

IMPORTÂNCIA E PERSPECTIVAS DA BIOELETRICIDADE SUCROENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Nivalde José de Castro¹
Roberto Brandão²
Guilherme de A. Dantas³

Introdução

O Brasil tem uma matriz elétrica predominantemente hídrica o que lhe confere uma posição privilegiada em relação ao resto do mundo no que toca à sustentabilidade ambiental. A maioria dos países busca hoje o aumento da participação de fontes renováveis de energia em suas respectivas matrizes elétricas para expandir a oferta de energia e ao mesmo tempo mitigar as emissões de gases do efeito estufa.

No entanto, o perfil ímpar da matriz brasileira não significa que o Brasil não necessite promover investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia, como a bioeletricidade sucroenergética. O adequado entendimento da necessidade de inserção de fontes renováveis e alternativas na matriz brasileira passa por compreender que o modelo de geração de energia baseado em hidroelétricas com grandes reservatórios tende ao esgotamento. Os limites são dados pela atual e restritiva legislação ambiental que permite, no máximo, a construção de novas hidroelétricas sem formação de reservatórios significativos. Desta forma, a diversificação do parque gerador, sobretudo com a presença de fontes de energia complementares ao parque hídrico, é um dado concreto e irreversível na evolução do sistema elétrico brasileiro nas próximas décadas.

Frente a este processo de evolução, se faz necessário analisar quais as fontes alternativas que devem ser contratadas prioritariamente nos próximos anos.

A contratação de fontes de energia intrinsecamente complementares à geração hídrica, e que simultaneamente contribuam para a manutenção do perfil limpo da matriz elétrica brasileira é a alternativa mais estratégica para o futuro energético brasileiro. Entre estas fontes destaca-se a bioeletricidade sucroenergética, em função basicamente das seguintes qualificações:

- i. Competitividade em termos de custos,
- ii. Complementaridade sazonal com relação ao regime de chuvas,

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

² Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

³ Doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

- iii. Maturidade da indústria sucroenergética,
- iv. Contribuição na redução de emissões de gases do efeito estufa e
- v. Proximidade ao centro de carga.

O objetivo deste texto é analisar e demonstrar a importância da bioeletricidade sucroenergética para a manutenção das principais características da matriz elétrica possibilitando garantir: a segurança do suprimento; a competitividade da economia nacional; e a sustentabilidade ambiental. A bioeletricidade sucroenergética apresenta vantagens inerentes a uma fonte de energia renovável, gerada através do eficiente processo de co-geração, utilizando como insumo energético os resíduos de biomassa originados na produção de etanol e de açúcar. Por outro lado, a bioeletricidade possui vantagens adicionais para o Brasil, como a geração de renda e emprego no campo, estímulo à indústria de bens de capital e poupança de divisas (coeficiente de importação é próximo de zero, dispensando tanto a importação de equipamentos como de combustíveis).

O presente estudo texto está dividido em duas partes. A primeira delas dedica-se à análise da transição por que passa o parque gerador brasileiro e a crescente necessidade de geração complementar à hídrica. A segunda parte será centrada no exame da bioeletricidade como fonte complementar e competitiva para a matriz elétrica brasileira, além de apresentar breve análise sobre sua sustentabilidade ambiental. Por último são apresentadas as conclusões que, em linhas gerais, demonstram o elevado grau de competitividade, desde que revistos os critérios atuais de contratação de energia, e as externalidades da bioeletricidade em relação a outras fontes.

1 – A Transformação da Matriz de Geração Brasileira

Mais de 80%⁴ da capacidade instalada do parque gerador brasileiro é baseado em usinas hidroelétricas. Em termos de geração efetiva, em torno de 90% da oferta brasileira de energia elétrica provém das usinas hidroelétricas, como pode ser constatado a partir da Tabela 1. No que diz respeito à participação da hidroeletricidade na capacidade instalada total, o Brasil só perde para a Noruega, como pode ser observado na Tabela 2.

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Porcentagem	94,11	89,65	90,97	92,14	88,63	92,45	91,81	92,78	88,61

Tabela 1. Participação da Hidroeletricidade na Geração Total. 2000-2008 (em %)

Fonte: Site do ONS. Histórico da Operação.

⁴ Inclui a parte paraguaia da Usina de Itaipu.

Países	Participação da Geração Hídrica na Geração 3 Total (em %)
Noruega	98,5
Brasil	83,2
Venezuela	72
Canadá	58
Suécia	43,1
Rússia	17,6
Índia	15,3
China	15,2
Japão	8,7
EUA	7,4
Resto do Mundo	14,3
Média Mundial	16,4

Tabela 2. Participação da Geração Hídrica na Capacidade Instalada Total de Países Seleccionados. 2006 (em %)

Fonte: IEA (2008).

