

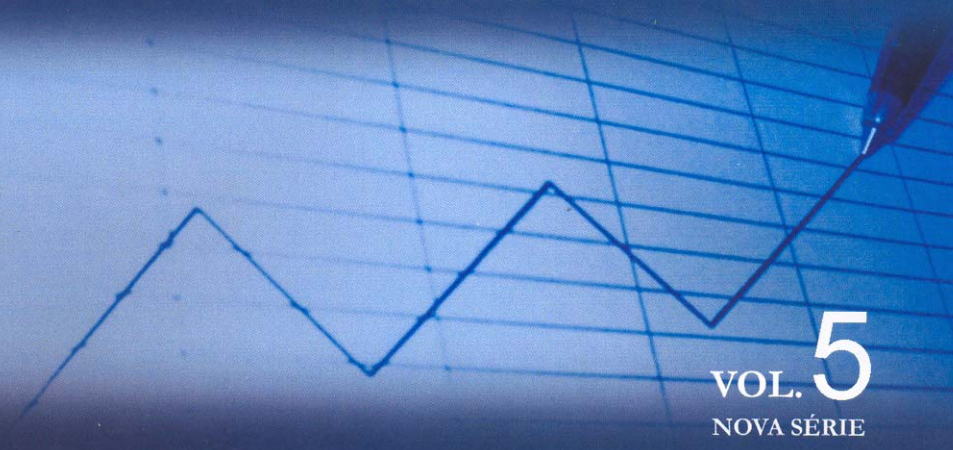
# NAIPPE

NÚCLEO DE ANÁLISE INTERDISCIPLINAR  
DE POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS  
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

USP

## Cana de Açúcar: Usando todo o seu potencial Energético

*Jayme Buarque de Hollanda  
Pietro Erber*



VOL. **5**  
NOVA SÉRIE

# **Cana de açúcar: Usando todo seu potencial energético:**

**Jayme Buarque de Hollanda  
Pietro Erber**

**NAIPPE/USP**

Apoio:

**CNPq**

**Pró-reitoria de Pesquisa USP**

**Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas e Estratégias  
da Universidade de São Paulo**

**NAIPPE**

**Conselho Editorial**

**Eduardo Massad**

**Professor Titular do Departamento de Patologia e Chefe da Disciplina Informática Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo**

**F.A.B Coutinho**

**Professor Associado do Departamento de Patologia e Informática Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo**

**Luis Fernandez Lopez**

**Professor Associado de Departamento de Patologia e Informática Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo**

**Marcelo Nascimento Burattini**

**Professor Associado do Departamento de Patologia e Informática Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo**

**Braz José de Araújo**

**(in memoriam)**

**Professor Associado do Departamento de Ciência Política da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo; Coordenador Científico do Naippe/USP**

**Organização e Revisão**

**Vilma Duarte Sanchez**

**Ilustrator**

**Renato Micheletti de Souza**

**NAIPPE/USP**

**Rua Teodoro Sampaio, 115 – São Paulo – SP – Brasil  
CEP 05405-000 – Fone: (011) 3061-7435 – Fax: (011) 3061-7382-**

## Índice

Biografia dos autores	03
Prefácio	05
Introdução	07
1- A cana de açúcar como fonte de energia	08
2- Uso de energia na produção sucro-alcooleira	08
3- Usina sucro-alcooleira como exportadora de energia elétrica	09
4- Uso energético da cana - outras oportunidades	12
5- Conclusões e lições	15



## **Biografia dos autores**

**Jayme Buarque de Hollanda** é engenheiro formado na PUC -RJ

Engenharia Elétrica/Eletrônica - 1965;

Estatística ENCE - RJ - 1967

Pós-graduação Automação - ENSA, Paris, França - 1966/1967.

Atualmente exerce o cargo de diretor geral do Instituto Nacional de Eficiência

Energética - INEE;

onde coordena e gerencia vários projetos do Instituto; Presidente do Conselho Diretor da Associação

Brasileira de Veículos Elétricos; Conselheiro Editorial da revista HIBRIDA; Consultor independente;

Conferencista em diversos eventos na divulgação da eficiência energética e aspectos específicos

estudados pelo INEE;

Exerceu funções anteriormente como; diretor e coordenador de projetos nas empresas:

ELETROBRÁS; EMBRATEL; SIGAME/WBP; ELETROSUL; CEMIG; ELESC;

CELPA; CIRPRESS; ABVE- Associação

Brasileira do Veículo Elétrico; COGEN-RJ; PROCEL; COPERSUCAR; BNDES.

Colunista da ELETRICIDADE MODERNA,

CANAL ENERGIA e Portal GD; Fundador do World Alliance for Decentralized Energy - WADE e membro do Conselho

Diretor, até 2005. Com vários artigos publicados nesta área, participações nas discussões e negociações econômicas

com empresas de energia elétrica e de telecomunicações, estudou a viabilidade do primeiro cabo submarino intercontinental

de telecomunicações saindo do Brasil e responsável pelo esquema tarifário de chamadas telefônicas nacionais de longa distância.

