréstimo.

2.2 – Bioeletricidade Sucroenergética

Os estudos realizados pelo GESEL-UFRJ indicam que a bioeletricidade sucroenergética mostra-se uma das formas mais eficazes de se complementar o parque hídrico brasileiro em uma escala condizente com o seu potencial atual e futuro. Neste sentido, a eletricidade gerada nas usinas de açúcar e etanol brasileiras terá importante função na garantia da segurança do suprimento de energia a preços competitivos e com reduzida emissão de gases impactantes no efeito estufa.

2.2.1 – Vantagens e Características

A bioeletricidade sucroenergética é gerada a partir da biomassa residual do processo de produção de etanol e açúcar. Desta forma, por definição, é uma

energia renovável e eficiente, sobretudo por ser produzida através do processo de co-geração. Portanto, sua inserção deve ter um considerável grau de prioridade em uma política energética bem estruturada¹¹.

Além das vantagens inerentes a uma fonte de energia renovável gerada de maneira eficiente, a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira possui uma série de benefícios adicionais, entre os quais, destaca-se o fato de ser uma fonte de geração distribuída.

Segundo CASTRO *et al.* (2008), a região Centro-Sul do país, onde se localiza a maior parte da demanda brasileira por energia elétrica, concentra percentual superior a 80% da produção brasileira de cana de açúcar. Uma consequência imediata desta concentração é que as usinas produtoras de bioeletricidade se situam próximas ao centro de carga, logo são fontes de geração distribuída. A vantagem de se ter usinas próximas ao consumo é a menor necessidade de investimentos em linhas de transmissão e, por consequência, menores custos de transmissão, diminutos impactos ambientais nos locais onde estas linhas seriam construídas e maior eficiência do sistema elétrico devido a redução das perdas.

Somam-se às vantagens já listadas: a promoção de investimentos em bioeletricidade se constituir em fonte de geração de renda no campo; a capacidade da indústria de bens de capital nacional ofertar os equipamentos necessários e o preço da bioeletricidade contratada nos leilões estar indexada à moeda nacional. Este último aspecto contrasta com o preço da energia das usinas térmicas a

¹¹ A questão do custo será discutida na seção 3 deste estudo, onde se provará que independente de suas externalidades ambientais a bioeletricidade é extremamente competitiva desde que valorada de forma adequada.

combustível fóssil que são indexadas ao preço internacional do combustível, adicionando risco cambial.

Contudo, outro motivo que atribui mais valor à bioeletricidade como uma energia prioritária para o sistema elétrico brasileiro é sua perfeita complementaridade com o parque hídrico, como será detalhado na seção 2.2.3.

2.2.2 – Potencial

O setor sucroenergético é historicamente auto-suficiente em termos energéticos porque utiliza como insumo para a geração das energias térmica, mecânica e elétrica um subproduto da usina sucroalcooleira, o bagaço da cana de açúcar como combustível. Historicamente, o setor optou pela adoção de tecnologias de reduzida eficiência porque o objetivo era maximizar a queima do bagaço e o marco legal do setor elétrico não permitia a comercialização dos excedentes de energia elétrica que fossem gerados¹². Neste sentido, existe um *gap* histórico entre a energia gerada no setor para auto-suprimento e o potencial de geração de energia elétrica do setor.

A mudança de paradigma tecnológico, com a redução das escalas mínimas eficientes de operação e a emergência da importância da geração distribuída associada à reforma do setor elétrico no final dos anos 80, criou as condições propícias para o início da inserção da bioeletricidade sucroenergética na matriz brasileira em mais larga escala. Esta possibilidade se verificou, sobretudo quando o setor iniciou um novo e consistente ciclo expansivo, principalmente vinculado às expectativas do etanol como substituto da gasolina. Esta expansão gerou como

¹² Ver SOUZA (2003).

subproduto uma oferta de grandes montantes de bagaço de cana passíveis de serem utilizadas na bioeletricidade.

A potência instalada nas usinas sucroenergéticas ao final de 2009 deverá totalizar cerca de 4.500 MW, sendo algo em torno de 3.000 MW para auto-suprimento. Por sua vez, estimativas indicam que esta potência deverá atingir 6.500 MW ao final de 2010.