A preponderância da geração hídrica na matriz brasileira garante a oferta de energia elétrica a preços competitivos⁵, com reduzido grau de emissão de carbono⁶. Entretanto, é preciso entender como o parque gerador hídrico brasileiro consegue atender a um percentual tão relevante da carga mesmo estando sujeito à irregularidade do regime pluvial e à sazonalidade das afluições. O Gráfico 1 mostra o comportamento sazonal das afluições médias. Verifica-se que no mês de fevereiro a Energia Natural Afluyente (ENA)⁷ ultrapassa os 89 mil MWmed, em contraste com a ENA em torno de 30 mil MWmed no mês de setembro⁸. Outro dado relevante é a comparação entre a ENA média à carga. Enquanto a ENA no período seco, compreendido entre maio e novembro, é da ordem de 38 mil MWmed, a carga do Sistema Interligado Nacional se situa em torno de 51 mil MWmed (dados de 2008).

⁵ Competitividade ao nível da geração, conforme demonstrado nos Leilões das usinas do Rio Madeira. Os preços finais de energia elétrica no Brasil não são módicos por uma série de motivos que fogem do escopo analítico deste trabalho.

⁶ As emissões de CO₂ por tep da matriz energética 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.

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

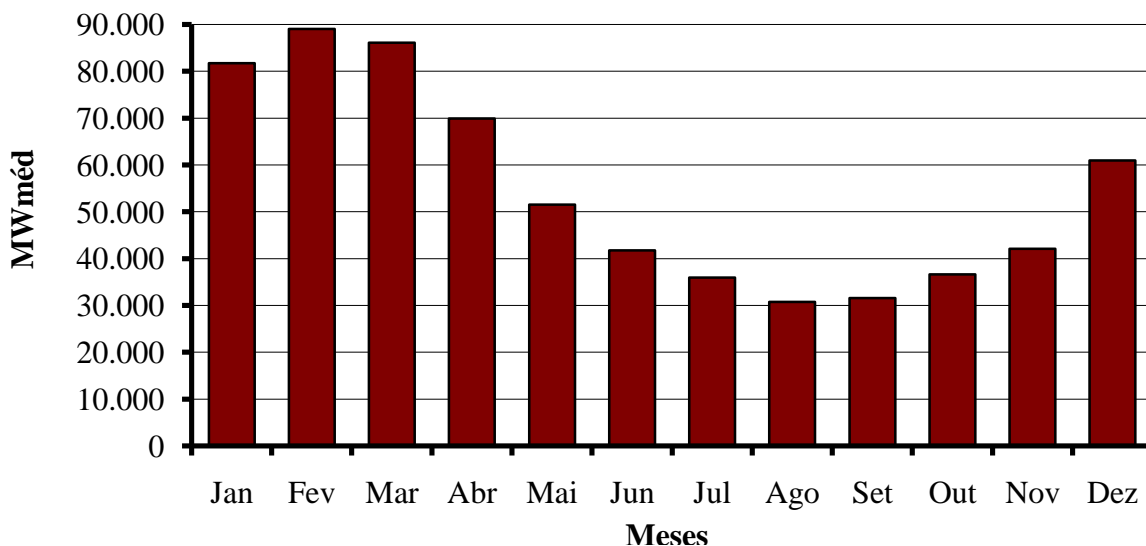


Gráfico 1. Energia Natural Afluente: média histórica. Inclui todos os subsistemas do SIN (configuração de 2008) (em MW médio)

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.

A exploração do grande potencial hidráulico brasileiro só foi possível pela construção de barragens com grandes reservatórios. As incertezas associadas ao regime de afluições foram reduzidas pela estocagem de água durante o período úmido para sua eventual conversão em energia elétrica no período seco. A energia potencial da água dos reservatórios (denominada Energia Armazenada ou EAR) permite a regularização da geração hidrelétrica ao longo de todo o ano ou mesmo em uma seqüência de anos.

Embora o Brasil tenha explorado apenas 30% do seu potencial hidroelétrico total⁹, o modelo atual de usinas com grandes reservatórios está saturado e a expansão da capacidade instalada hídrica nos próximos anos será realizada com pequenos aumentos na capacidade de estocagem de energia pelo sistema, reduzindo a capacidade de regularização da oferta de energia ao longo do ano, conforme demonstra o Gráfico 2.

⁹ O Potencial de Geração Hidroelétrica brasileira está estimado em torno de 260 GW.