**Pietro Erber** é engenheiro elétrico formado na Escola Nacional de Engenharia - 1961 - atual Escola de Engenharia da UFRJ;

mestrado em engenharia ( sistemas elétricos ) no Rensselaer Polytechnic Institute, em Troy, NY, EUA - 1966;

Profissional atuante na área de engenharia elétrica desde 1962 – como engenheiro de Divisão de Energia e Deptos. de Projetos nas empresas:

- BNDES(1962-1965); IPEA(1966-1968); ELETROBRÁS(1968-1996);

ESCELSA (1991-1992);- CERJ(1993-1994); CEEE(1995-1996); ELETROBRÁS (2000-2003).

Atividades internacionais:

1975 a 2005: participou de diversos comitês de planejamento como: CIGRE -

Conferência internacional de Grandes Redes Elétricas; CIER - Comissão

de Integração Elétrica Regional; CME - Conselho Mundial de Energia. Participa do

grupo de trabalho internacional como encarregado da formulação de cenários políticos-energéticos até 2050, como representante do Brasil.

Consultoria desde 1997 a 2007 para as empresas: BID; Ministério de Ciência e Tecnologia; Comitê Brasileiro do Conselho Mundial de Energia; Banco Mundial;

Banco Dresdner, participou do grupo de consultoria (RCW/JLA) contratado pela ANEEL no desenvolvimento da metodologia para avaliação do Fator X ( incidentes nas atualizações tarifárias), e nas avaliações das projeções do mercado da CPFL e COELCE quanto a suas revisões tarifárias. Publicou diversos artigos no jornal Valor Econômico e no Canal Energia.

Atualmente, exerce o cargo de diretor do INNE - Instituto Nacional de Eficiência Energética e Conselheiro da ACRJ - Associação Comercial do Rio de Janeiro.

## **Prefácio**

Para este número, contamos com dois especialistas na área de energia no Brasil; os engenheiros: Jayme Buarque de Hollanda e Pietro Erber. Ambos do Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE.

O assunto é: o uso eficiente do bagaço de cana.

Como sempre, o NAIPE procura especialistas que estejam com "a mão na massa".

Os dois engenheiros que nos brindam com este ensaio, são pessoas com muita energia e enorme dedicação.

Vivem pensando energia e suas implicações para o Brasil e para o mundo.

Estamos seguros de que vocês leitores, gostarão muito de ler a síntese que segue sobre este assunto tão importante.





# Cana de açúcar: usando todo seu potencial energético

Jayme Buarque de Hollanda  
Pietro Erber

*“I foresee the time when industry shall no longer denude the forests which require generations to mature, nor use up the mines which were ages in the making, but shall draw its raw material largely from the annual products of the fields. I am convinced that we shall be able to get out of the yearly crops most of the basic materials which we now get from forest and mine.”*

Henry Ford, quoted in *Modern Machine*, 1934.

## Introdução

Em resposta às crises do petróleo nos anos 70 e 80, foram feitas diversas tentativas em todo o mundo para substituir derivados do petróleo por fontes renováveis. A única experiência de grande porte, com êxito, foi o uso energético da cana, no Brasil. O país produzia apenas 15% de sua necessidade de petróleo e decidiu desenvolver o álcool como substituto da gasolina.

Em apenas dez anos o álcool já superava a gasolina como combustível automotivo, e reduzia o impacto na balança comercial de dezenas de bilhões de dólares. Isto exigiu transformações radicais do mercado consumidor e do setor produtivo e de logística para introduzir em todo o território um novo combustível líquido. Investimentos em desenvolvimento tecnológico<sup>1</sup> aumentaram a produtividade agrícola<sup>2</sup> e industrial. Melhorou, também, a eficiência de conversão do caldo da cana em álcool, que hoje se aproxima dos limites teoricamente possíveis<sup>3</sup>.

Apesar de reduzir os custos de produção, quando os preços do petróleo caíram, em meados dos anos 80 o programa do álcool - PROALCOL, que ainda dependia de subsídios, quase foi extinto, em diversas ocasiões. Isto não ocorreu porque era o único combustível que poderia acionar uma frota que já compreendia 5 milhões de carros. e porque diversas crises internacionais – guerras Irã-Iraque, do Golfo e outros conflitos - contribuíram para lembrar que a geopolítica da energia não recomendava que o país descartasse esta o álcool automotor. Neste cenário incerto, entretanto, não se desenvolveu o aproveitamento do potencial energético da cana de forma integral, que incluía a geração elétrica. A produção apenas do etanol impôs uma realidade de notável desperdício, que ainda prevalece mas que começa a mudar.