A adoção da tecnologia de extra-condensação é capaz de gerar 80 KWh excedentes por tonelada de cana processada. Esta tecnologia é completamente dominada e viável economicamente com um custo de investimento em torno de R\$ 3.000,00 por KW instalado. Contudo, tecnologias que utilizam a gaseificação da biomassa são capazes de gerar aproximadamente 270 KWh excedentes por tonelada de cana processada, entretanto, tais tecnologias ainda não são viáveis economicamente.

A outra variável relevante a ser analisada no dimensionamento do potencial de geração da bioeletricidade é a oferta disponível de biomassa. Embora o impacto da crise econômica mundial tenha sido grande sobre o setor sucroenergético, desde o início de 2000 verificou-se um ciclo expansivo motivado pela expressiva comercialização de veículos *flex fuel*, perspectivas de exportação de etanol e aumento das exportações de açúcar. KITAYMA (2008) estima o processamento de cerca de 1 bilhão de toneladas de cana de açúcar para a safra 2020/21. Além da expansão da colheita de cana, existe um fator novo que irá adicionar uma significativa quantidade de biomassa a ser utilizada como combustível: o gradativo fim da prática das queimadas na colheita de cana de açúcar¹³. A adoção da colheita

¹³ As usinas paulistas assinaram protocolo agro-ambiental com o Governo do Estado antecipando o fim da prática das queimadas para 2014. Atualmente 50% da colheita da cana já é mecanizada.

mecanizada permitirá o aproveitamento da palha como insumo energético. Ao se utilizar esta biomassa adicional em conjunto com o bagaço é possível se gerar algo em torno de 200 KWh por tonelada de cana processada se utilizada a tecnologia de extra-condensação.

Nestes termos, mesmo adotando-se duas premissas conservadoras:

- i. Tecnologia de extra-condensação;
- ii. Utilização de 75% do bagaço e 50% da palha disponível na produção de bioeletricidade.

A Tabela 3 detalha estimativas de curto, médio e longo prazo para a biomassa, indicando resultados expressivos para a matriz elétrica brasileira

Tabela 3

Estimativas do Potencial da Bioeletricidade Sucroenergética

(em milhão de ton e MWmed)

Safra	Cana (em milhões de toneladas)	Potencial de Geração (em MWmed)
2012/13	696	9.642
2015/16	829	11.484
2020/21	1038	14.379

Fonte: Elaborado por GESEL/IE/UFRJ a partir de dados da Unica.

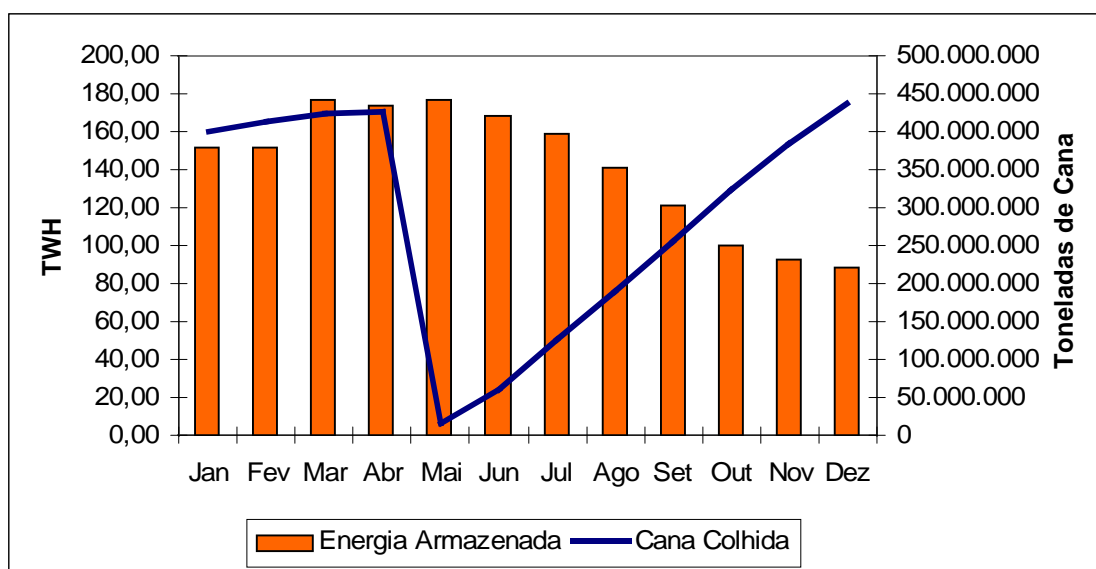
Segundo DANTAS e CASTRO (2008), uma variável que pode impactar de maneira negativa a oferta futura de bioeletricidade é o desenvolvimento tecnológico do

