

# GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

## **Contribuição da Bioeletricidade para Sustentabilidade da Economia Paulista**

Nivalde José de Castro

Guilherme de Azevedo Dantas

Roberto Brandão

Abril de 2011

# Contribuição da Bioeletricidade para Sustentabilidade da Economia Paulista<sup>1</sup>

Nivalde José de Castro<sup>2</sup> – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Guilherme de Azevedo Dantas<sup>3</sup> – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Roberto Brandão<sup>4</sup> – Universidade de Federal do Rio de Janeiro

## Resumo

A promoção do desenvolvimento sustentável requer que o sistema energético priorize rotas tecnológicas eficientes e uma maior utilização de fontes renováveis de energia. A matriz energética brasileira possui expressiva participação de fontes renováveis de energia e deve se expandir continuando a priorizar fontes renováveis.

A indústria do Estado de São Paulo demanda grandes montantes de energia elétrica e em paralelo é no território paulista que se concentra a produção brasileira de cana de açúcar. Com base na potencialidade de geração de eletricidade a partir da biomassa residual dos processos produtivos de etanol e de açúcar, o objetivo deste artigo é analisar o quanto esta produção pode contribuir para a sustentabilidade da economia paulista.

Palavras chaves: cana de açúcar, energia elétrica, bagaço, palha, extração e condensação, gaseificação, comercialização.

## Introdução

A expansão da oferta mundial de energia para atender ao exponencial crescimento da demanda mundial de energia que se projeta para os próximos anos concomitantemente a mitigação das alterações climáticas é um desafio de grandes dimensões que se apresenta aos formuladores de política energética no Século XXI. O equacionamento destes objetivos é condição basilar para que se garanta a segurança do suprimento de energia com o menor impacto ambiental possível.

---

<sup>1</sup> Texto apresentado no ELAEE 2011 (Encuentro Latino Americano de Economia de la Energia) organizado pela Universidad Católica Argentina, Argentina, no dia 18 de abril de 2011.

<sup>2</sup> Professor da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da UFRJ. Avenida Pasteur 250 – Sala 226. Urca. Rio de Janeiro/RJ. Cep: 22290-240 – Brasil. nivalde@ufrj.br

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ. Avenida Pasteur 250 – Sala 235. Urca. Rio de Janeiro/RJ. Cep: 22290-240 – Brasil. guilhermecrv@gmail.com

<sup>4</sup> Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ. Avenida Pasteur 250 – Sala 235. Urca. Rio de Janeiro/RJ. Cep: 22290-240 – Brasil. robertobrandao@gmail.com

A necessidade de se ter um sistema energético fundamentado na sustentabilidade se insere no âmbito do desenvolvimento sustentável que visa promover o desenvolvimento sócio econômico atual sem o comprometimento da qualidade de vida das gerações futuras. Com base na relação estreita entre desenvolvimento sócio econômico e níveis crescentes do consumo de energia e os impactos ambientais que as atividades de geração e consumo de energia ocasionam, torna-se evidente que a promoção do desenvolvimento sustentável tem a formatação do setor energético em bases sustentáveis como uma condição basilar para que este tipo de desenvolvimento seja de fato implementado.

Devido à estreita relação entre crescimento econômico e demanda por energia, se fazem necessárias alterações no padrão de consumo de energia e na composição da matriz energética mundial de forma que se possa manter o padrão de consumo dos países desenvolvidos e sobretudo promover o desenvolvimento sócio-econômico dos países em vias de desenvolvimento ao mesmo tempo em que se mitigue às emissões de gases do efeito estufa e por conseguinte as alterações climáticas. Os mecanismos disponíveis para esta mudança de paradigma no setor energético são a promoção de políticas e práticas com elevado nível de eficiência energética e uma maior utilização de fontes alternativas de energia, especialmente fontes renováveis.

Com uma ampla participação de fontes renováveis de energia em sua matriz energética, o Brasil consegue ter uma intensidade em carbono na geração de energia significativamente menor do que a média mundial. No entanto, é preciso se enfatizar que o Brasil ainda apresenta níveis de consumo de energia reduzidos em comparação com os padrões de consumo dos países desenvolvidos e neste sentido mesmo com a adoção de tecnologias de maior eficiência, o consumo de energia no Brasil tende a apresentar um expressivo crescimento nos próximos anos. Esta tendência é acentuada pela relevância de setores intensivos em energia na matriz energética brasileira.

Nesta discussão das perspectivas energéticas brasileiras, se destaca o Estado de São Paulo por ser detentor de aproximadamente um terço da renda gerada no Brasil e ter expressiva importância do setor industrial em sua economia. Por outro lado, este estado concentra mais de 60% do cultivo brasileiro de cana de açúcar que é uma fonte energética importante (desde 2007 é a segunda fonte em participação na matriz energética brasileira). Além do tradicional uso para produção de etanol, a cana de açúcar, mais especificamente a biomassa residual do processo de produção de etanol e de açúcar, pode ser utilizada para a geração de excedentes de eletricidade a serem comercializados. Esta estratégia já vem sendo adotada por alguns grupos empresariais do setor canavieiro, entretanto, ainda existe um hiato entre a energia efetivamente gerada e o potencial de geração de eletricidade nas usinas sucroenergéticas paulistas.

O objetivo central deste artigo é examinar a contribuição que a geração de eletricidade nas usinas canavieiras paulistas pode ter no atendimento da demanda de energia elétrica do setor industrial paulista, contribuindo desta forma para a sustentabilidade da produção paulista. O artigo se divide em três partes. Inicialmente, se apresenta a necessidade de se promover a economia verde no âmbito dos preceitos do desenvolvimento sustentável. A segunda seção ressalta a importância de políticas de eficiência energética e da promoção de fontes alternativas de energia para que a matriz energética seja compatível com a promoção do desenvolvimento sustentável. Ainda nesta seção, se destaca o quanto a matriz energética brasileira difere da mundial com uma ampla participação de fontes renováveis de energia, mas se ressalta os cuidados que devem ser tomados para que a expansão da oferta mantenha este perfil da matriz brasileira. Por fim, a última seção apresenta o potencial de geração de bioeletricidade e qual a contribuição que esta geração pode ter no atendimento da demanda do setor industrial paulista por energia elétrica em 2020.