O texto a seguir explora as principais possibilidades de aumento da eficiência na utilização da cana de açúcar como fonte de energia. Existem hoje condições legais e interesse de todos os envolvidos – indústria sucro-alcooleira, setor elétrico e governo -

---

<sup>1</sup> Macedo, I e Horta Nogueira, LA, Cadernos NAE 02/2005, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República NAE, pág. 135

<sup>2</sup> que saltou de 70 t/ha por ano para os atuais 80 t/ha

<sup>3</sup> Macedo, I e Horta Nogueira, LA, Cadernos NAE 02/2005, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República pág. 133 e 136

que podem levar a uma evolução virtuosa para aumentar a geração elétrica, apenas aumentando a eficiência energética na agro-indústria, sem aumento da área plantada. Essa geração poderá ser acelerada e ampliada, com vantagens significativas para a economia do setor canavieiro e do país, associada a efeitos ambientais positivos tanto a nível local quanto global.

As causas do desperdício observado por anos a fio devem ser bem avaliadas e compreendidas para que sejam eliminadas. Esta reflexão é particularmente importante para o Brasil, pois algumas lições podem ser estendidas ao aproveitamento energético de outras biomassas.

## **1. A Cana de Açúcar como fonte de energia**

Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN, o conteúdo energético da cana de açúcar produzida em 2006 foi de 35 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), cerca de 15 % das energias primárias do Brasil (energias debitadas da natureza – petróleo, carvão, gás natural, cana, etc...), maior fonte depois do petróleo. Superou, inclusive, a energia hidráulica responsável pela geração hidrelétrica.

A referida estatística, na verdade, subestima a importância da cana na matriz energética ao omitir a energia das palhas, que pode ser transformada em energia junto com o bagaço e que tem um conteúdo energético aproximadamente equivalente ao do caldo e ao do bagaço da cana<sup>4</sup>. Ela também não inclui o caldo destinado à produção de açúcar. Para manter coerência com o critério empregado para o gás natural, a energia contida no caldo destinado à produção de açúcar deveria ser computada como uso “não energético”, em rubrica específica do BEN.

Quando, para efeito de comparação, se consideram estes fatores, conclui-se que a cana da safra de 2006 tinha um conteúdo energético de 71 Mtep, equivalente a uma produção de 1,4 milhões de barris de petróleo por dia, ou seja, próxima da produção brasileira de petróleo naquele ano.

No entanto, apenas 10 Mtep foram efetivamente usadas pela sociedade como energia<sup>5</sup>. Assumindo que a energia do caldo tenha sido integralmente transformada em álcool, conclui-se que grande parte da energia do bagaço e das palhas originalmente disponível no campo é sub-utilizada ao longo das cadeias de transformação.

## **2. Uso de Energia Na Produção Sucro-Alcooleira**

A atividade sucro-alcooleira demanda energia no processamento industrial que transforma a energia do caldo em álcool e também no preparo e tratamento do solo, colheita e transporte da cana entre o campo e a destilaria.

O processamento industrial da cana necessita de expressiva quantidade de energia térmica para o cozimento do caldo, secagem do açúcar e destilação do álcool e de energia mecânica para movimentar e moer a cana. Originalmente, calor era suprido com

---

<sup>4</sup>Uma tonelada de cana no campo contém a energia equivalente àquela de 1,2 barris de petróleo, dividida em partes aproximadamente iguais, entre a sacarose do caldo, o bagaço e as palhas (pontas e folhas). Na colheita tradicional a palha era queimada no campo. A legislação ambiental prevê acabar com as queimadas em dez anos.

<sup>5</sup> 9,3 Mtep de álcool, dos quais 2,1 Mtep foram exportados, 0, 7 Mtep de energia elétrica. O equivalente a 18,0 Mtep foram destinados a usos não energéticos (açúcar, cachaça, alimentação animal etc.).

a queima de madeira das florestas nativas<sup>6</sup> e a energia mecânica, com tração animal (inclusive escravos) e rodas d'água.

Ao longo do século XX, as usinas passaram a usar energia elétrica e óleo combustível como insumos energéticos. Esta tecnologia foi alterada em seguida à crise do petróleo, quando o programa do PROÁLCOOL programou a substituição de gasolina por álcool com metas que multiplicavam por trinta a produção de álcool em dez anos<sup>7</sup>.

Como não pudesse basear essa expansão no uso de um derivado do petróleo e muito menos voltar a usar madeira das florestas já bastante devastadas, a indústria teve que dominar a tecnologia de uso do bagaço como principal combustível, com sistemas de cogeração que produzem o vapor para o processo e geram localmente a energia elétrica necessários à indústria. Com este arranjo a parte industrial do setor sucro-alcooleira ficou independente do ponto de vista energético. No final de 2006, tinha 2584 MW<sup>8</sup> instalados, 2,7% da potência elétrica instalada no país.

A dependência de fontes externas de energia ficou resumida ao combustível usado pelos caminhões e máquinas agrícolas no plantio, colheita e transporte da cana. Foram testados caminhões a álcool, mas apenas os motores diesel se mostraram adequados para atender as elevadas potências (acima de 300 CV) das máquinas usadas nestas atividades<sup>9</sup>. Em 2006, para produzir e transportar 426 milhões de toneladas de cana, que produziram 18 bilhões de litros de álcool e 27 milhões de toneladas de açúcar, os autores estimam que foram consumidos 1,3 bilhões de litros de diesel, 3% do diesel comercializado no país.