etanol celulósico. Com base nas perspectivas atuais para os mercados de etanol e de eletricidade, os autores adotam a premissa que os investimentos em co-geração não deverão ser restritos e sim expandidos, principalmente se forem adotadas políticas específicas, como, por exemplo, leilões de energia nova específicos como os leilões de reserva.

2.2.3 –Vocação

O período da safra sucroenergética entre abril e novembro coincide com o período seco no subsistema Centro/Sul do setor elétrico brasileiro, o qual possui 70% da capacidade de armazenamento dos reservatórios do país. Portanto, a bioeletricidade é intrinsecamente uma energia complementar à geração hídrica e aí consiste seu maior benefício para o sistema elétrico que, no entanto não está sendo devidamente precificado nos leilões de energia nova genéricos, ou seja, leilão onde concorrem múltiplas fontes.

Gráfico 4 – Safra de Cana e Energia Armazenada em 2007



Fonte: GUERRA e GOLDENBERG (2008).

Como examinado na primeira parte deste estudo, a redução da capacidade de regularização da geração hídrica exigirá a inserção de fontes de energia com vocação para operar na base, especialmente no período seco. Neste sentido, a bioeletricidade - por ter geração inflexível e custo marginal desprezível - se constitui em uma fonte de energia de grande relevância na complementação do parque hídrico. Como resultado desta importância, de acordo com o ONS, cada 1.000 MWmed de bioeletricidade inseridos na Rede Básica durante o período seco significa a poupança de 4% dos reservatórios do subsistema Centro-Sul.

Portanto, o estímulo à maior participação da bioeletricidade na matriz é uma ação de política energética importante e correta para o sistema elétrico e para a modicidade tarifária. O Operador Nacional do Sistema poderá despachar esta energia de custo baixo e absolutamente previsível no período seco de maneira inflexível, podendo assim deslocar a “pilha de usinas” e fazer com que as usinas com elevado CVU sejam despachadas o mínimo possível e possam exercer a sua real e necessária vocação: atuar como *backup* do sistema.