A transição para a “economia verde” é condição basilar para a promoção do desenvolvimento sustentável, ou seja, o estabelecimento de um padrão sócio econômico onde o combate às mazelas sociais através do crescimento econômico ocorra em bases sustentáveis em termos ambientais. A relevância da promoção do desenvolvimento sustentável foi apresentada no Relatório Brundtland em 1987 quando se enunciou a necessidade de explorar os recursos, orientar investimentos e se adotar técnicas e arranjos institucionais que permitam atender às necessidades dos homens atuais e das gerações futuras (BÜRGENMEIER, 2005).

Ao se discutir uma trajetória sustentável de desenvolvimento, é preciso se discutir a estrutura do setor energético e esta associação se deve à relação estreita entre energia e desenvolvimento e energia e meio ambiente. Se por um lado energia é um insumo essencial para o desenvolvimento sócio econômico de um país ou região, por outro lado o setor energético retira do meio ambiente seus recursos primários e gera poluição e outros tipos de impactos ambientais sobre o meio ambiente.

De acordo com GOLDEMBERG et all. (1988), existe uma enorme necessidade de se erradicar a pobreza mundial. Os autores afirmam que esta erradicação da pobreza requer que os países em vias de desenvolvimento aumentem sua produtividade agrícola e a distribuição de alimentos, implementem redes de esgoto e distribuição de água potável adequados, permitam o acesso à educação básica e serviços de saúde, além de proporcionarem confortos básicos e desenvolver o setor industrial. Todas estas atividades exigem um relevante consumo de energia. Neste sentido, se comprova que existe uma nítida e inequívoca relação entre desenvolvimento sócio econômico e níveis crescentes de consumo de energia.

Conforme JOHANSSON e GOLDEMBERG (2002), o acesso a formas modernas e eficientes de energia é um importante indicador das condições de vida de uma população. Os autores enunciam que algo em torno de 2 bilhões de pessoas ainda não possuem acesso a energia elétrica nem a combustíveis modernos, como por exemplo gás liquefeito de petróleo. Estas pessoas atendem suas demandas energéticas através do consumo de lenha, resíduos agrícolas e animais, em processos de reduzida eficiência energética. Neste sentido, existem impactos sociais e ambientais nocivos porque crianças e mulheres gastam um considerável tempo coletando insumos energéticos e a combustão dos mesmos em condições precárias ocasiona problemas de saúde. Portanto, é evidente que a melhoria das condições de vida deste contingente populacional tem como condição elementar o acesso a formas modernas eficientes de energia. A Tabela 1 apresenta uma comparação dos consumos per-capita de energia e de energia elétrica no ano de 2008.

Tabela 1 – Consumos Médios de Energia e de Energia Elétrica em 2008

	Consumo Energético Per-capita (em tep por habitante)	Consumo de Energia Elétrica Per capita (em kWh por habitante)
Mundo	1,83	2782
OECD	4,56	8486
América Latina	1,24	1956
África	0,67	571

Fonte: IEA (2010).

Em paralelo, é preciso se considerar a interface entre a geração e o consumo de energia e o meio ambiente porque é da natureza que o setor energético extrai os recursos necessários para a geração de energia e é sobre este meio ambiente a geração e o consumo de energia ocasionam os mais

diversos impactos ambientais negativos, os quais variam em tipologia e magnitude de acordo com o recurso primário e a forma de energia que está sendo gerada. A Tabela 2 apresenta os impactos ambientais de algumas rotas tecnológicas de geração de eletricidade.

Tabela 2 – Impactos Sócio-Ambientais da Geração de Energia Elétrica

Fontes	Impactos Sócio-Ambientais
Termoeletricidade	Emissão de Gases do Efeito Estufa; Emissão de Material Particulado; Emissão de SO <sub>x</sub> ; Emissão de NO <sub>x</sub> ;
Hidroeletricidade	Alagamento para Construção de Barragens; Alteração nos Regimes dos Rios a Jusante; Assoreamento à Montante da Barragem; Barreiras à Migração dos Peixes; Proliferação de Algas; Perda de Patrimônio Histórico, Arqueológico e Turístico; Remoção de Populações Locais;
Bioeletricidade	Perda de Biodiversidade; Poluição Atmosférica; Mortandade de Peixes; Contaminação de Aquíferos Freáticos.
Energia Eólica	Poluição Sonora; Poluição Estética; Morte de Pássaros.
Energia Solar	Acúmulo de Resíduos Tóxicos no Ambiente.
Pequenas Hidroelétricas	Interferência na Fauna e Flora Locais; Conflitos com o Turismo.
Energia Nuclear	Risco de Acidentes; Incertezas no Gerenciamento dos Resíduos; Perigo da Proliferação de Armas Atômicas.

Fonte: GOLDEMBERG e LUCON (2007).

Dentre os impactos ambientais ocasionados pelo setor energético, destacam-se as alterações climáticas que pela sua dimensão global ameaçam a extração dos recursos naturais, reduzem a qualidade de vida e desequilibram ecossistemas, e no limite colocam em risco a sobrevivência da vida humana na Terra. Estas alterações são resultado do desequilíbrio do ciclo do carbono oriundo das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa. Aproximadamente dois terços das emissões antrópicas advêm do setor energético que tem uma participação superior a 80% de insumos fósseis em sua matriz energética e a combustão dos mesmos em larga escala a partir de meados do Século XVIII com o advento da Revolução Industrial ocasionou na intensificação do efeito estufa. Em outras palavras, se a combustão de combustíveis fósseis em máquinas térmicas permitiu o desenvolvimento sócio econômicos dos últimos 250 anos, em contrapartida foi justamente este processo que desequilibrou o ciclo do carbono sendo o principal responsável pelas alterações climáticas.