A relação entre a energia contida no álcool produzido e aquela do combustível fóssil utilizado na sua produção era, em média, de 8,3:1, em 2004. Enquanto novos progressos tecnológicos tendem a aumentar essa relação, o aumento das áreas de plantio destinadas às novas usinas, em média de maior porte do que as atuais, tendem a diminuí-la, à medida que as distâncias médias de transporte aumentem. Esta dependência do álcool da cana em relação aos combustíveis fósseis é, no entanto, muito inferior à do álcool obtido a partir da beterraba ou do milho, na Europa e nos EUA.

### **3. Usina sucro-alcooleira como exportadora de Energia Elétrica**

A pressão das caldeiras das indústrias instaladas no contexto do PROÁLCOOL foi padronizada em 22 bar, uma pressão relativamente baixa, em que as centrais de energia atuam também como “piras” de bagaço. Nestas condições, a usina atende suas necessidades e pode, com algum investimento, gerar e exportar para a rede pública até 10 kWh excedentes por tonelada de cana processada (tabela I). À medida que a pressão da caldeira e a temperatura do vapor aumentam, cresce a eficiência energética<sup>10</sup> do processo. Assim, uma caldeira de 80 bar, usando a mesma quantidade de bagaço, pode exportar entre 40 e 60 kWh por tonelada de cana moída.

---

<sup>6</sup> Já no século XVIII, entretanto, Padre Antonil relata o abandono de engenhos por falta de lenha em sua vizinhança !Cultura e Opulência do Brasil por suas Drogas e Minas, Andreoni GA (Antonil)

<sup>7</sup> De 500 milhões de litros/ano para 13 bilhões.

<sup>8</sup> BEN 2007

<sup>9</sup> Para o plantio, colheita, transporte e outras operações no campo são consumidos cerca de 3 litros de óleo diesel por tonelada de cana.

<sup>10</sup> (Energia do vapor + Energia elétrica) / Energia do bagaço

As usinas também podem gerar durante a entressafra, utilizando bagaço e palhas estocadas durante a safra. Com isto, quase dobra o potencial de exportação de energia elétrica. Cálculos dos autores mostram que os investimentos em sistemas de extração/condensação e na construção de pátios para estocar a biomassa são compensadores.

Tecnologia		Sazonalidade	Energia Excedente	Potencial Brasil		Consumo Brasil <sup>11</sup>
			kWh/tc	TWh	MW méd	%
Sist. a Vapor	TG contrapressão 22 bar – 300°C	Safra	0 – 10	3,5	800	1,1
	TG contrapressão 80 bar – 480°C	Safra	40 - 60	21,0	4.800	6,5
	TG extração/condensação 80 bar – 480°C	Ano todo	100 - 150	52,5	7.000	16,3
Gaseificação/TG		Ano todo	200 - 300	105,0	14.000	32,6

TABELA I – Potencial de Exportação de Energia das Usinas Sucro-alcooleiras<sup>12</sup>

A última linha da Tabela I, da gaseificação, é discutida mais adiante.

As usinas de cana, além da energia, oferecem algumas vantagens para o sistema elétrico brasileiro:

- proximidade do mercado: a maioria das usinas estão próximas das cargas, portanto as perdas de transporte são baixas, dispensam grandes investimentos em transmissão e aumentam a confiabilidade do serviço na área;
- rapidez para desenvolvimento: o prazo de desenvolvimento é de dois a três anos, bem inferior ao das usinas convencionais, inclusive térmicas;
- maior confiabilidade: geradores de 40 a 80 MW com diversidade espacial, aumentam a confiabilidade do serviço na sub-transmissão e distribuição;
- sazonalidade complementar à das hidrelétricas: a geração das usinas sucro-alcooleiras, sobretudo na região Sudeste, complementa a das hidrelétricas<sup>13</sup> visto que coincide com os meses de menor afluência hidrológica e de depleção dos reservatórios, o que aumenta a quantidade de energia disponível no sistema instalado.
- garantia do sistema: as usinas que operam apenas na safra podem ser equipadas para operarem com outro combustível além da biomassa, adicionando reservas de baixo custo para o sistema.

A coluna **Consumo Brasil**, à direita da tabela I, apresenta o potencial teórico de produção em relação ao consumo em 2002. São números expressivos que não podem ser simplesmente esquecidos e levantam a dúvida sobre quais as razões para este desperdício. De um lado esta atividade não se ajustava à cultura do setor elétrico e de outro as empresas de cana viam dificuldade para abrir um novo negócio de capital

<sup>11</sup> Dados relativos a 2002.