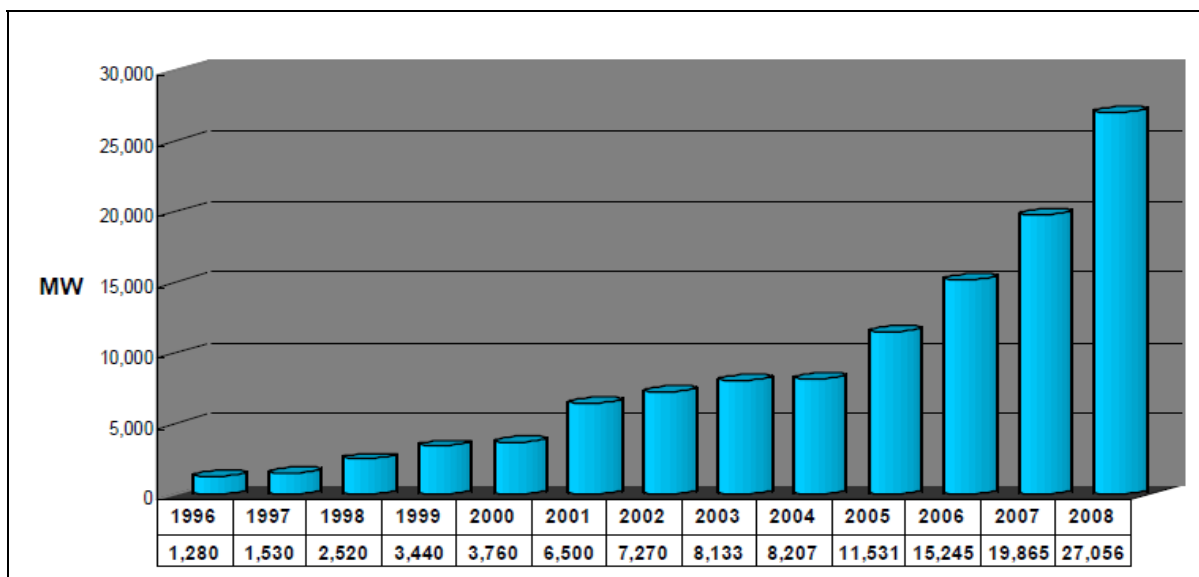
2.3 – Energia Eólica

O setor de energia eólica vive uma grande expansão no mundo nos últimos anos, atingindo a expressiva marca de 120.000 MW instalados ao fim de 2008. O Gráfico 5 apresenta os significativos incrementos de capacidade instalada nos últimos anos. Esta expansão dos investimentos ocorreu basicamente através de políticas de subsídios nos países desenvolvidos com um duplo objetivo. O mais importante é a redução da dependência do petróleo importado, quando no período de 2003 a 2008

teve uma aceleração do preço no mercado internacional. O segundo motivo relaciona-se com o aquecimento global. O Brasil, por motivos já discutidos anteriormente, não apresentou uma ampliação considerável de sua capacidade instalada, apesar de possuir um grande potencial de geração eólica. No entanto, segundo estudos do GESEL-UFRJ, a energia eólica possui características que justificam a elaboração de uma política consistente de contração por motivações totalmente distintas dos países desenvolvidos.

Gráfico 5

Incrementos de Potência no Parque Eólico Mundial. 1996-2008



Fonte: GWEC (2009).

2.3.1 – Vantagens e Características

A energia eólica possui um fator de emissão de gases impactantes no efeito estufa na mesma ordem de grandeza das usinas hídricas. Desta forma, explorar essa fonte

energética alternativa condiz com a necessidade mundial de mitigar as emissões de gases impactantes no efeito estufa. Desta forma, para o Brasil o aspecto ambiental importante no desenvolvimento da energia eólica seria manter o padrão de qualidade impar de sua matriz elétrica.

Contudo, a externalidade positiva que a energia eólica detém, e que justifica a sua maior inserção na matriz elétrica, é relacionada com a complementaridade com o parque hídrico: o regime de ventos é mais intenso justamente no período seco.

Cabe frisar que usinas eólicas, assim como as PCH, apresentam reduzido tempo de construção e menor impacto ambiental, minimizando o risco de atraso nos projetos tão comuns em projetos de grande porte, em especial projetos hidroelétricos.

Em contrapartida, a intermitência dos ventos se constitui em um aspecto negativo desta fonte de energia. Ao contrário da hidroeletricidade, que foi historicamente regularizada através da construção de grandes reservatórios, a energia eólica não é passível de ser armazenada. Porém, no caso brasileiro esta intermitência não se constitui em problema de maior importância porque a inserção da energia eólica deve ocorrer justamente na base do sistema para complementar o parque hídrico com capacidade decrescente de regularizar a geração.

2.3.2 – Potencial

As usinas atuais de energia eólica instaladas no Brasil possuem uma potência conjunta de 417 MW aos quais se somam 442 MW em usinas em construção. Estes

números são insignificantes frente ao potencial brasileiro estimado em 143.000 MW¹⁴.

De acordo com COSTA *et al.* (2009) mais da metade do potencial de geração eólica brasileira se encontra na Região Nordeste, sendo as costas cearense e potiguar aquelas que apresentam ventos mais velozes. As regiões Sudeste e Sul também apresentam significativos potenciais eólicos, conforme pode ser verificado na Figura 1. Cabe frisar, que estes dados não incluem o potencial eólico *offshore*. Estimativas preliminares indicam que apenas o litoral da Região Sudeste possui um potencial equivalente a todo o potencial eólico *onshore* do país.