A questão a ser destacada é que as emissões de gases do efeito do setor energético nos últimos 250 anos permitiram apenas o desenvolvimento sócio econômico de um restrito de países. Desta forma, ainda existe um imenso contingente populacional excluído deste desenvolvimento sócio econômico e a melhoria da qualidade de vida destas pessoas exige níveis crescentes de consumo de energia.

Porém, o atendimento da crescente demanda de energia com base na composição atual da matriz energética é inteiramente incompatível com o objetivo de mitigar as alterações climáticas.

Portanto, se faz necessário a adoção de uma estratégia sustentável para a expansão da matriz energética mundial que deve estar relacionada aos preceitos da economia verde que se fundamenta em uma economia de baixo carbono, ou seja, o desenvolvimento sócio econômico atual precisa priorizar uma redução da intensidade em carbono do setor energético de forma a não comprometer as condições de vida das gerações futuras.

## II) Sustentabilidade da Matriz Energética

Os três objetivos estratégicos de uma política energética são a segurança do suprimento, a competitividade da oferta e a sustentabilidade ambiental. A grande dificuldade em se atingir estes objetivos de forma conjunta é que os mesmos são conflitantes. Assim, um instrumento que seja utilizado para promover um deles acaba tendo impactos negativos sobre os demais. A única ferramenta disponível compatível com a promoção conjunta destes 3 objetivos é a busca por maiores níveis de eficiência energética. Desta forma, a adoção de políticas de eficiência energética se apresenta como o instrumento mais razoável de ser adotado no sentido de permitir se atender ao aumento da demanda energética em uma grandeza superior a 40% até 2030 ao mesmo tempo em que se mitigue às emissões de gases do efeito estufa.

A compreensão da racionalidade de políticas de eficiência energética passa pelo reconhecimento que energia é um bem essencial para o desenvolvimento das atividades sócio-econômicas do mundo contemporâneo, entretanto, energia não tem função em si própria. Desta forma, o relevante são os serviços energéticos (trabalho, locomoção, energia térmica, aquecimento, refrigeração) e são a estas demandas que se deve atender. Logo, rotas tecnológicas eficientes são aquelas que conseguem atender a uma dada demanda por um serviço energético utilizando uma menor quantidade de recursos energéticos primários e, portanto, é compatível com a segurança do suprimento e sustentabilidade ambiental da oferta de energia elétrica.

Os países em vias desenvolvimento também apresentam oportunidades de promoção de eficiência energética através de soluções técnicas que possibilitem o atendimento da demanda por serviços energéticos com uma menor quantidade de insumos. Os autores enfatizam o cuidado que se deve ter com valores de consumos médios em países vias de desenvolvimento porque estes países possuem tamanho grau de desigualdade que, mesmo os valores médios sendo baixos, existe uma elite com um consumo energético no mesmo nível dos países desenvolvidos e aí existe um grande campo para se realizar políticas de eficiência energética.

Entretanto, não é uma hipótese plausível supor que os ganhos de eficiência energética sejam suficientes para atender as demandas requeridas pelo desenvolvimento sócio econômico dos países em vias de desenvolvimento. Neste sentido, junto com políticas de eficiência energética se faz necessário o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética mundial de forma que a expansão ocorra em bases mais sustentáveis e a matriz energética mundial futura tenha uma menor participação de fontes fósseis em sua composição. Esta redução relativa da geração de energia a partir de insumos fósseis em favor de uma maior participação de fontes renováveis de energia é condizente com o objetivo de promoção de segurança do suprimento concomitantemente a mitigação das alterações climáticas.

É importante se enfatizar que fontes alternativas e renováveis de energia se caracterizam por não serem competitivas com as fontes convencionais de energia em condições estritas de mercado.

Porém, ao contabilizar os custos ambientais da geração fóssil convencional estas fontes alternativas tendem a se tornar competitivas. Desta forma, se justifica a adoção de políticas públicas de promoção destas fontes considerando os benefícios sócio-ambientais. Além disso o desenvolvimento de tais fontes resultará em um amadurecimento tecnológico que possibilitará a exploração de economias de aprendizado que em conjunto com as economias de escala advindas do aumento da quantidade produzida tendem a reduzir os custos destas fontes alternativas e renováveis de geração de energia elétrica.

No âmbito do setor elétrico, se destaca a expansão mundial da geração eólica nos últimos 15 anos, as potencialidades da geração solar e a relevância que a geração de energia elétrica a partir da biomassa pode ter em alguns mercados específicos como o brasileiro, como será examinado na próxima seção. A inserção destas fontes na matriz elétrica mundial em uma escala condizente com seus respectivos potenciais é relevante para mitigar o aquecimento global pois a matriz elétrica mundial possui uma participação de fontes fósseis em torno de 70%, dos quais aproximadamente 40% se refere à geração termoeletrica a partir de carvão. A Tabela 3 mostra os fatores de emissão das fontes fósseis. Se faz necessário destacar que a geração eólica considerando todo o ciclo de vida da produção possui um fator de emissão em torno de 25 gramas de CO<sub>2eq</sub> por kWh e mesmo a geração solar a partir de painéis fotovoltaicos, os quais são produzidos através de um processo energético intensivo, possuem fatores de emissão inferiores a 100 gramas de CO<sub>2eq</sub> por kWh produzido. Por sua vez, o ciclo de vida da biomassa faz com que a geração de eletricidade a partir deste recurso seja neutra em carbono. Em síntese, estas fontes renováveis possuem importante função no objetivo de mitigar as alterações climáticas por contribuírem para o atendimento da demanda crescente por energia elétrica reduzindo a necessidade de geração termoeletrica que utilize insumos fósseis como combustível.

