

# NAIPPE

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

USP

## O SETOR SUCROALCOOLEIRO E O DOMÍNIO TECNOLÓGICO

Paulo Augusto Soares  
Carlos Eduardo Vaz Rossell



VOL. 2  
NOVA SÉRIE

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

Marcelo Burattini

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

-----  
Braz José de Araújo

(in memorian)

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**

Mariana de Aquino Passos

**Ilustrador**

Renato Micheletti de Souza

NAIPPE/USP

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

# O Setor Sucroalcooleiro e o domínio tecnológico

Paulo Augusto Soares  
Co-autoria: Carlos Eduardo Vaz Rossell

NAIPPE/USP

**Apoio:**

CNPq  
Pró-reitoria de Pesquisa USP

## Índice

Prefácio	01
Biografia dos autores	02
1. Cenário Atual	03
2. A cana de açúcar como fonte de energia	13
3. Álcool da celulose	17
4. Referências Bibliográficas	22
Nova Série NAIPPE Cadernos	24

## **Prefácio**

O volume 2 da série Cadernos, juntamente com o volume 3, tratam da tecnologia do Etanol quando usado como combustível em automóveis. Com a “descoberta” do presidente dos EUA, George W. Bush, de que é possível a existência de um efeito estufa, verificamos a publicação de uma grande quantidade de artigos relacionados ao assunto.

Segundo suas declarações, não é interessante para a maior potência do mundo ficar na dependência exclusiva de combustível de regiões que são instáveis, pelo menos por enquanto. Finalmente, apesar de não declarado, a pressão dos produtores de milho nos EUA talvez tenha influenciado suas opiniões.

Com o intuito de analisar o desenvolvimento dessa tecnologia, o NAIPPE pôde contar com a experiência dos Drs. Paulo Augusto Soares e Carlos Eduardo Vaz Rossell, especialistas no assunto.

Contribuindo com o desenvolvimento da produção do etanol e participando de discussões e conferências sobre aspectos de mercado, distribuição, concorrência, métodos e tecnologias alternativas, os autores têm conhecimento de primeira mão, que os ajudaram a criar novos conceitos sobre o assunto.

Os membros do NAIPPE não gostam de fazer previsões a longo prazo. Profecia não está entre os objetivos do nosso núcleo. Entretanto, arriscamos palpitar que pelos próximos quinze anos o etanol terá um papel fundamental para o Brasil e para o mundo.

Desejamos aos leitores das publicações do NAIPPE o desfrute da leitura deste volume e de sua continuação. Estamos sempre dispostos a fornecer esclarecimentos e informações adicionais, publicando até mesmos comentários sobre esta e qualquer outra de nossa publicações.

## **Biografia do autor**

Paulo Augusto Soares é Engenheiro químico formado pela Faculdade de Engenharia Industrial em 1976. Profissional atuante na área de engenharia de sistemas e de equipamentos para a indústria química, petroquímica, de petróleo e sucroalcooleira; Professor universitário das disciplinas de: transmissão do calor, operações unitárias, instalações industriais e cálculo de reatores e Árbitro da Câmara de Comércio do Mercosul, Paulo trabalha hoje como consultor na área de desenvolvimento de processos químicos e projetos industriais ou sistemas térmicos, em desenvolvimento de mercados ou produtos, assim como em implantação de sistemas.

## **Biografia do Co-autor**

Carlos Eduardo Vaz Rossell é Engenheiro químico formado pela Universidade da República (Uruguai) em 1970, Mestre (1972) e Doutor (1976) em engenharia de alimentos pela Unicamp. É pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - NIPE (UNICAMP), participando do Projeto Etanol do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e do Projeto Políticas Públicas no Setor Sucroalcooleiro; Coordena o Projeto DHR Fapesp 00/13185-9; É consultor autônomo junto ao setor sucroalcooleiro; Atua nas áreas de processos fermentativos, tecnologia de produção de etanol, hidrólise de bagaço, beneficiamento de subprodutos e obtenção de novos produtos a partir da cana-de-açúcar e foi agraciado com o prêmio Maurice Paturau, conferido ao melhor trabalho em subprodutos no International Society of Sugar Cane Technologists 2004.