<sup>12</sup> Macedo, I e Horta Nogueira, LA, Cadernos NAE 02/2005, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República NAE, pág. 141

<sup>13</sup> Trabalhando com esta diversidade os operadores do sistema elétrico conseguem operar as hidrelétricas de forma mais racional e com menos incerteza de risco, o que, na prática, faz com que o sistema instalado produza mais energia.

intensivo e muito diferente das suas atividades tradicionais. Além disso, nos anos 90, a queda dos preços do petróleo e, ao mesmo tempo, a valorização da moeda brasileira prejudicavam duplamente a economia do setor de cana.

A modificação radical destes fatores, já no final do século, modificou o panorama do álcool combustível, que ficou mais barato do que a gasolina. Pressionadas pelos consumidores, as montadoras introduziram os carros “flex” em 2004, revigorando o mercado do álcool que, no plano internacional, também passou a despertar interesse como oxigenador da gasolina, para substituir o poluente MTBE, que é derivado do petróleo. A opção pelo álcool do milho por sua vez amplia o mercado desse combustível. A difusão de sua produção, com excedentes exportáveis, envolvendo outros países, é o elemento que falta para sua caracterização como “commodity”.

Não obstante, mesmo durante a crise de 2001, a geração de energia elétrica da cana não teve um papel proporcional a seu potencial e ao fato de que poderia ser desenvolvida muito rapidamente. Considerada “alternativa”, esta energia foi incorporada ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas – PROINFA que, a título de “incentivo”, ofereceu um preço inferior ao das demais alternativas, inclusive das termelétricas a gás natural.

Embora tenha havido vendas esporádicas de energia para o sistema elétrico desde o início do PROALCOOL, somente a partir do final do século passado, começaram efetivamente as operações de maior porte, à medida que o sistema de vapor de algumas usinas chegava ao fim de sua vida útil, sendo substituído por equipamentos mais eficientes. Foi importante, também, a configuração do novo modelo do setor elétrico (1996), que facilitou o comércio da energia. Em 2004 houve novos avanços no modelo, e em 2006, a oferta de créditos do BNDES em condições atraentes para as instalações de vapor de alta pressão e a criação de novas usinas de cana de grande porte para atender a demanda crescente de álcool levaram muitas usinas a se equiparem para gerar energia elétrica, como parte integrante do negócio.

Em 2007, as vendas ao setor elétrico ultrapassaram 200 MW médios .

Na atualidade, 90% das usinas ainda usam sistemas com pressão de 22 bar, indicando que uma parte importante das vendas de energia para o sistema pode ter esta origem. Estudos no INEE indicam que os investimentos para equipar usinas para produzir energia são perfeitamente compatíveis com as tarifas médias atuais. Não é surpresa que várias usinas já estão se orientando para serem produtoras de energia elétrica, valendo notar que já existem instalações que operam com 92 bar e há notícias de estudos para o uso de pressões ainda mais elevadas.

Aos poucos autoridades e reguladores vão considerar este como um cenário natural, aperfeiçoando normas e diretrizes que pressuponham a geração distribuída, como vem ocorrendo em diversos países. Novos mecanismos de comercialização de geração distribuída começam a ser praticados. Em maio de 2008, por exemplo, no leilão privado de bioeletricidade houve a venda de 44 MW médios (MWm) reunindo 12 vendedores e 23 compradores.

Das novas unidades, geralmente de capacidade maior do que a média atual, muitas estarão situadas em áreas ainda não utilizadas pelo setor sucro-alcooleiro, como o sul de Goiás e Mato-Grosso do Sul, menos servidas por sistemas de sub-transmissão elétrica do que as áreas tradicionais de produção, como o interior do Estado de São Paulo e o norte do Paraná. Assim, paralelamente ao investimento nas novas usinas alcooleiras, será

necessário investir na expansão daquelas redes elétricas, de modo a permitir o escoamento da energia gerada.

Estima-se que a produção de cana salte de 569 milhões de toneladas na safra de 2008 para 728 milhões de toneladas até 2012<sup>14</sup> com um salto equivalente do potencial de geração. Na visão dos autores o aproveitamento da energia elétrica será importante pois, ao diversificar as fontes de renda do negócio da cana, reduz os riscos do negócio trazendo um “hedge” para esta atividade. Estudos do INEE indicam que embora os investimentos variem de usina para usina, estes são viáveis, alguns com expectativa de elevadas taxas de retorno. Observa-se nessa indústria, assim, uma evolução virtuosa, que poderá ser acelerada e ampliada, com notáveis vantagens para a própria e para o país, inclusive reduzindo os custos de transmissão, pela proximidade dessas geradoras em relação ao mercado.

Como o potencial de geração da tabela I é teórico, é importante estimar sua possível contribuição, nos próximos anos. Admite-se que a totalidade da produção incremental seja processada mediante tecnologias energeticamente eficientes e que 20% das usinas existentes sejam modernizadas (o que constitui uma hipótese conservadora, em vista das condições financeiras dessa geração, com *pay-back* estimado pelo INEE em menos de 4 anos). Admite-se ainda que, em média, os excedentes de energia elétrica dessas usinas sejam, em média, de 80 kWh/t. Assim, a produção de energia elétrica disponibilizada por essas usinas seria de 26,2 TWh, correspondentes a uma potência instalada de 5 mil MW ou seja, da mesma ordem de grandeza do crescimento anual de toda a demanda do país. Note-se que essa oferta poderia ser ampliada mediante incentivos ao aumento da eficiência de parcela mais expressiva das usinas já existentes.