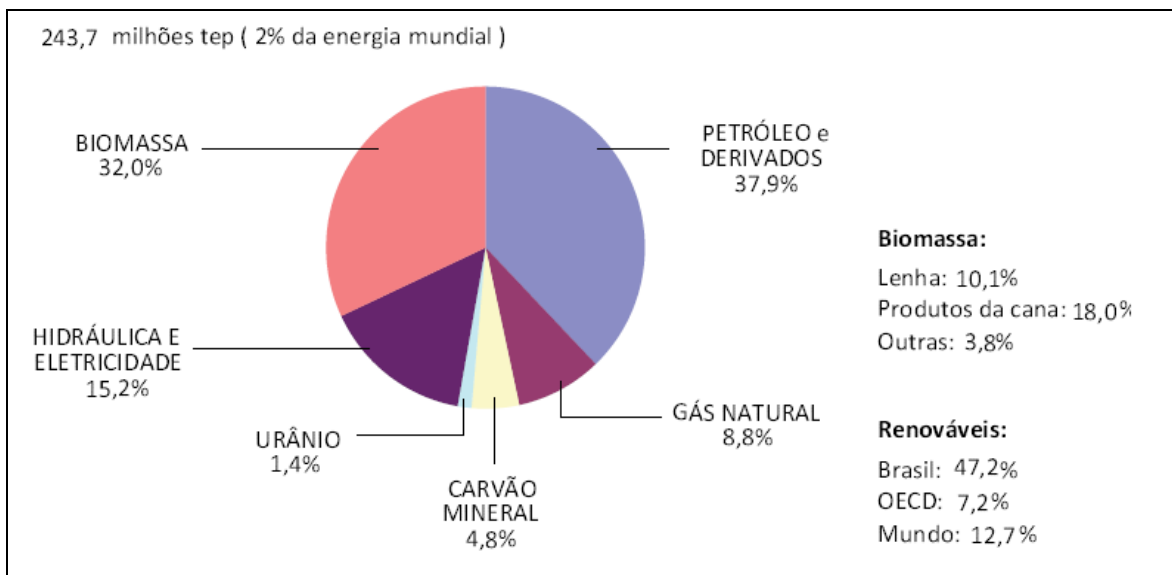
Tabela 3 – Emissões de Gases do Efeito Estufa da Geração Térmica

Fontes Térmicas	Emissões de CO <sub>2eq</sub> (gramas por kWh)
Gás Natural – Ciclo Combinado	400
Gás Natural – Ciclo Aberto	440
Óleo	550
Carvão	800

Fonte: UNIÃO EUROPEIA (2007).

A composição da matriz energética brasileira é impar, pois possui uma participação de fontes renováveis de energia que a distingue da matriz energética mundial, impulsionada pela participação dos derivados da cana e dos recursos hídricos na oferta brasileira de energia. A Figura 1 apresenta a composição da matriz brasileira em 2009.

Figura 1 – Oferta Interna de Energia no Brasil em 2009



Fonte: MME (2010).

Esta composição da matriz onde a participação de fontes renováveis de energia é quase quatro vezes maior que a média mundial resulta em uma intensidade de carbono consideravelmente inferior. Segundo MME (2010), tal intensidade teve o valor de 1,4 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada equivalente de petróleo da oferta interna de energia em 2009 em contraste com a média mundial de 2,41 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada equivalente de petróleo em 2007.

Contudo, os dados relativos aos padrões de consumo de energia no Brasil e ao perfil da oferta necessitam ser relativizados porque o Brasil é um país em vias de desenvolvimento que ainda possui um nível de renda per-capita extremamente reduzido. Conforme IEA (2008), o consumo per-capita de energia no Brasil no ano de 2008 foi de 1,29 toneladas equivalente por petróleo em contraste com o consumo de 4,56 toneladas equivalentes de petróleo nos países da OECD. Neste sentido, o desenvolvimento do país, mesmo que venha a priorizar setores menos intensivos em energia, acarretará em um considerável aumento da demanda por energia, pois ainda existe uma considerável demanda reprimida.

Além disso, é razoável supor que em um cenário de referência, baseado em variáveis estritamente econômicas, a maior parte desta demanda adicional irá advir de combustíveis fósseis e por consequência haverá redução da participação de fontes renováveis de energia. Isto porque a alta participação de fontes renováveis de energia na matriz brasileira se deve à cana de açúcar e aos recursos hídricos. E embora ainda exista um imenso potencial de energia canavieira a ser explorado, existem sérias limitações ao aproveitamento do potencial hídrico remanescente.

Também é importante ressaltar que a expressiva participação de setores industriais intensivos em energia na composição da economia faz com que, para um dado crescimento econômico, a energia necessária para atender este crescimento seja maior do que aquela que seria necessária em uma economia que priorizasse setores de maior valor agregado. Como os setores de crescimento a serem priorizados fazem parte de uma discussão mais ampla que contempla política industrial, cabe aos debatedores do setor energético enfatizarem a necessidade de promoção de fontes renováveis de energia como meio de permitir que a matriz energética brasileira se mantenha alinhada com os preceitos da economia verde.

No âmbito mais regional, é preciso se reter especial atenção ao Estado de São Paulo que é responsável por aproximadamente um terço da renda brasileira e possui um expressivo setor industrial. Um corolário imediato é que este Estado é responsável por grande parte da demanda brasileira de energia elétrica, equivalendo a um consumo de aproximadamente 119 TWh em 2008. Neste sentido, é de grande relevância que o Estado de São Paulo mantenha sua matriz elétrica baseada em fontes renováveis de energia. Por outro lado, este Estado concentra mais de 60% do processamento de cana de açúcar e se a utilização da biomassa residual do processo de produção de etanol e de açúcar para o atendimento das demandas energéticas da usina através do eficiente processo de co-geração é prática comum nas usinas sucroenergéticas, a construção de plantas de co-geração com capacidade de gerarem excessivos montantes de energia elétrica a ser comercializada é uma estratégia recente e ainda existe um considerável potencial a ser explorado. Este é o objetivo da próxima seção deste artigo.