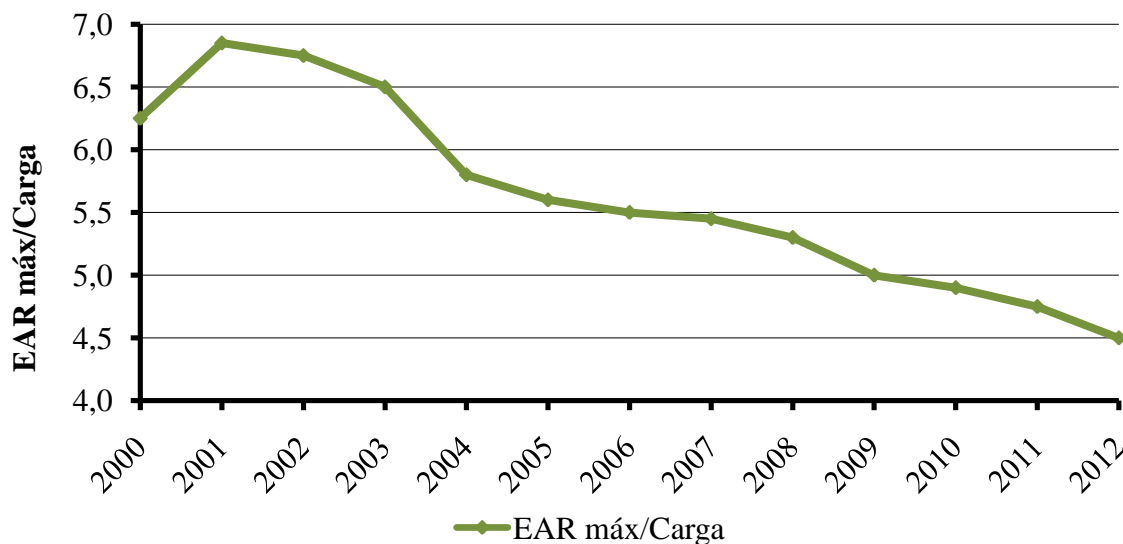


Gráfico 2. Evolução da Capacidade de Regularização dos Reservatórios. 2000-2012

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

As restrições à construção de novos reservatórios são de ordem física e ambiental. Do ponto de vista físico, as regiões de planalto do país já foram exploradas para fins de aproveitamento hidroelétrico, estando o potencial remanescente localizado essencialmente na Região Norte do país, que é uma região de planícies. Em uma região onde predomina a topografia suave, com poucos desníveis significativos, é difícil construir reservatórios de regularização. É até possível alagar grandes áreas, mas devido aos pequenos desníveis, mesmo reservatórios com grande área inundada resultam em armazenamento de energia modesto. Além disso, existem as restrições de ordem ambiental. O caráter mais rígido da legislação ambiental a partir da Constituição de 1988 dificulta a construção de novos reservatórios e até mesmo a expansão da capacidade de geração hidroelétrica.

Devido às restrições físicas e ambientais mencionadas, as usinas hidroelétricas que estão sendo construídas e planejadas terão características de usinas a fio d'água, sem reservatórios significativos. Os aproveitamentos do Rio Madeira, recentemente licitados, são emblemáticos sob este aspecto: os novos reservatórios ocupam uma área apenas um pouco maior que a área normalmente inundada na época da cheia. Belo Monte e as usinas nos rios Tapajós e Teles-Pires seguirão a mesma tendência. A consequência inevitável será a redução da capacidade de regularização das aflúências e da geração hidroelétrica.

A redução da capacidade de regularizar a oferta de energia apenas com grandes reservatórios levará a uma crescente dificuldade de atender a carga no período seco somente com energia de fonte hídrica. Isto permite afirmar que o sistema elétrico brasileiro está diante do desafio de complementar o parque hídrico com usinas com vocação para operar de forma eficiente durante o período seco. Atualmente a contratação de geração complementar ao parque hídrico vem privilegiando as termoelétricas movidas a combustíveis fósseis, na maioria dos casos com baixa eficiência energética. Tais usinas têm custos fixos baixos e custos variáveis de geração elevados. A lógica da contratação destas

usinas é para *backup* do sistema, pois se estima que elas tenham baixa probabilidade de serem despachadas. Entretanto, com a perda da capacidade de regularização dos reservatórios, a frequência de despacho destas térmicas será certamente maior do que a estimada originalmente, sobretudo durante o período seco do ano. Deixando de desempenhar o papel de simples *backup* para hidrologias críticas, o custo operacional de tais geradoras com baixa eficiência energética acabará se mostrando excessivo.

Existe uma necessidade patente de complementação ao parque hídrico brasileiro através de usinas que tenham vocação técnica e econômica para operar na base do sistema no período seco. Dentre estas alternativas de complementação do parque hidroelétrico, a que se mostra mais eficiente é a bioeletricidade sucroenergética.

2 – Características e Externalidades da Bioeletricidade Sucroenergética

Esta é a premissa que irá reger o planejamento da matriz energética no Brasil: a garantia da segurança do suprimento com sustentabilidade ambiental exigirá investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia e em processos eficientes de geração.