¹⁴ Estes dados foram estimados com torres de 50 metros de altura. Dada a possibilidade de se utilizar torres maiores atualmente, estes dados necessitam ser revisados.

Figura 1

Potencial Eólico Brasileiro

(em GW w TWh/ano)



Fonte: Aneel (2008).

2.3.3 – Vocação

Assim como a bioeletricidade, o maior benefício da inserção da energia eólica é sua complementaridade com o parque hídrico. Neste sentido, a descrição de sua vocação é análoga àquela apresentada na seção de 2.2.3 para a bioeletricidade. Ou seja, usinas com caráter inflexível a serem despachadas na base e podem ser contratadas sob a forma de energia de reserva.

3 – Competitividade e Externalidades das Fontes Alternativas e Renováveis

As fontes alternativas e renováveis de energia elétrica possuem um maior custo de investimento em comparação com as fontes convencionais, no momento de seu desenvolvimento inicial. No entanto, a exploração de economias de escala e o caráter decrescente da curva de aprendizado reduzem este custo ao longo do tempo. Neste sentido, tratando-se de fontes de energia que contribuem para segurança energética, ao diversificarem a matriz energética, mitigarem o risco hidrológico e reduzirem as emissões de gases do efeito estufa, a intervenção do Estado em um momento inicial através de instrumentos de promoção e incentivos destas fontes de energia é inteiramente justificável e é a política adotada nos países mais desenvolvidos e na China.

No caso brasileiro, como examinado anteriormente, estas fontes tradicionalmente foram relegadas a um segundo plano devido à abundância de recursos hídricos. A geração hídrica apresenta maior competitividade devido aos efeitos de economia de escala, economia de aprendizado, tradição desta energia na cultura do setor, etc. Entretanto, e este é o ponto relevante, as usinas termoelétricas convencionais também não são competitivas, se comparadas às usinas hídricas. A discussão que se faz necessária, portanto, é quanto à competitividade relativa entre a biomassa e energia eólica versus a geração térmica convencional. Uma análise cuidadosa e minuciosa indicaria que as fontes alternativas são competitivas com as fontes fósseis, independente de suas externalidades ambientais positivas, desde que valoradas de maneira correta. Logo, mais do que se promover uma política de promoção de fontes renováveis de energia, como adotado em outros países, o foco

deve estar na escolha das fontes de energia com as características mais propícias à matriz brasileira.

Como nos Leilões de Energia Nova (LEN) a competição se dá básica e diretamente sobre o preço-teto, quando eles são realizados confrontando energias de fontes diferentes, sempre a competitividade da hidroeletricidade será maior. Esta lógica prevaleceu na configuração da metodologia do Modelo de Estruturação do setor de 2003-2004 e, conseqüentemente, nas regras do LEN, que é o principal instrumento de expansão da capacidade instalada e de busca da modicidade tarifária, conforme assinalado por CASTRO e BUENO (2007).

Um fato importante e que deve ser considerado na análise *ex post* da metodologia e regra dos LEN é que no período de elaboração do Novo Modelo de 2003, havia uma ampla oferta de energia elétrica, bem superior à carga, derivada do novo padrão de consumo que foi alterado pelo racionamento da crise de 2001.

Naquele período não se podia imaginar que a carga cresceria de maneira tão consistente, refletindo assim uma fase ímpar e sustentada de crescimento e desenvolvimento econômico que se estendeu de fins de 2003 até setembro de 2008. Além disto, as dificuldades de entendimento e adequação a uma nova e mais rigorosa legislação ambiental em conjunto com uma posição mais ideológica do Ministério do Meio Ambiente atuaram de maneira fortemente restritiva à oferta de empreendimentos hidroelétricos nos LEN.

Como empreendimentos hidroelétricos praticamente não foram inscritos nos LEN no volume exigido pelo crescimento da carga, por razões ambientais, seria de se esperar que as regras que foram concebidas para a competição nos leilões

favorecessem os empreendimentos vinculados a energias alternativas e renováveis. No entanto, esta possibilidade não se concretizou, pois estas regras acabaram beneficiando empreendimentos de usinas a óleo.