### III – Bioeletricidade da Cana de Açúcar

De acordo com KITAYAMA (2008), 1 tonelada de cana de açúcar possui energia primária equivalente a 1,2 barris de petróleo. Diante a tamanho potencial energético e a tradição brasileira no cultivo de cana de açúcar, os dados da Figura 1, que mostram que os produtos da cana são a segunda principal fonte de energia na matriz brasileira, não chegam a ser surpreendentes. Esta participação ocorre essencialmente devido ao disseminado uso de etanol hidratado na frota de veículos leves, etanol anidro adicionado à gasolina, e em menor escala a geração de energia para autosuprimento das próprias usinas com algumas unidades comercializando excedentes gerados de energia elétrica.

Contudo, ainda existe um hiato entre o potencial energético da cana e a energia que vem sendo de fato utilizada. O potencial energético está dividido entre a sacarose (caldo da cana), bagaço (fibras), e palha, na proporção de um terço para cada uma das partes. A fração referente à sacarose é plenamente utilizada para a produção de etanol ou de açúcar. Por sua vez, a energia contida no bagaço é historicamente explorada apenas parcialmente para o atendimento das demandas energéticas do processo produtivo de etanol e açúcar enquanto que a palha era queimada para facilitar a colheita manual da cana de açúcar.

Ao contrário da palha, o bagaço da cana de açúcar é um insumo que já se encontra na usina após a extração do caldo da cana nas moendas. Neste sentido, o bagaço é usado tradicionalmente como combustível para a produção de energia mecânica, elétrica e térmica nas usinas através de plantas de co-geração. Porém, CASTRO et all. (2008) ressaltam que o setor se expandiu e consolidou optando por plantas com menor eficiência, pois a estrutura de monopólio integrado verticalmente do setor elétrico não permitia que usinas canavieiras comercializassem excedentes de energia elétrica. Logo, o objetivo das usinas era maximizar a queima do bagaço devido à dificuldade em estocá-lo e à inexistência de um mercado para o bagaço *in natura*.

Portanto, o primeiro passo para um maior aproveitamento do potencial energético da cana de açúcar é a adoção de rotas tecnológicas que utilizem o bagaço da cana de açúcar de forma mais eficiente. No entanto, além do bagaço, se verifica uma oferta adicional crescente de biomassa a ser utilizada como insumo energético devido ao fim das queimadas com a implementação da colheita mecanizada. Logo, a palha da cana passa a ser passível se de utilizada com fins energéticos. Cabe destacar, que atualmente mais de 50% da colheita no Estado de São Paulo já é mecanizada e até 2014 toda a colheita em regiões planas será mecanizada.

Uma análise prospectiva indica uma série de possíveis destinações do bagaço e da palha da cana de açúcar, entre as quais, a produção de biocombustíveis celulósicos e de produtos químicos. Porém,

estas rotas tecnológicas ainda precisam de um amadurecimento tecnológico para se tornarem competitivas, ao contrário da geração de eletricidade que possui variantes tecnológicas já maduras e competitivas. Concomitantemente, a reforma liberalizante do setor elétrico brasileiro ao permitir e incitar a concorrência no segmento de geração criou as condições necessárias para a comercialização de excedentes de energia elétrica gerados nas usinas de cana de açúcar. Portanto, o aproveitamento do potencial energético do bagaço e da palha no curto e no médio prazo é para a produção de energia elétrica.

A garantia da oferta de energia a preços competitivos e de forma sustentável é um desafio de grandes dimensões, conforme foi visto na primeira seção deste artigo. A segunda parte deste texto examinou a importância da eficiência energética e de fontes renováveis de energia para que se atenda a este desafio. A produção de bioeletricidade nas usinas sucroenergéticas se fundamenta justamente nos preceitos de eficiência e renovabilidade. Explica-se: a bioeletricidade é gerada a partir do processo de co-geração<sup>5</sup>, eficiente por definição, utilizando como insumo energético à biomassa residual resultante do processo de produção de etanol e de açúcar. Ao mesmo tempo, a geração de bioeletricidade é uma fonte de geração distribuída por estar próxima ao centro de carga brasileiro, neste sentido minimiza impactos ambientais referentes à rede de transmissão e é condizente com a necessidade de promoção da sustentabilidade ambiental.

No entanto, sob a ótica do sistema elétrico brasileiro o benefício mais importante da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira em uma escala condizente com o seu potencial, é a perfeita complementariedade existente entre a safra canavieira e o período da safra sucroenergética. A safra na Região Centro Sul, que concentra mais de 85% da produção brasileira, ocorre justamente entre os meses de Abril e Novembro coincidindo com o período seco no subsistema Sudeste/Centro Oeste, onde está situada 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros. Esta complementariedade se torna ainda mais relevante ao se considerar que as novas usinas hidroelétricas brasileiras não possuem reservatórios de acumulação o que resulta em uma redução da capacidade de regularização da oferta hidroelétrica ao longo de todo o ano. Isto tornará cada vez mais importante a geração complementar ao parque hidroelétrico operando na base do sistema durante o período seco do ano (CASTRO et al., 2010a).

Portanto, existe uma série de motivos que justificam investimentos em plantas de co-geração eficientes aptas a comercializarem expressivos montantes de eletricidade. Neste sentido, se faz necessário o exame do potencial de geração de bioeletricidade e os entraves existentes para a viabilização deste potencial com o objetivo de se testar a hipótese principal deste artigo: a contribuição que a produção de bioeletricidade pode dar para a sustentabilidade da indústria do Estado de São Paulo.