A bioeletricidade se enquadra nesta premissa na medida em que é uma energia gerada a partir da biomassa residual do processo de geração de etanol e de açúcar. Por utilizar um resíduo como insumo energético a bioeletricidade é, por definição, uma fonte de energia renovável, eficiente e sustentável. Trata-se de uma energia que é produzida a partir da co-geração, um processo que garante significativos incrementos de eficiência na geração de energia¹⁰. Além disso, ela é produzida em grande medida no principal centro de carga brasileiro que é o Estado de São Paulo ou em estados limítrofes, o que também contribui com a eficiência econômica e elétrica ao reduzir os custos e as perdas com a transmissão.

No entanto, estas externalidades não vem sendo devidamente e corretamente precificadas nos leilões de energia nova realizados no Brasil. Os resultados dos leilões indicam uma aparente falta de competitividade da bioeletricidade em relação a outras fontes de energia. A pretensa falta de competitividade é o resultado da metodologia de contratação dos leilões que não auferem corretamente os benefícios da bioeletricidade para o sistema elétrico brasileiro derivados da sua natural complementariedade com o parque hídrico. Portanto, a bioeletricidade sucroenergética pode, e deve, ser definida como uma fonte de energia que contribui para a segurança da oferta brasileira de energia elétrica, por diversificar a matriz e, principalmente, por ser complementar à geração hídrica. Além disso, ela é sustentável ambientalmente. Ao contrário de outras fontes de geração térmica, a bioeletricidade é neutra em carbono, o que constitui uma característica altamente desejável, mas que não tem sido devidamente valorizada nos leilões.

2.1 – O Potencial e os Custos da Bioeletricidade

De acordo com CORRÊA NETO e RAMÓN (2002), o setor sucroenergético é tradicionalmente auto-suficiente em termos energéticos, atendendo 98% de suas demandas

¹⁰ O processo de co-geração pode ser definido como a produção de energia térmica e mecânica que pode ser convertida em energia elétrica a partir de um mesmo insumo energético.

energéticas através da queima do bagaço da cana de açúcar. O processo de co-geração fornece as energias térmica, mecânica e elétrica demandadas no processo de produção de etanol e de açúcar. Contudo, tradicionalmente esta auto-suficiência é garantida por meio de processos produtivos de baixa eficiência, suficientes para gerar estritamente a quantidade de energia necessária para o auto-suprimento da usina.

Segundo DANTAS (2008), a decisão de adotar tecnologias de co-geração pouco eficientes tinha como premissa maximizar a queima do bagaço de cana de açúcar devido às dificuldades de estocagem e à pouca relevância do mercado para a venda de eventuais excedentes de bagaço *in natura*. Também não havia interesse comercial em investir em plantas de geração de eletricidade mais eficientes, capazes de exportar um excedente para a rede.

Até o início dos anos 90, o setor elétrico brasileiro estava estruturado em monopólios integrados verticalmente, com geração de energia centralizada, e com regras que não contemplam a possibilidade de comercialização de energia por agentes independentes das concessionárias. Esta situação perdurou até meados dos anos 90, quando foi criada a figura do produtor independente de eletricidade. Isto criou o marco legal que permite a uma usina “exportar” eletricidade para o sistema elétrico. Surgiram então as condições necessárias para a realização de investimentos em plantas eficientes de co-geração de energia, com o intuito de comercializar excedentes de energia elétrica.

Portanto, embora a indústria sucroalcooleira tenha há muito tempo o potencial técnico para vender excedentes de energia, somente em período relativamente recente isto se tornou possível do ponto de vista comercial. Torna-se então, importante dimensionar o quanto a bioeletricidade pode contribuir para a oferta brasileira de energia ao longo das próximas décadas.

O potencial de geração de bioeletricidade é função da safra de cana de açúcar, pois é o montante de cana colhida que determina o volume de biomassa residual disponível para a geração de bioeletricidade. O potencial depende também da tecnologia adotada, que determina a eficiência da conversão da biomassa em energia elétrica.

Depois do *boom* do setor alcooleiro motivado pelo Pró-álcool na década de 80 e do ciclo expansivo do açúcar na década de 90, verificou-se nos últimos anos uma nova fase de crescimento do setor e há perspectivas de novos incrementos na oferta de etanol e açúcar nos próximos anos. Estima-se que a produção brasileira de cana de açúcar passará dos atuais 550 milhões de toneladas de cana para mais de 1 bilhão de toneladas de cana processadas por safra em um horizonte de 10 anos. Além da expansão da colheita de cana, um fator adicional garantirá o aumento da biomassa a ser utilizada como insumo energético para a geração de energia: o fim das queimadas¹¹ permitirá a utilização da palha da cana como insumo energético a ser queimado em conjunto com o bagaço.