## 1 – Cenário Atual

O setor sucroalcooleiro Brasileiro passou por profundas alterações nos últimos 30 anos, as quais atingiram todos os segmentos econômicos relacionados com o mesmo. O agente gerador destas transformações foram, sem sombra de dúvida, agentes externos de mercado.

Apesar de antes de 1975 o governo do Estado de São Paulo ter criado um programa de incentivos ao setor sucroalcooleiro, quando apareceram as primeiras usinas de grande porte e com estrutura industrial, a maioria das usinas existentes na época estavam voltadas quase que exclusivamente para a produção de açúcar, sendo o setor constituído basicamente por empresas familiares de pequeno e médio porte, as quais mantinham uma estrutura administrativa e técnica não muito diferente daquela empregada no início do século XX por seus fundadores. Em meados da década de 70, com a necessidade de redução de importações, o governo Brasileiro criou o Proálcool<sup>1</sup>, o qual provocou o primeiro grande impacto no setor sucroalcooleiro Brasileiro, gerando a primeira grande onda transformista.

O Proálcool teve por objetivo criar uma fonte alternativa de combustível para veículos providos de motor a explosão com ciclo Otto e fomentar a criação de emprego no Brasil. Este programa, apesar de suas falhas, injetou considerável soma de capital no setor fomentando, o início do desenvolvimento tecnológico em todos os segmentos econômicos relacionados com a produção de álcool a partir da cana de açúcar, principalmente. Durante o programa Proálcool foram pesquisadas outros tipos de biomassa para a produção de álcool combustível, dentre as quais se destacaram as experiências realizadas com a mandioca pela PETROBRAS e com a hidrólise da madeira na COALBRA, estas experiências demonstraram a viabilidade técnica dos processos e a supremacia econômica da cana de açúcar em relação as demais matérias primas estudadas, consagrando esta última como praticamente imbatível no Brasil, com a vantagem da cana ter um balanço energético positivo, se considerarmos todo o processo produtivo. As demais matérias primas, atualmente utilizadas, apresentam um balanço energético negativo.

Durante a década de 90, após o fim do Proálcool, o setor sucroalcooleiro deixou de receber recursos subsidiados pelo Governo Brasileiro, provocando uma

---

<sup>1</sup> Programa Brasileiro de Álcool

nova e grande transformação. Neste período o setor iniciou a sua efetiva profissionalização e modernização, visando sobreviver competitivamente no mercado nacional e internacional, sem subsídio governamental.

No início deste século, com a conscientização a nível mundial da necessidade de uma nova fonte renovável de energia para substituir o Petróleo e do Protocolo de Kyoto para a preservação do meio ambiente, aparece um novo agente externo que deverá provocar profundas alterações no Setor Sucroalcooleiro Brasileiro, pois se considerarmos todo o processo agro-industrial, a cana-de-açúcar gera créditos de carbono.

A tecnologia atualmente empregada pelo setor na área agrícola, pode ser considerada como de ponta a nível mundial, em especial aquelas utilizadas na região centro-sul do Território Nacional. A associação de três fatores independentes: a qualidade do solo, as condições climáticas e a tecnologia de ponta desenvolvida na área agrícola; colocaram a cana-de-açúcar Brasileira como uma das mais promissoras fontes de biomassa, ou seja, de energia renovável do planeta.

A grande maioria das usinas que estão operando comercialmente na atualidade, já possuem administrações que atuam de forma profissional ou estão em fase de profissionalização, utilizando ferramentas e conceitos administrativos atualizados, tanto nas questões econômicas, como nos aspectos de preservação do meio ambiente e de segurança e higiene do trabalho.

A logística de distribuição do álcool para combustível está estruturada de forma consolidada no País, todavia carece de investimentos na construção de “álcooldutos”, para distribuição interna e nas instalações portuárias para a exportação do produto. A PETROBRAS é a empresa que lidera este setor e possui incontestável experiência internacional nesta área.