Como explicar este paradoxo? A explicação está na metodologia do ICB – Índice de Custo Benefício – e dos cálculos da Garantia Física que favorecem os empreendimentos contratados por disponibilidade.

Em linhas bem gerais e simplificadas pode-se explicar as vantagens de usinas a óleo e gás natural nos LEN da seguinte forma: como no cálculo da probabilidade delas serem despachadas - resultante de inúmeras simulações de modelos matemáticos - mostra-se muito baixo, o custo fixo mais variável desta energia fica abaixo dos custos das outras energias, ficando mais competitivas nos leilões.

No entanto, como os contratos são por disponibilidade e a maioria das usinas apresenta uma diferença entre disponibilidade de capacidade geradora frente à Garantia Física, quando efetivamente elas são despachadas, o custo médio da energia é muito maior do que o estimado pelos cálculos matemáticos. Desta forma, estas regras tiram a competitividade de fontes alternativas e renováveis nos LEN.

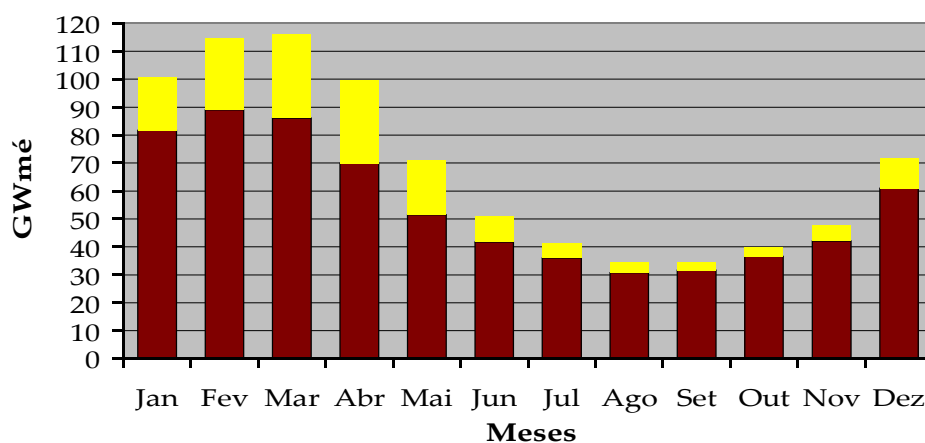
Além da perda de competitividade para biomassa e eólica derivada das regras do LEN, há outro aspecto importante que impacta negativamente a competitividade destas fontes. Trata-se da não precificação de externalidades que a biomassa e eólica detém em função de serem despachada no período seco da estação das chuvas: de abril-maio a novembro.

A explicação destas vantagens competitivas está diretamente associada às características estruturais do setor elétrico brasileiro que tem como base a hidroeletricidade. A partir do que foi analisando anteriormente, a utilização do potencial hidroelétrico das novas usinas terá uma característica importante: a predominância de usinas do tipo fio d'água. Desta forma, a cada nova grande usina construída na região Norte, a diferença de volume de Energia Natural Afluyente entre os meses de pico de chuva e piso de seca irão aumentar. O Gráfico 6 construído com base nos dados estimados de inclusão de 30 GW segundo o padrão do regime hídrico da bacia de Tocantins procura demonstrar este argumento.

Gráfico 6

**Evolução da Energia Natural Afluyente Incluindo 30 GW novas hidroelétricas
com regime hídrico semelhante ao do Tocantins**

(em GWmé)