O potencial de geração de bioeletricidade no Estado de São Paulo em 2020 é função da oferta de biomassa residual disponível e das rotas tecnológicas adotadas. Cabe destacar, que é preciso se ter cuidado ao se falar de potencial, pois existem diversos tipos de potencial. O potencial teórico é aquele definido por condições físicas e climáticas. Deste potencial, apenas uma fração é aproveitável porque existem restrições de ordem técnica que definem o potencial técnico de produção. Por sua vez, o potencial econômico é a fração do potencial técnico viável

---

<sup>5</sup> O processo de co-geração consiste na produção de mais de uma forma de energia (energia térmica e energia mecânica a ser ou não convertida em energia elétrica) a partir de um único insumo energético. Esta rota tecnológica é capaz de ter eficiências energéticas globais superiores a 80% em contraste com a geração termoeletrica convencional que mesmo tratando-se de uma planta ciclo combinado não consegue atingir eficiências superiores a 55%.

financeiramente de ser explorado. Neste sentido, ao se referir a potencial de geração o foco analítico é o potencial econômico.

De acordo com COGEN (2011), a safra de cana de açúcar no Estado de São Paulo em de 2020 será de 466 milhões de toneladas de cana de açúcar. Entretanto, o insumo para geração de eletricidade é a biomassa residual do processo produtivo de etanol e açúcar: bagaço e palha. Logo, se faz necessária uma projeção da disponibilidade destes insumos.

Como fora dito anteriormente, o bagaço já se encontra no pátio da usina e, portanto, é um insumo disponível a ser utilizado em sua totalidade. Em contrapartida, a definição do percentual da palha a ser utilizado é uma variável que precisa ser analisada com cuidados. Em primeiro lugar, é preciso se ressaltar que é um pressuposto plausível a permanência de 50% da palha no campo por razões agrônomas. No que se refere aos outros 50%, o quanto deste montante será efetivamente utilizado é uma questão controversa. A dificuldade em se saber de antemão este percentual se fundamenta no custo de transporte da palha do campo até a usina, pois tal custo faz com que dependendo da distância entre o canavial e a usina não seja viável economicamente o aproveitamento da palha com fins energéticos.

Ao mesmo tempo, não existe até o momento um consenso em relação à rota tecnológica mais apropriada para coleta, transporte, limpeza, armazenamento e queima da palha. Na falta de definição de uma rota tecnológica, é difícil estimar os investimentos e custos associados à utilização da palha para a geração de energia elétrica e por consequência para determinar sua viabilidade econômica. O que pode ser prospectado sobre o uso da palha é que, dado o seu efetivo potencial energético, o avanço tecnológico e a busca por maximização da geração de energia elétrica, deve se tornar uma realidade no curto/médio prazo. Como o horizonte temporal deste artigo é 2020, se adotará o pressuposto de utilização de 40% da palha.

A partir da disponibilidade de biomassa, é preciso se definir a rota tecnológica a ser adotada para que se possa fazer estimativas do potencial de geração de bioeletricidade em 2020. Historicamente, em linhas com o objetivo de queima do bagaço, se adotou plantas de co-geração de baseadas no Ciclo Rankine com caldeiras de baixa pressão. Esta configuração é capaz de gerar modestos 12 kWh por tonelada de cana processo, quantidade suficiente para o atendimento da demanda energética dos processos produtivos de etanol e açúcar. No entanto, a reforma do setor elétrico brasileiro ao criar condições para a comercialização de excedentes de energia elétrica nas usinas sucroenergéticas tornou necessária a discussão referente às rotas tecnológicas capazes de gerarem maiores montantes de energia elétrica e suas respectivas viabilidade econômica.

A rota tecnológica disponível e viável economicamente atualmente é uma planta de co-geração Ciclo Rankine com caldeiras de alta pressão e presença de um condensador. Concomitantemente, podem ser adotadas medidas de redução do consumo de energia no processo produtivo de etanol e de açúcar através, por exemplo, da eletrificação de acionamentos mecânicos (CORRÊA NETO e RAMÓN, 2002).

Embora estejam disponíveis caldeiras de 100 bar, neste trabalho se adotará o pressuposto que as usinas possuem plantas com caldeiras de 67 bar. Esta hipótese tem como base o fato das plantas construídas ou reformadas recentemente possuem caldeiras nesta faixa de pressão e não é plausível se imaginar que em um horizonte de 10 anos estas usinas realizem novos investimentos, tendo em vista que os investimentos já realizados recentemente não terão sido amortizados. De acordo com DEDINI (2010), uma planta com estas características é capaz de gerar 103 kWh excedentes por tonelada de cana processada a serem comercializados.

Em termos de viabilidade econômica e financeira, plantas de extração e condensação se apresentam como extremamente competitivas. Conforme CASTRO et al. (2010b), o custo unitário do investimento em plantas deste tipo variam entre R\$ 2.300,00 e R\$ 3.000,00 por kW instalado e são extremamente sensíveis a escala da planta com usinas que processam 3 milhões de toneladas de cana chegando a ter um custo unitário do investimento 30% inferior aquele verificado para usinas que processam 1 milhão de toneladas de cana por safra. Neste sentido, os autores ressaltam a relevância do processo de consolidação do setor e aumento da escala média de moagem das usinas<sup>6</sup> para a promoção da bioeletricidade no Estado de São Paulo. Com este patamar de custos, a comercialização de bioeletricidade é extremamente competitiva com fontes convencionais de geração de energia elétrica.

A segunda rota tecnológica a ser analisada é a geração de eletricidade em plantas de co-geração que utilizem turbinas a gás. Para que isso seja possível, é preciso a gaseificação da biomassa, que é um processo de conversão termoquímica de produção de um gás energético a partir de um combustível sólido. Neste trabalho, os parâmetros de produtividade e de custos se referem a uma planta gaseificação ciclo combinado que utiliza um gaseificador pressurizado com oxigênio como agente gaseificante. Esta configuração se justifica pela escala expressiva disponibilidade de biomassa de uma usina sucroenergética que aproveite a palha para fins energéticos e pela necessidade de se produzir um gás de melhor qualidade de forma a minimizar problemas com a turbina a gás.