#### 4. Uso Energético da Cana – outras oportunidades

Além do aumento da pressão das caldeiras, há diversas oportunidades para aumentar a eficiência energética deste setor que resulta na exportação mais formas e maior quantidade de energia a partir da mesma quantidade de cana plantada e redução de custos dos produtos energéticos da cana. A seguir apresenta-se uma breve discussão sobre algumas das principais possibilidades que os autores consideram mais viáveis e que se encontram em variados estágios de estudo.

- I. **Bio-gás.** A destilação de um litro de álcool produz de 10 a 14 litros de vinhaça. A digestão anaeróbica desse material produz um gás rico em metano e o efluente é usado como um fertilizante menos agressivo que a vinhaça. De uma tonelada de cana é possível produzir gás com um conteúdo energético de  $67 \times 10^3$  kcal, ou seja, da ordem de 10 % da energia do bagaço. Estudo para uma usina que produz 600 mil litros/dia de álcool estima uma produção de biogás de 75.600 Nm<sup>3</sup>/dia que pode gerar, em uma turbina a gás, 6.540 kwh/hora de energia elétrica<sup>15</sup>.

O bio-digestor é um equipamento relativamente simples formado de uma câmara de fermentação onde ocorre a biodigestão da matéria orgânica e é produzido o bio-gás.. O IPT realizou, em seguida ao PROALCOOL, diversas experiências e trabalhos. Na safra 1985/86, foi instalado um protótipo industrial com volume de 500 m<sup>3</sup> que apresentou

---

<sup>14</sup> Média das estimativas do PNE de 04/2008 (CONAB/MAPA);

<sup>15</sup> Fonte:Lamo(1991), citado por Granato, Eder e Silva, Celso L.; “GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO RESÍDUO VINHAÇA“;  
<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0027.pdf>

resultados positivos, mas a experiência foi descontinuada. Na verdade não havia uso para uma nova fonte de energia enquanto as usinas não tivessem como escoá-la. Há notícias de novas experiências que devem ser anunciadas em breve.

- II. **Hidrólise.** Uma alternativa à queima da biomassa é a conversão da celulose deste material em álcool através da hidrólise enzimática ou ácida. Desta forma se aumenta a produção de álcool e se reduz o potencial de geração elétrica que passa a ser feita usando predominantemente o material não celulósico do bagaço e das folhas.

A hidrólise enzimática “é objeto da maior parte dos estudos efetuados atualmente a nível mundial, por oferecer maior conversão e um grande potencial de redução de custos a médio/longo prazo. Há várias opções de processos em estudo hoje, mas nenhum em fase comercial.”<sup>16</sup>

A hidrólise ácida foi usada durante a Segunda Guerra e até hoje produz etanol e metanol em países da antiga União Soviética. No Brasil, houve várias experiências desde 1977, inclusive a implantação, em 1980, da COALBRA, uma fábrica projetada para produzir 30.000 l/dia de etanol, que não teve sucesso econômico. Há pesquisas em curso no Brasil e existe um processo industrial patentado.

- III. **Gaseificação** Neste processo, um reator que opera em altas temperaturas (>1000 °C) provoca uma combustão incompleta da biomassa e produz um gás combustível (basicamente monóxido de carbono - CO) com o qual se pode: (a) gerar energia elétrica em uma turbina a gás ou; (b) produzir combustíveis líquidos pela síntese de Fischer-Tropsch. Neste processo a biomassa é gaseificada à alta temperatura, obtendo-se hidrogênio e monóxido carbônico, além de metano. Os dois primeiros constituem o chamado gás de síntese que passa por um processo catalítico para que se obtenha combustível líquido (SYNFUEL), cujo refino gera produtos semelhantes ao óleo diesel, à gasolina e ao GLP.

A primeira alternativa apresenta a grande vantagem de ter uma alta eficiência de conversão (+ 41%). Nos anos 90, foi desenvolvido o projeto SIGAME (Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira e Produção de Eletricidade) para instalar uma usina de 32,2 MW na Bahia visando testar seu uso na prática. Foram investidos US\$ 15 milhões em estudos que apontaram a viabilidade técnico-econômica do projeto na época. Seu desenvolvimento teve o apoio financeiro do Global Environment Fund - GEF<sup>17</sup>, mas foi descontinuado por dificuldades administrativas.