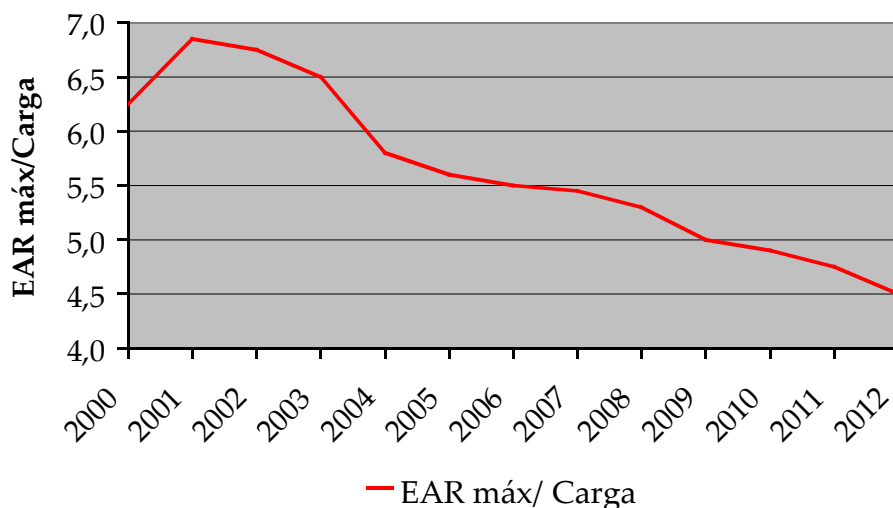


Fonte: Site do ONS (www.ons.org.br). Dados elaborados a partir do banco de dados histórico da operação em 2008. A distribuição sazonal da ENA de novas hidroelétricas reproduz o padrão atual da região Norte.

As diferenças dos acréscimos em amarelo entre os meses de março e agosto atestam claramente que o sistema elétrico brasileiro terá muito mais energia disponível no período úmido do que no período seco. Desta nova tendência pode-se deduzir que a capacidade de regularização dos reservatórios ficará cada vez mais restrita dado que a carga irá aumentar, mas o volume dos reservatórios, medido pela Energia Armazenada, não. O Gráfico 7 apresenta dados sobre esta tendência declinante.

Gráfico 7

**Evolução da capacidade de regularização dos reservatórios
EAR Máxima Brasil sobre carga do SIN**



Fonte: Chipp, Hermes. *Procedimentos Operativos para Assegurar o Suprimento Energético do SIN*. Apresentação no GESEL-IE-UFRJ, Rio de Janeiro, 9 de julho 2008.

A conclusão que se chega tendo em vista a superação dos problemas derivados destas tendências inexoráveis é a seguinte: o sistema elétrico brasileiro está

evoluindo rapidamente de uma base hidroelétrica, com parque gerador térmico operando como uma reserva, como *backup*, para um sistema hidrotérmico, onde o parque térmico terá que despachar na base, durante o período seco. Neste sentido, usinas com custos variáveis baixos, que possam operar inflexíveis durante o período seco têm mais valor econômico. Isto porque além de terem custos menores, ao despacharem economizam os reservatórios, a Energia Armazenada, justamente no período em que os reservatórios são depreciados.

Em parte a não visualização destas vantagens e sua inclusão na metodologia e regras dos leilões deve-se ao fato destas formulações terem sido realizadas quando esta evolução do sistema elétrico não era percebida, num momento em que havia uma sobra abundante de energia (2003-2004) e acreditava-se que o ritmo de construção de novas usinas hidroelétricas que se manteve praticamente estagnado em toda década de 90, seria retomado rapidamente.

No entanto, o resultado é que estas duas fontes nobres de energia elétrica, em especial a biomassa sucroenergética, conforme foi assinalado anteriormente, por estar localizada no centro de carga e estar diretamente associada à outra atividade econômica com grande potencial de expansão, não tem conseguido romper as barreiras de uma competição desigual e pouco eficiente para a nova realidade do sistema elétrico brasileiro.

Conclusão

A impossibilidade de se construir novos grandes reservatórios vem reduzindo gradativamente a capacidade de regularização da geração hidrelétrica. Desta

forma, o sistema elétrico brasileiro necessitará cada vez mais de geração complementar no período seco. A forma mais adequada de se realizar esta complementação é com a inserção na matriz elétrica de fontes de geração sazonais com vocação a operarem na base, como por exemplo, a bioeletricidade e a energia eólica. As PCHs também teriam papel importante na expansão dado o conteúdo local dos ativos empregados nesse tipo de investimento e sua importante vocação como supridora de energia para o mercado livre. Somado a isso, essas três fontes alternativas de energia apresentam grande vantagem do ponto de vista ambiental, fundamental num futuro de crescente intolerância mundial às emissões de gases impactantes no efeito estufa.