O setor industrial das usinas está estruturado para atender competitivamente a produção de açúcar e de álcool etílico. Algumas usinas já implantaram ou estão em fase de implantação de sistemas de cogeração de energia elétrica, sendo estas últimas as que possuem um projeto mais otimizado energeticamente. A área industrial das usinas é a que mais carece de atualização tecnológica, se utilizarmos o conceito atual de biorefinaria.

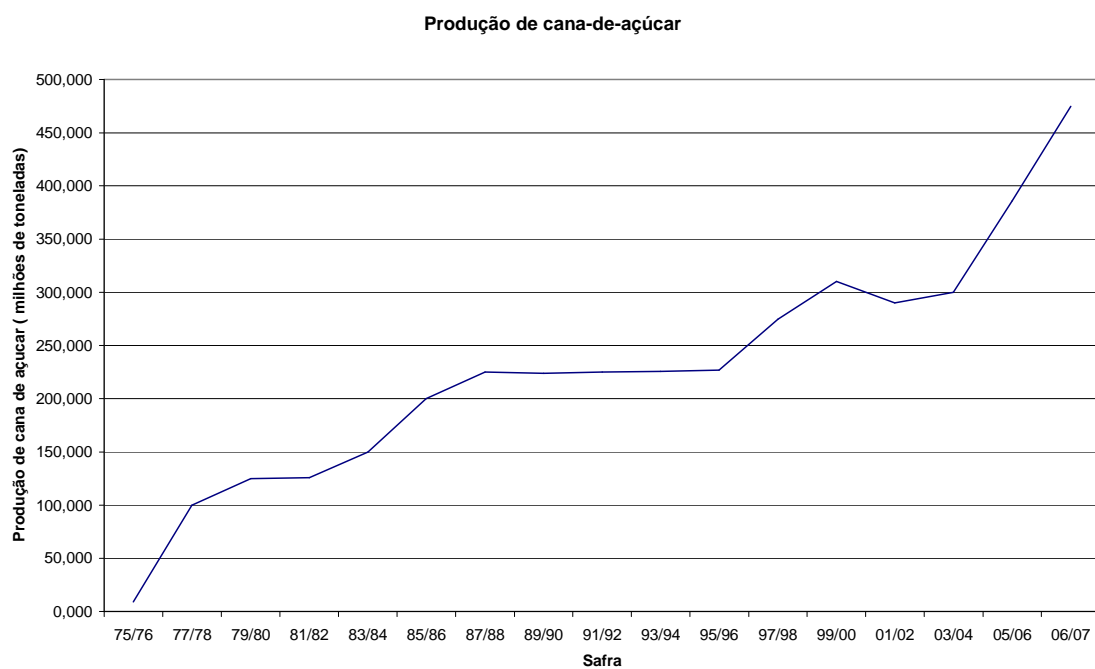
As empresas que atualmente fornecem insumos ao setor sucroalcooleiro, bem como as de bens de capital, apresentam de uma forma geral boa saúde financeira,