¹¹ O Protocolo Agro-ambiental no Estado de São Paulo prevê para 2014 o fim da prática das queimadas e colheita manual nas áreas planas. Atualmente 50% da colheita já ocorre de forma mecanizada. Desta forma, mesmo uma parte da cana permanecendo no solo para protegê-lo, irá haver um significativo aumento da biomassa disponível para fins energéticos.

Quanto à tecnologia de co-geração, tradicionalmente as usinas utilizam ciclos de contrapressão capazes de garantir apenas o auto-suprimento energético da usina. Contudo, mesmo neste tipo de solução, algumas modificações, dentre as quais se destaca a utilização de caldeiras com maior pressão, permitem atingir um nível de eficiência energético considerável, com a geração de algo em torno de 40 kWh por tonelada de cana processada (CORRÊA NETO e RAMÓN, 2002).

A tecnologia que hoje é adotada em vários projetos *greenfield* é a tecnologia de extra-condensação, que permite gerar significativos excedentes de energia elétrica a baixos custos. Esta tecnologia é capaz de produzir em torno de 96 kWh por tonelada de cana processada, dos quais, em média, 80 kWh podem ser exportados. Estes números têm como base apenas a utilização do bagaço de cana, ao se adicionar a queima da palha é possível gerar até 200 kWh por tonelada de cana processada (KITAYMA, 2008). O custo de investimento nesta tecnologia é estimado em cerca de R\$ 3.000,00 por kW instalado. A Tabela 3 apresenta dados relativos ao potencial de geração de bioeletricidade no curto, médio e longo prazo.

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

Tabela 3. Estimativas do Potencial da Bioeletricidade Sucroenergética¹² (em milhão de ton e MWmed)

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

As estimativas do potencial da bioeletricidade ocorrem com base em uma tecnologia completamente dominada e viável economicamente que é a tecnologia de extra-condensação. Porém, o desenvolvimento da tecnologia de gaseificação da biomassa, que já é dominada do ponto de vista técnico, mas que ainda não é comercialmente viável, representará um grande salto no potencial de geração de bioeletricidade. Trata-se de uma tecnologia que é capaz de produzir até 270 kWh de energia elétrica excedente por tonelada de cana processada.

DANTAS e CASTRO (2008) afirmam que uma variável que pode impactar de maneira negativa a oferta futura de bioeletricidade é o desenvolvimento tecnológico do etanol celulósico, que pode dar um uso econômico alternativo à biomassa. Porém, baseados 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 refreados e sim expandidos, principalmente se forem adotadas políticas específicas, como, por exemplo, leilões de energia nova por fonte como o Leilão de Energia de Reserva, realizado em 2008.

¹² As premissas destas estimativas são a utilização da tecnologia de extra-condensação e o aproveitamento de 75% do bagaço e 50% da palha disponíveis.

Porém, como o potencial de geração de bioeletricidade é calculado em relação à safra, é importante analisar a situação das usinas hoje existentes, que precisam de um *retrofit* para gerar eletricidade de forma eficiente. Estas usinas precisam substituir parte dos equipamentos para adotar tecnologias mais modernas de co-geração. Trata-se de substituir equipamentos que funcionam, que podem ter uma vida útil considerável e que já garantem seu auto-suprimento de energia. A viabilização do potencial de geração destas usinas requer, portanto, um preço-teto nos leilões superior àquele exigido pelos projetos *greenfield*. De acordo com CASTRO et al. (2008), com base em parâmetros econômicos pré-crise de setembro de 2008, enquanto projetos novos viabilizam a comercialização de energia com um preço em torno de R\$ 155,00/MWh, projetos remodelados exigem um preço em torno de R\$ 180,00/MWh para serem viáveis. Cabe salientar que o setor sucroenergético tem uma estrutura produtiva heterogênea e esses valores podem apresentar elevado desvio-padrão, principalmente quando se considera os custos de conexão à rede de transporte de energia elétrica, cuja responsabilidade é do empreendedor em bioeletricidade.

2.2 – A Complementaridade da Bioeletricidade e as Externalidades para o Sistema Elétrico Brasileiro

A inserção da bioeletricidade em uma escala compatível com seu potencial por si só já contribuiria para o aumento da segurança do suprimento de energia elétrica devido ao “efeito diversificação da matriz”. No entanto, a característica mais favorável da bioeletricidade sucroenergética para a segurança do sistema elétrico brasileiro é a sua complementaridade com a relação ao regime de chuvas do subsistema Sudeste / Centro-Oeste, onde se concentra 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros. A safra sucroenergética ocorre entre os meses de abril e novembro, coincidindo com o período seco nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste. O Gráfico 3, que compara o ritmo da moagem da cana com as Energias Afluentes, e a complementaridade entre o regime de afluências e a bioeletricidade.