De acordo com SEABRA (2008), uma planta com estas características seria capaz de produzir algo da ordem de 200 kWh por tonelada de casa com um custo unitário do investimento em torno de R\$ 4.200,00 por kW instalado. O autor resalta que para ser viável economicamente a tarifa a ser paga pela eletricidade comercializada em uma planta com estas características deve ser da ordem R\$ 180,00 por MWh, logo bastante acima do preço atual da energia no Brasil. Portanto, esta rota tecnológica ainda não é competitiva, mas é preciso se prospectar que ganhos de escala e de aprendizado poderão a torná-la competitiva no médio prazo.

Com base na estimativa da safra canavieira paulista em 2020 e das rotas tecnológicas consideradas, é possível se projetar a produção de bioeletricidade a ser comercializada nas usinas do Estado de São Paulo em 2020. Cabe destacar, que o pressuposto adotado neste trabalho é que toda a bioeletricidade será produzida durante o período da safra que é justamente aquele onde a energia tende a ter um maior valor por ser coincidente com o período seco da Região Centro Sul.

A rota tecnológica de extração e condensação seria capaz de produzir aproximadamente 48 TWh a serem exportados para a rede elétrica paulista. Por sua vez, a tecnologia de gaseificação da biomassa possibilitaria uma produção de 93 TWh em 2020.

Segundo SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA (2009), o consumo de energia elétrica do setor industrial do Estado de São Paulo em 2020 deverá ser da ordem 84 TWh. Ao se comparar esta perspectiva de demanda com o potencial de geração de bioeletricidade nas usinas sucroenergéticas paulistas, é possível se vislumbrar que a rota tecnológica de turbinas de extração e condensação pode atender a 57% da demanda da indústria paulista por energia elétrica. Por sua vez, a rota de gaseificação de biomassa com ciclo combinado permitiria atender a demanda de toda a indústria paulista com bioeletricidade e ainda restariam 9 TWh.

---

<sup>6</sup>Entre as safras 1999/2000 e 2008/2009 a moagem média por usina no Estado de São Paulo aumento de 1,4 milhões de toneladas de cana de açúcar para 2,0 milhões de toneladas de cana de açúcar, um crescimento de 42,4%. Por sua vez, a mediana cresceu 49% (CASTRO et al., 2010b).

Além de promover a segurança energética do setor industrial paulista, esta participação expressiva da bioeletricidade no atendimento da carga da indústria paulista resultaria em uma considerável redução da emissão de gases do efeito estufa na produção de bens industrializados. Com base em um fator de emissão do setor elétrico brasileiro de 267,7 kg de CO<sub>2eq</sub> por MWh gerado<sup>7</sup>, é possível se estimar as reduções de gases do efeito estufa oriundas da bioeletricidade. A tecnologia de extração-condensação seria capaz de evitar a emissão de 12,8 milhões toneladas de CO<sub>2eq</sub> enquanto que no caso da rota de gaseificação<sup>8</sup> seriam 22,5 milhões toneladas de CO<sub>2eq</sub>. Considerando um preço extremamente conservador de 10 euros por tonelada de carbono, as emissões evitadas teriam um valor respectivo de 128 e 225 milhões de euros.

Pode-se argumentar que estes ganhos econômicos não podem ser monetarizados porque o Brasil não possui compromisso de redução de emissões de gases do efeito estufa e a oportunidade representada pela comercialização de créditos de carbono se apresenta cada vez mais difícil<sup>9</sup>. Contudo, este argumento precisa ser relativizado porque a necessidade de priorizar projetos de geração com menores emissões de gases do efeito estufa se fundamenta na possibilidade do Brasil ser futuramente obrigado a participar de algum internacional que estabeleça metas compulsórias de redução da emissão de gases do efeito estufa e mesmo no caso em que não haja obrigatoriedade a produção de bens ambientalmente sustentáveis já é, e será cada vez mais, um diferencial de competitividade no âmbito da economia verde e a indústria paulista tem condições de atender estas exigências a um menor custo que seus concorrentes internacionais, ao menos no que se refere ao atendimento da demanda por energia elétrica.

No entanto, é necessário se examinar as perspectivas deste potencial de fato ser explorado. Inicialmente, é preciso se ter ciência que a viabilidade econômica de projetos *retrofit* exige que a comercialização de energia ocorra a um preço maior que o preço necessário para viabilizar projetos *greenfield* e isto ocorre porque projetos *retrofit* possuem um custo de oportunidade de substituir equipamentos de geração e do processo industrial que ainda têm condições de uso. Além disso, são requeridos investimentos, por vezes expressivos, na eficiência energética da produção de etanol e açúcar a fim de liberar energia para a importação de eletricidade. Este tipo de usina costuma realizar investimentos em plantas mais eficientes apenas quando já há uma expansão programada da planta industrial, que levaria necessariamente à substituição de alguns dos equipamentos industriais. Portanto, diante a competitividade da tecnologia de extração e condensação e do processo de aumento da escala produtiva das plantas, é uma hipótese consistente imaginar que todo potencial baseado nesta rota seja implementado em 2020.

Em contrapartida, a gaseificação da biomassa com ciclo combinado ainda não é uma tecnologia madura. Neste sentido, a exploração do potencial da biomassa residual canavieira em 2020 com base nesta tecnologia deve ser vista com ressalvas, especialmente porque usinas que realizar\m investimentos em plantas de co-geração de extração condensação recentemente ou que realizem tais investimentos nos próximos anos, dificilmente realizarão novos investimentos em co-geração em um horizonte de dez anos ou mais. Desta forma, a viabilização desta tecnologia por todo o setor sucroenergético paulista exigiria políticas públicas fundamentadas nos ganhos de produtividade que

---

<sup>7</sup> Ver Comitê Executivo do MDL (2005).