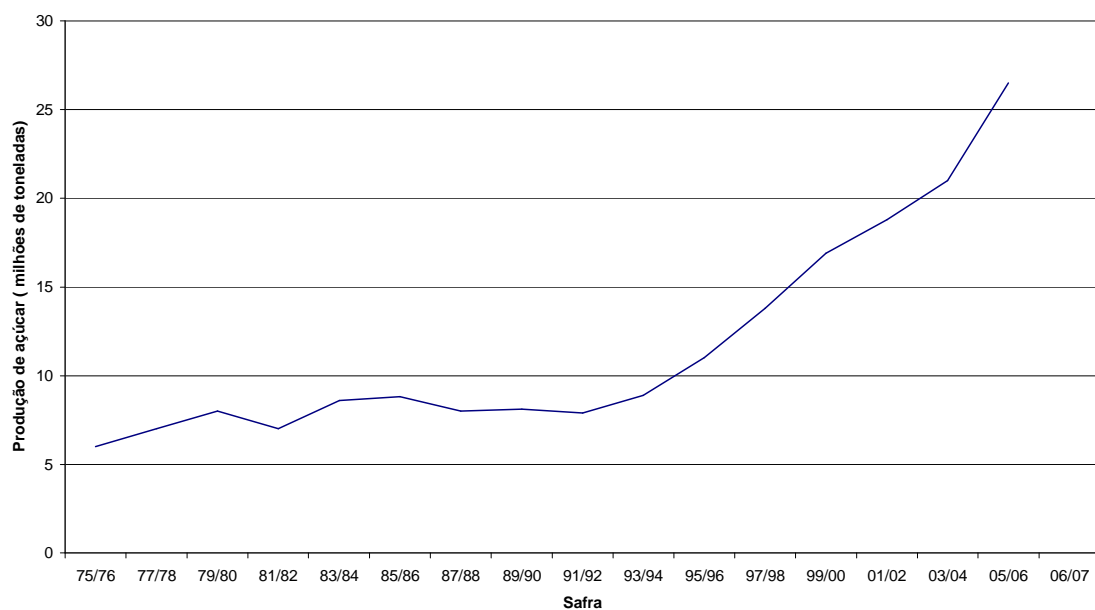
estão bem estruturadas e possuem capacidade para atender a demanda atual e o eventual crescimento do setor.

Os gráficos abaixo indicam os dados da produção Brasileira do setor sucroalcooleiro, considerando apenas os dois produtos principais, o açúcar e o álcool. Os dados relativos à produção de cana-de-açúcar para a safra que se encerrou no final de 2006, ainda estão sendo confirmados, porém as últimas estimativas prevêem uma produção de 475 milhões de toneladas e as previsões de produção futura, efetuadas pelo BNDES, consideram que atingiremos 570 milhões de toneladas no ano de 2010 e de 1 bilhão de toneladas no ano de 2021.

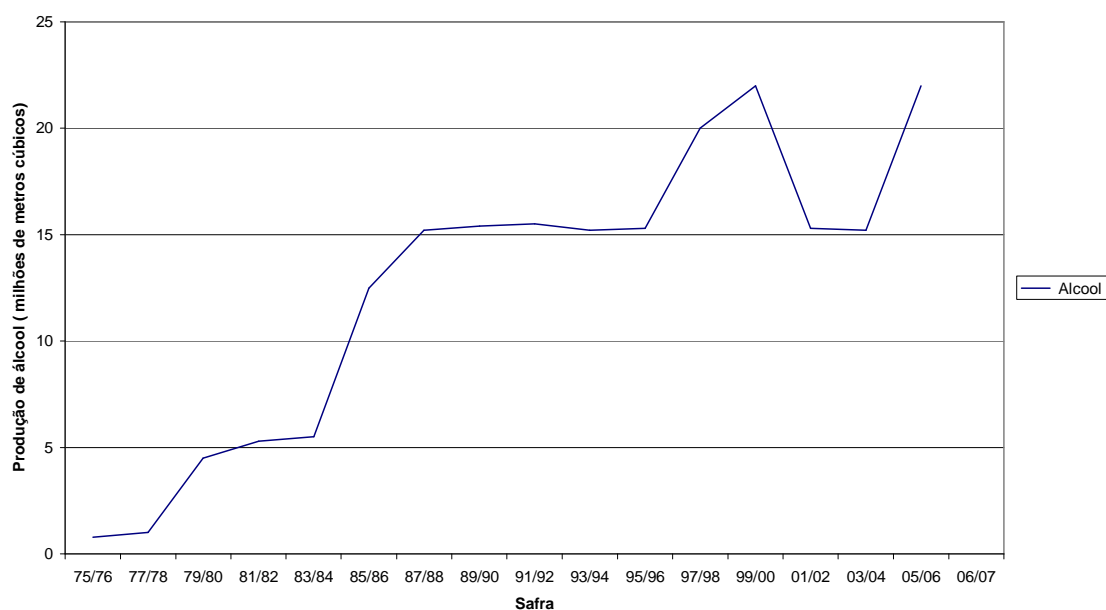
### GRÁFICOS DE PRODUÇÃO : CANA / AÇÚCAR / ÁLCOOL