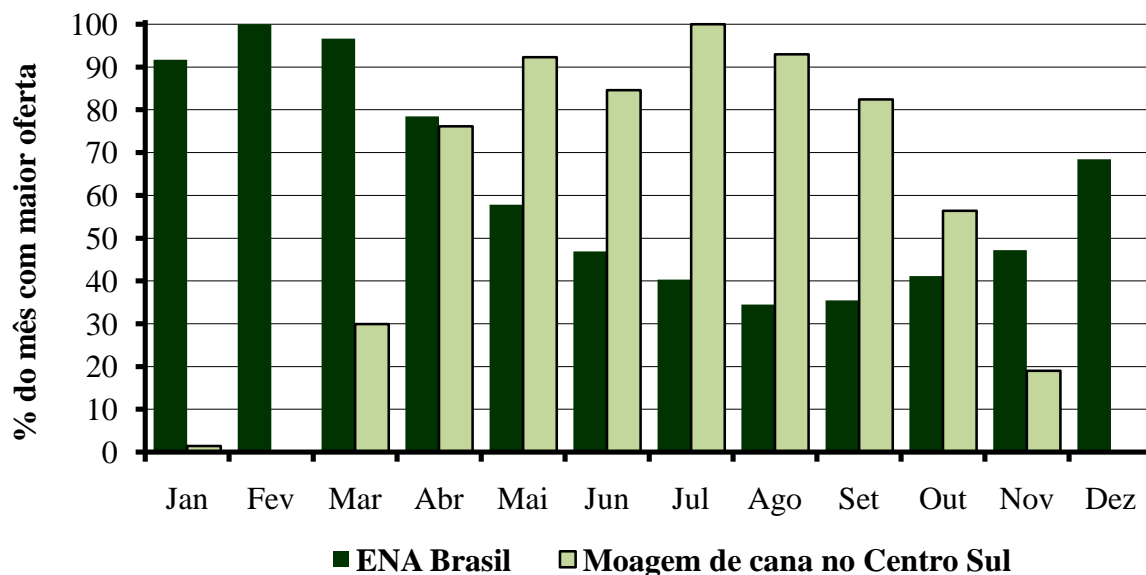


Gráfico 3. Complementaridade da Hidroeletricidade com o Setor Sucroenergético (em %)

Fontes: Site do ONS (www.ons.org.br) e Unica. Dados elaborados a partir do histórico da operação em 2008 (ENA) e pela moagem de cana da safra 2007/2008 no Centro Sul.

A bioeletricidade sucroenergética, por ter a geração concentrada na estação seca, se constitui em fonte de energia de grande relevância para complementar o parque gerador hídrico. Trata-se de uma “energia de inverno”. De acordo com o ONS, para cada 1.000 MWmed de bioeletricidade inseridos no Sistema Interligado durante o período seco significa a poupança de 4% dos reservatórios do subsistema Sudeste /Centro-Oeste.

2.3 – Viabilidade Econômica

Apesar de todos os benefícios reconhecidos da inserção da bioeletricidade na matriz elétrica, existem dúvidas e questionamentos com relação à sua viabilidade e competitividade econômica. O principal argumento é que se fosse competitiva a bioeletricidade estaria sendo contratada nos leilões de energia nova. Contudo, o que existe de fato é uma metodologia de contratação de energia para os leilões que não necessariamente seleciona os melhores projetos de geração, conforme fora discutido por CASTRO e BRANDÃO (2009).

A Tabela 4 apresenta informações que explicitam a necessidade de uma análise mais detalhada sobre a aparente falta de competitividade da bioeletricidade.

CVU (R\$/MWH)	Potência disponível (MWmed)	% total
até 100	1.536	6,8%
100 a 150	3655	16,3%
150 a 200	1313	5,8%
200 a 250	6386	28,4%
250 a 300	2723	12,1%
300 a 400	3561	15,9%
400 a 600	1643	7,3%
mais que 600	1637	7,3%
Total	22.454	100,0%

Tabela 4. Custo Variável Unitário das Termoelétricas do SIN. 2009 (R\$/MWh, MWmed e %)

Fonte: NOS, PMO de julho de 2009.

Esta tabela mostra que 71,1% da potência termoelétrica contratada possui custo variável superior a R\$ 200,00, ao qual deve ser somado o custo fixo destas usinas. Frente a este *deck* de dados é imediato o questionamento se realmente uma usina de biomassa com seu custo

fixo de geração de R\$ 155,00 por MWh ou até mesmo o custo fixo de R\$ 180,00 para uma usina *retrofit* é que se constitui ameaça à modicidade tarifária.