Os motivos da necessidade brasileira de se inserir fontes alternativas e renováveis na matriz elétrica são distintos das motivações dos países do Norte, porém não menos importantes. A diferença essencial é que estas energias são extremamente competitivas com as fontes convencionais de geração elétrica desde que o benefício que as mesmas proporcionam ao sistema elétrico brasileiro seja corretamente dimensionado e valorado. O maior obstáculo à promoção destas fontes de energia é a atual metodologia dos LEN que não precifica adequadamente a sazonalidade da energia e o cálculo da garantia física que não mensura corretamente os benefícios para o sistema de um determinado empreendimento.

Portanto, o que se sugere é a substituição dos leilões genéricos por leilões específicos por fontes enquanto não se reformule a metodologia de cálculo das garantias físicas e não se tenha um sinal econômico da sazonalidade adequado. Eventualmente, mesmo com estas correções da metodologia, o sistema de leilão por fontes poderia ser mantido por possibilitar a execução de um planejamento energético que compatibilize segurança do suprimento com sustentabilidade

ambiental e competitividade econômica, priorizando a contratação das fontes que melhor atendam a estes objetivos.

Em suma, a matriz elétrica brasileira está passando por um processo acelerado de transição, de evolução, onde se faz cada vez mais necessário selecionar criteriosamente os empreendimentos futuros. Assim, os mecanismos de contratação via leilões devem ajustar-se às necessidades correntes da matriz, como foi aqui argumentado, se adequando às mudanças em curso e às especificidades técnico-econômicas do sistema como um todo. Nesse sentido, este trabalho procurou apresentar as bases principais para repensar a expansão do parque gerador, devendo ser consideradas para o planejamento da matriz elétrica futura do Brasil.

Referências

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3ª. Edição. Brasília, 2008.

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A; BRANDÃO, Roberto; LEITE, André Luiz da Silva. *Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro, 2008.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *Alternativas de Complementação do Parque Hídrico*. Mimeo. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

CASTRO, Nivalde José de & Bueno, Daniel. *Os Leilões de Energia Nova: vetores de crise ou de ajuste entre oferta e demanda?* Rio de Janeiro: IE-UFRJ, 18 jun 2007.

CORRÊA NETO, V; RAMON, D. *Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-Geração no Setor Sucroalcooleiro*. Setap. Brasília, 2002.

COSTA, Rafael Vale; CASOTTI, Bruna Pretti; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias. Um Panorama da Indústria de bens de Capital Relacionados à Energia Eólica. BNDES. Rio de Janeiro, 2009.

DANTAS, Guilherme de A. *O Impacto dos Créditos de Carbono na Rentabilidade da Co-geração Sucroalcooleira Brasileira*. Dissertação de Mestrado. ISEG/Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

DANTAS, Guilherme de A; CASTRO, Nivalde José de. *O Uso do Bagaço e da Palha: Bioeletricidade ou Etanol Celulósico?* In: I Workshop do INFOSUCRO sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucroalcooleira no Brasil. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

GOLDENBERG, P; GUERRA, F. *Inovação na Geração de Energia Elétrica a Partir do Bagaço de Cana*. In: I Workshop do INFOSUCRO sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucroalcooleira no Brasil. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind 2008 Report*. Bruxelas, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics*. Paris, 2008.

KITAYAMA, Onorio. *Bioeletricidade: perspectivas e desafios*. In: III Seminário Internacional do Setor de Energia Elétrica – GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

SOUZA, Z. *Geração de Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro*. Tese de Doutorado. Departamento de Eng. de Produção/Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

ERROR: syntaxerror
OFFENDING COMMAND: --nostringval--

STACK:

/Title
()
/Subject
(D:20090821192856-03'00')
/ModDate
()
/Keywords
(PDFCreator Version 0.9.5)
/Creator
(D:20090821192856-03'00')
/CreationDate
(Rodrigo)
/Author
-mark-