<sup>8</sup> Está se considerando apenas a geração que vai atender a demanda de energia elétrica industrial.

<sup>9</sup> No âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, para se obter créditos de carbono é preciso se comprovar a adicionalidade do projeto, ou seja, que em bases estritamente econômicas o projeto não seria implementado. Diante a competitividade da bioeletricidade, sobretudo de projetos *greenfield*, tem se tornado cada vez mais difícil a obtenção de créditos de carbono associados a produção de bioeletricidade nas usinas sucroenergéticas.

representariam uma maior contribuição da bioeletricidade canavieira para a promoção do desenvolvimento sustentável no Estado de São Paulo.

## **Conclusões**

A adoção de uma trajetória de desenvolvimento sustentável é essencial no objetivo de se promover o desenvolvimento econômico sem comprometer as condições de vida das gerações futuras. A sustentabilidade do desenvolvimento está diretamente associada ao comportamento do setor energético, porque energia é um insumo essencial para a melhoria da qualidade de vida que, no entanto, gera impactos ambientais substanciais.

A necessidade de expandir a oferta de energia de forma a atender à crescente demanda energética mundial e ao mesmo tempo mitigar as alterações climáticas exige medidas de eficiência energética e uma maior participação de fontes renováveis de energia.

O Brasil possui uma expressiva participação de fontes renováveis de energia em sua matriz energética em contraste com a matriz energética mundial. Contudo, o consumo de energia no Brasil ainda é reduzido e a importância de algumas indústrias intensivas em energia na economia brasileira torna necessária uma especial atenção no que diz respeito ao perfil da expansão da oferta brasileira de energia com vistas a manutenção de sua reduzida intensidade em carbono.

A economia paulista merece uma análise específica pelo expressivo consumo de energia elétrica do seu setor industrial e ao mesmo tempo pelas potencialidades oriundas da produção de energia elétrica nas usinas de cana de açúcar a partir da biomassa residual do processo produtivo de etanol e açúcar. Mesmo com base em premissas conservadoras, onde se projeta uma safra paulista de cana em 2020 igual a safra de 2008/2009 e com a utilização de apenas 40% da palha em plantas de cogeração com usinas de extração-condensação, seria possível se atender aproximadamente 43% da demanda da energia elétrica do setor industrial do Estado de São Paulo. Esta produção resultaria em evitar grande quantidade de emissões de gases do efeito estufa, tornando os produtos da indústria paulista competitivos no âmbito dos preceitos da economia verde. Porém, precisam ser equacionados os entraves que ainda inviabilizam a exploração deste potencial em sua totalidade, apesar desta rota ser madura tecnologicamente e competitiva em termos econômicos.

Ao se adotar, uma rota tecnológica mais avançada, o potencial de geração de bioeletricidade quase que dobra, sendo possível se atender 82% da demanda da indústria paulista com bioeletricidade. Entretanto, a gaseificação da biomassa associada a plantas de ciclo combinado ainda não é uma tecnologia viável economicamente e se fazem necessários investimentos em pesquisa no curto prazo e posteriormente políticas públicas que incentivem a adoção desta tecnologia.

## **Referências**

BÜRGENMEIER, Beat. *Economia do Desenvolvimento Sustentável*. Instituto Piaget. Lisboa, 2005.

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; DANTAS, Guilherme de A. *Considerações sobre a ampliação da geração complementar ao parque hídrico brasileiro*. Texto de Discussão n. 15. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2010a.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *O Potencial da Bioeletricidade, A Dinâmica do Setor Sucroenergético e o Custo Estimado dos Investimentos*. Texto de Discussão n. 24. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2010b.

COGEN. *Projeções das Safras de Cana no Estado de São Paulo*. Contato Pessoal. 2011.

COMITÊ EXECUTIVO DO MDL. Documento de Concepção de Projecto de Cogeração com Bagaço Vale do Rosário. 2005.

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

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.

DEDINI. *Estimativas de Custos de Projetos de Co-geração de Bioeletricidade*. Contato Pessoal. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. *Resultados Preliminares – BEN 2008*. Rio de Janeiro, 2008.

GOLDEMBERG, José; JOHANSSON, Thomas B.; REDDY, Amulka K.N.; WILLIAMS, Robert H. *Energia para o Desenvolvimento*. T.A. Queiroz, Editor. São Paulo, 1988.

GOLDEMBERG, José; JOHANSSON, Thomas B. *The Role of Energy in Sustainable Development: Basic Facts and Issues*. In: *Energy for Sustainable Development: a policy agenda*. UNDP. 2002.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Outlook 2009*. IEA. Paris, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2010*. IEA. Paris, 2010.

KITAYAMA, O. *Bioeletricidade: Perspectivas e Desafios*. In: III Seminário Internacional de Energia Elétrica – GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

LA ROVERE, Emilio.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, MME. *Resenha Energética Brasileira. Exercício de 2009 (versão preliminar)*. Brasília, 2010.

NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *Mudança do Clima: Negociações internacionais sobre a mudança do clima/Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima*. Vol.I, Brasília-DF, 2005a.

NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *Mudança do Clima: Mercado de Carbono*. Vol.II, Brasília-DF, 2005b.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). *Sumário para os Formuladores de Política – Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC*. Paris, 2007.

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz; ALMEIDA, Edmar Fagundes de; BOMTEMPO, José Vitor; IOTTY, Mariana; BICALHO, Ronaldo Goulart . *Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial*. Elsevier. Rio de Janeiro, 2007.

SEABRA, Joaquim Eugênio Abel. *Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil*. Tese de Doutorado. Unicamp. Campinas, 2008.

SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Projeção de Consumo de Energia e Energéticos e de Emissões de CO<sub>2</sub>, São Paulo, 2008-2020*. São Paulo, 2009.