Como todos os parâmetros mudaram no sentido de aumentar a viabilidade (preço do petróleo mais alto, tecnologia de gaseificação aperfeiçoada, turbinas para gás pobre, melhores e mais baratas, modelo institucional aperfeiçoado), é de se esperar que uma retomada desta proposta resulte em um salto quantitativo de eficiência como se pode constatar na tabela I. (pag. 10)

A segunda alternativa, de transformação do gás em combustível líquido (SYNFUEL), é um processo testado usando gás originado no carvão mineral. Foi usado durante a Segunda Guerra pela Alemanha e hoje é empregado na África do Sul. Há muitas pesquisas em todo o mundo para aperfeiçoar esta rota.

---

<sup>16</sup> Para mais detalhes ver P.A. Soares e C.E.V. Rossell, “Conversão da Celulose pela tecnologia ORGANOSOLV”, NAIPPE, disponível em [www.naippe.fm.usp.br](http://www.naippe.fm.usp.br)

<sup>17</sup> Fundo da ONU para investir na redução das agressões ambientais.



IV. **Veículos Híbridos** A dependência do diesel pelo setor da cana tende a aumentar com a mecanização da colheita e aumento da distância de transporte (hoje em torno de 25 km) que pode até dobrar nas novas usinas cuja capacidade de moagem é de quatro a seis vezes maior que no passado. Este é um sério problema não apenas pelo aumento das incertezas quanto a um item de custo importante mas também porque prejudica a imagem do álcool como uma energia “renovável”. Usar álcool como combustível seria da maior importância pois, além de proporcionar uma redução apreciável dos custos, aumentaria substancialmente a relação entre a energia renovável produzida e a energia fóssil consumida pelo setor sucro-alcooleiro.

A alternativa mais eficiente para resolver este problema é a tração elétrica híbrida<sup>18</sup>. Trata-se de empregar veículos acionados por motor(es) elétrico(s), cuja energia é gerada a bordo por um grupo motor-gerador acionado por motor a álcool. Usado em locomotivas, caminhões de mineradoras e em ônibus urbanos, esta solução pode ser aplicada em caminhões e máquinas agrícolas. O uso de motores a álcool (ciclo Otto) é possível pois a demanda por potência é menor do que a observada no caminhão convencional<sup>19</sup>. Além disso, é possível instalar um ou mais sistemas geradores em paralelo no mesmo veículo.

A tecnologia é muito efetiva em uma movimentação do tipo “arranca-pára”, característica da operação no campo e já é dominada, no Brasil, para acionar ônibus. Portanto, é possível considerar sua aplicação nos caminhões de transporte de cana.

V. **Eletrificação da usina** A maior disponibilidade de energia elétrica nas usinas aumenta as chances de melhorar a eficiência no processo. O salto mais importante esperado ocorre quando se substitui o acionamento das moendas, tradicionalmente feito com turbinas a vapor, por motores elétricos.

Caso o transporte seja eletrificado (ver acima), as próximas gerações de veículos poderão usar a energia elétrica produzida na usina e armazenada em baterias<sup>20</sup>. Além de um grande incremento de eficiência esta possibilidade deve diminuir custos ao reduzir o uso de combustíveis líquidos, seja álcool ou diesel.

VI. **Produtividade agrícola** A produtividade agrícola, que sempre cresceu nos últimos anos, deve manter esta tendência o que redundará necessariamente em maior eficiência. Registre-se, também, que como os objetivos até aqui eram exclusivamente voltados para o setor sucro-alcooleiro, as pesquisas foram sempre orientadas para a produção de açúcares. Com o novo vetor energético da produção elétrica é possível imaginar que a seleção de espécies se oriente para também considerar esta aplicação da cana de açúcar.

VII. **Carvão Vegetal** No Brasil há diversos fabricantes de equipamentos que densificam as biomassas residuais transformando-as em briquetes ou *pellets* de material combustível, hoje comercializado, inclusive para o exterior, como substituto da madeira para combustão direta.

---

<sup>18</sup> Jayme Buarque de Hollanda; palestra de no VE 2006; [www.inee.org.br](http://www.inee.org.br)

<sup>19</sup> O motor a combustão interna opera com o torque e rotações ótimos de projeto e é possível ter mais de um gerador operando em paralelo.

<sup>20</sup> São os chamados veículos “plug-in”

Há também experiências feitas no Brasil para transformar a biomassa residual em carvão vegetal<sup>21</sup> com produção simultânea de voláteis (bio-óleos pirolíticos). A demanda por carvão vegetal para fins siderúrgicos pode aumentar muito na medida que seja cerceada a produção com madeira nativa que hoje atende, de forma criminosa, mais de metade da demanda. O mercado para o alcatrão – uma espécie de petróleo leve sem contaminação – ainda precisa ser organizado mas o produto tem importante potencial comercial, dado que pode ser queimado diretamente, produzir biodiesel e para a obtenção de variados produtos não energéticos.

- VIII. **Outras Oportunidades** Novas atividades energo-intensivas podem ter interesse em se instalar nas proximidades da usina. Um exemplo interessante que vem crescendo nos últimos anos é a industrialização da levedura do álcool. Este material de elevado valor protéico e que era perdido hoje começa a ser produzido para competir com grande vantagem com as fontes tradicionais.