Merece destacar que para obter o custo destas usinas para o sistema não se pode fazer uma simples soma do seu custo fixo com o custo variável, pois estas usinas foram concebidas e contratadas como *backup*, com a estimativa de um despacho com reduzido número horas por ano. É com base nesta metodologia – custos fixos baixos, custos variáveis altos, mas despacho pouco frequente – que estas usinas são competitivas nos leilões. No entanto, em um sistema hídrico com capacidade de regularização declinante, onde será necessária cada vez mais geração complementar, sobretudo no período seco, estas usinas não se constituem na melhor opção. Elas se mostrarão de fato muito mais dispendiosas para o sistema do que as usinas térmicas de bioeletricidade sucroenergética que operam de forma inflexível, sem custos variáveis.

2.4 – Sustentabilidade Ambiental

A matriz energética brasileira, e em especial a matriz elétrica, possui um caráter ímpar em termos de reduzido impacto ambiental, especialmente no que se refere às emissões de gases do efeito estufa. Porém, isto não pode servir de argumento para se contratar fontes energéticas sujas e poluentes.

O setor energético é, em termos mundiais, o maior responsável pelas emissões antrópicas de gases do efeito estufa, com 48,8% do total. A Tabela 5 mostra o diferenciado perfil das emissões brasileiras quando comparado à emissão de outros países. Observe-se que a maior parte das emissões brasileiras são relativas à coluna “Land use, land-use change and forestry (LULUCF)”, que inclui as queimadas. Por outro lado, as emissões do setor de energia respondem apenas por 8,8% do total.

Região/País	Energia	Transporte	Processos industriais	Agricultura	LULUCF	Lixo	Total
Mundo	48,8	11,8	3,4	13,8	18,6	3,6	100
Anexo I	63,3	18,6	3,6	8,2	-	6,2	100
Não-Anexo I	36,9	6,1	3,2	15,6	35,1	3,0	100
China	64,6	4,6	7,9	21,4	-1,0	2,5	100
Índia	52,3	6,8	3,5	34,8	-2,2	4,8	100
Indonésia	7,9	2,0	0,5	4,0	83,6	1,9	100
Coréia do Sul	68,8	17,5	9,2	2,8	0,2	1,6	100
Brasil	8,8	5,7	1,5	20,1	62,0	1,8	100
México	50,5	16,6	3,5	8,2	15,8	5,3	100
África do Sul	73,7	9,6	2,7	10,7	0,5	2,9	100

Tabela 5. O Perfil das Emissões para Países Selecionados. 2005 (em %)

Fonte : SOUZA e AZEVEDO (2006).

A bioeletricidade por se tratar de uma energia renovável é neutra em relação à emissão de gases do efeito estufa em contraste com as consideráveis emissões verificadas na geração termoelétrica com base em combustíveis fósseis, conforme pode ser comprovado na Tabela 6.

Fonte de Energia	Emissão de CO2 (em KG por MWh)
Gás Natural (ciclo aberto)	440
Gás Natural (ciclo combinado)	400
Óleo	550
Carvão	800
Hidroelétrica	25
Eólica	28

Tabela 6. Emissões de Gases do Efeito Estufa por Diferentes Tipos de Fontes (em Kg por MWh)

Fonte: União Européia (2007).

A partir da estimativa de 14.379 MW méd de bioeletricidade para exportação na safra 2021/21 é possível calcular uma geração equivalente de 125.960 GWh. A produção desta mesma energia com base em térmicas a carvão representaria a emissão de 100,7 milhões de toneladas de CO₂. Caso esta produção ocorresse por meio de óleo, as emissões seriam de 69,3 milhões de toneladas de CO₂. Mesmo no caso da geração ocorrer através de usinas movidas a gás natural em ciclo combinado, as emissões seriam de 50,4 milhões de toneladas de CO₂. Portanto, logo se nota a importância da bioeletricidade na manutenção de uma matriz com reduzida intensidade em carbono contribuindo desta forma para a mitigação das alterações climáticas.

2.5 – Fonte de Geração Distribuída e Benefícios Adicionais da Bioeletricidade

A bioeletricidade é uma fonte de geração distribuída por estar localizada nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste próxima ao principal centro de carga do país. Esta proximidade reduz a necessidade de expansão da transmissão, o que é um benefício ambiental (redução das perdas no sistema de transmissão) e também econômico (redução da necessidade de investimentos de expansão do sistema de transmissão). A bioeletricidade pode até ser escoada diretamente pela rede de distribuição, sem necessidade de reforços da rede básica, em altíssima tensão. Desta forma, constata-se que a bioeletricidade é uma fonte de energia compatível com o novo paradigma tecnológico do setor elétrico, que dá grande ênfase à exploração dos nichos de geração distribuída.