Em síntese, o setor de cana brasileiro, além de exportar quantidades crescentes de energia elétrica para a rede pública, que vai reduzir o uso de gás natural na geração elétrica, é possível substituir a maior parte do diesel consumido na produção e transporte da cana pelo álcool usando tração elétrica.

A perspectiva em médio prazo, portanto é que este setor seja um exportando líquido de importantes quantidades de energia reduzindo ainda mais a dependência aos combustíveis fósseis.

## 5. Conclusão e Lições

Passadas quase três décadas do PROALCOOL pode-se dizer que, apesar do programa ter tido sérias dificuldades e ter passado por caminhos tortuosos, foi um sucesso. O Brasil tornou-se o maior e mais competitivo produtor de álcool etílico do mundo. Logrou assim substituir parte expressiva da gasolina e seus aditivos por uma fonte de energia renovável, em resposta à crise de petróleo da década de 1970 e, com a modernização do parque produtivo, reduziu também os custos de produção do açúcar.

Em termos energéticos, no entanto, foi apenas uma revolução parcial, que se limitou à questão automotiva, problema crucial na crise do petróleo. Hoje, no entanto, existem as condições para completar o ciclo energético do setor sucro-alcooleiro, com o desenvolvimento da geração distribuída.

A virtude menos percebida da produção brasileira de etanol não está no combustível em si, mas na cana de açúcar que, além de produzir os açúcares, fornece a energia que permite seu processamento. Não entender este fato leva a dificuldades hoje observadas onde o etanol tem origem no milho e na beterraba, que reduzem minimamente a dependência de combustíveis fósseis e competem com a produção de alimentos.

O crescimento do negócio elétrico é apenas um início de um processo mais rico que, como visto no exame das novas tecnologias e que deve ter variados desdobramentos dependendo da localização e vocação de cada usina de cana. Colocam-se aí diversas questões: Produzir energia elétrica sazonal ou anualmente? Com que tecnologia? Investir na produção de levedura? Vale a pena desenvolver outros energéticos além da energia elétrica ?

---

<sup>21</sup> Ver mais informações em [www.bioware.com.br](http://www.bioware.com.br)

A experiência já comprova a viabilidade econômica da ampliação do escopo econômico da cana de açúcar, inicialmente dedicada apenas ao açúcar, depois também ao álcool combustível e, mais recentemente, embora em nível incipiente, à produção de energia elétrica destinada ao mercado e à venda de levedura.

Como desafio para as universidades e centros de pesquisa, além da própria indústria de equipamentos, vislumbra-se novo salto de eficiência no uso da biomassa de cana, com sua gaseificação prévia à geração de vapor e eletricidade, que possivelmente triplicaria os excedentes proporcionados pelas caldeiras de alta pressão e outros elementos de projeto das usinas, como a eletrificação das moendas. Em particular, o emprego de sistemas BIG-GT, já estudados e ensaiados em pequena escala no Brasil, poderão ser desenvolvidos não apenas para a utilização da biomassa de cana mas também de outras biomassas, em particular a madeira.

Nova série NAIPPE Cadernos:

- 1- Elementos para uma proposta alternativa para o desenvolvimento do capitalismo no Brasil.  
(Frederico Jayme Katz)
- 2- O setor Sucroalcooleiro e o Domínio Tecnológico.  
(Paulo Augusto Soares / co-autoria: Carlos Eduardo Vaz Rossell)
- 3- Conversão da Celulose pela Tecnológica Organosolv.  
(Paulo Augusto Soares / co-autoria: Carlos Eduardo Vaz Rossell)
- 4- Energia Nuclear para o Brasil: Opção ou Necessidade?  
(Jose Goldemberg)
- 5- Cana de Açúcar: Usando todo o seu potencial Energético.  
(Jayme Buarque de Hollanda / Pietro Erber)

## **OBJETIVOS DO NAIPE/USP**

**Desenvolver pesquisas sobre temas relacionados com estratégias, políticas estratégicas, acompanhamento e avaliação de políticas em áreas estratégicas, análise dos processos de decisão em áreas estratégicas, de suas dimensões institucionais e administrativas, dos processos de divisão em áreas estratégicas e avaliação dos planos governamentais;**

**Promover e estimular a agregação de estudiosos e pesquisadores dos mais diferentes campos do conhecimento científico, relacionados aos seus objetivos;**

**Estimular a realização de pesquisas interdisciplinares, criando, para tanto, condições materiais e institucionais favoráveis à maior interação entre as diferentes unidades da universidade;**

**Promover encontros, sob a forma de conferências, seminários, colóquios e congressos;**

**Organizar um centro de documentação e um banco de dados necessário ao desenvolvimento de pesquisa operacional, relacionada aos seus objetivos;**

**Fomentar a divulgação de resultados de pesquisas, bibliografias especializadas, boletins e outros informes assemelhados.**