Além disso, a indústria de bens de capital nacional está apta a fornecer os equipamentos necessários à construção de plantas de co-geração. Neste sentido, os investimentos em novas plantas de co-geração mais eficientes, notadamente na conversão de equipamentos das usinas *retrofit*, não necessitam de importações substanciais de equipamentos, poupando divisas para o país e contribuindo para a dinamização do setor industrial brasileiro.

Por outro lado, a bioeletricidade utiliza um insumo nacional, em contraste com outros tipos de geradoras que necessitam importar combustível. Com isto se ganha não apenas em

termos de economia de divisas como na redução da volatilidade do preço da energia. Isto é evidente nos contratos que resultaram dos leilões de energia nova: o custo da geração a óleo, a carvão importado e a gás natural é indexado ao preço *spot* internacional destes insumos energéticos, enquanto a bioeletricidade é indexada ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA.

Conclusões

A matriz elétrica brasileira passa por uma fase de transição para uma necessidade crescente de complementação da geração hídrica com fontes de energia capazes de gerar eletricidade de forma eficiente durante o período seco. A bioeletricidade é uma fonte de energia intrinsecamente complementar à geração hídrica porque a safra de cana de açúcar coincide com o período de seca.

O ciclo expansivo do setor sucroenergético associado ao gradativo fim da queima da cana garante a biomassa necessária para geração de significativos montantes de bioeletricidade nos próximos anos. Desta forma, justificam-se investimentos em tecnologias que permitam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica.

A aparente falta de competitividade da bioeletricidade nos leilões de energia nova é função dos critérios atuais de contratação de energia, que não conseguem mensurar de forma correta os benefícios da bioeletricidade para o sistema elétrico brasileiro. Neste sentido, apenas os motivos restritos ao “mundo energético” já justificariam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira em uma escala compatível com o seu potencial. Entretanto, além das motivações energéticas, existe o relevante fato de ser uma energia renovável em um mundo que clama por medidas que reduzam a emissão de gases do efeito estufa e que, por conseguinte, mitiguem as alterações climáticas.

Por estas razões, justifica-se a modificação da política de contratação de energia através dos leilões para o mercado regulado. A adoção de leilões por fonte ou de leilões contratando especificamente geração de base para o período seco parece uma alternativa mais eficiente do que leilões abertos a qualquer tipo de projeto, que não vem estimulando a contratação eficiente de novos projetos. Essa diretriz seria uma das mais importantes para compor uma política pública para a bioeletricidade.

Outro ponto que merece ser contemplado por uma política pública é a criação de condições para que as usinas existentes possam se conectar à rede e comercializar energia. As usinas de açúcar e etanol estão dispersas geograficamente. Muitas delas estão distantes de subestações capazes de escoar a energia produzida. Com isto o acesso à rede acaba constituindo-se em uma barreira para a incorporação de novos empreendimentos de geração movidos a bioeletricidade. A solução encontrada para este problema à época do Leilão de Energia de Reserva – o desenho de uma rede coletora para servir a diversos empreendimentos em uma mesma região – foi, sem dúvida, um passo na direção certa. Mas como o compromisso financeiro com a rede coletora tinha que ser decidido antes do leilão, não se trata de uma alternativa ideal. Dada a competitividade da bioeletricidade, recomenda-se a realização de estudos para reforço da rede básica em regiões com alto potencial produtor, antes mesmo de confirmada a vitória em leilão das usinas da região.

VERSÃO PRELIMINAR.

Em síntese, a valorização adequada para a sazonalidade complementar da bioeletricidade nos leilões de energia nova; a realização de leilões regulares e dedicados a esta fonte ou restrito a fontes comparáveis a ela e; o planejamento da expansão do sistema de transmissão de forma a viabilizar a inclusão efetiva da bioeletricidade na matriz de geração são quesitos importantes para uma política pública setorial para a bioeletricidade sucroalcooleira.

Referências Bibliográficas

- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3^a. Edição. Brasília, 2008.
- CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A; BRANDÃO, Roberto; LEITE, André Luiz da Silva. *Bioeletricidade e a Indústria de Alcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro, 2008.
- CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto. *A seleção de projetos nos Leilões de Energia Nova e a questão do valor da energia*. Mimeo. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Agosto, 2009.
- CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto. *Problemas no cálculo das Garantias Físicas para os Leilões de Energia Nova*. Mimeo. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Setembro, 2009.
- CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *Alternativas de Complementação do Parque Hídrico*. Mimeo. GESEL/IE/UFRJ. Rio de Julho, 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.
- 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.
- 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 Engenharia de Produção/Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

VERSÃO PRELIMINAR.

SOUZA, Z; AZEVEDO, P. *Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro: um estudo a partir de usinas paulistas*. Revista de Economia e Sociologia Rural. Brasília-DF, 2006.