### Produção de açúcar



### Produção de álcool



Fonte: UNICA / DEDINI (International Sugar Jornal - ISJ)

O setor agrícola das usinas atingiu altos índices de produção, sendo que no sudeste Brasileiro a produção média de cana-de-açúcar atinge 90 toneladas por hectare plantado, todavia as condições de clima e solo existentes nas demais regiões do Brasil não permitem a generalização deste índice de produtividade. Um valor

médio aceito no mercado é de 81 toneladas de cana por hectare plantado como média para o território nacional. Recentes estudos efetuados pelo Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba / SP, demonstram que existem várias áreas do Território Brasileiro que poderão ser utilizadas para a expansão do plantio de cana-de-açúcar, em especial no centro-oeste do País.

A tabela abaixo apresenta o levantamento efetuado em julho de 2006 sobre as usinas em fase de projeto por região do País.

<b>Região</b>	<b>Usinas em Projeto em 2006</b>	<b>Usinas em Montagem ou Partida em 2006</b>
<b>Norte</b>	0	1
<b>Nordeste</b>	3	1
<b>Centro-sul</b>	21	23
<b>Centro oeste</b>	18	9
<b>Sul</b>	1	2
<b>Total</b>	43	36

Fonte: DEDINI – Julho/2006

A tendência atual é de termos usinas com capacidade de moagem entre 1,5 a 2,5 milhões de toneladas por safra, com um valor que poderemos chamar de capacidade padrão de 2 milhões de toneladas, sendo que este tamanho está sendo limitado, principalmente, pela distância entre a área de plantio e a unidade industrial. Os números do setor confirmam esta tendência, assim como indicam um crescimento da capacidade média de moagem por usina como indicado na tabela abaixo.

<b>Safra</b>	<b>Produção milhões toneladas</b>	<b>Usinas Operando</b>	<b>Produção Média Milhões ton. / usina</b>
<b>2004/05</b>	386	343	1,12
<b>2005/06</b>	386	347	1,11
<b>2006/07</b>	428	357	1,2
<b>2010/11</b>	570 (Estimado)	455 (Estimado)	1,25

Fonte: Única / Copersucar/Dedini

A Tabela a seguir indica os custos de produção do açúcar e do álcool nos principais países produtores destas “commodities” e da matéria prima utilizada. A análise dos valores demonstra a vantagem competitiva Brasileira, em especial considerando que o nível atual de subsídio governamental ao setor sucroalcooleiro é praticamente nulo.

<b>País Produtor</b>	<b>Matéria Prima</b>	<b>Custo do açúcar (1) USD/Tonelada</b>	<b>Custo do álcool (1) USD / litro</b>
<b>União Européia</b>	Beterraba / Cereais	760	0,97
<b>Estados Unidos</b>	Milho	290	0,47
<b>Austrália</b>	Cana de açúcar	195	0,32
<b>Tailândia</b>	Cana de açúcar	178	0,29
<b>Brasil</b>	Cana de açúcar	120	0,20

Fonte: Datagro para custo na usina. – Revista Exame de 16/06/2005

USD – Dólares Americanos

A tabela a seguir indica alguns parâmetros ou indicadores da performance da área industrial do setor de produção de açúcar e álcool em épocas distintas: O início do Proálcool, quando iniciou-se o grande esforço de desenvolvimento tecnológico do setor, e os dias de hoje.

<b>Indicadores da Performance Industrial</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Início Proálcool</b>	<b>Hoje</b>
Capacidade de moagem de cana em 6 ternos de 2000 mm (78’’)	Ton./dia	5500	14000
Extração do caldo em 6 ternos de moenda em percentual do açúcar da cana	%	93	97
Tempo médio de Fermentação	horas	18 a 24	4 a 6
Quantidade de açúcares do caldo transformada em álcool na	%	80	91

fermentação			
Perda de álcool no processo de destilação	%	2	0,5
Consumo de vapor na produção de açúcar por tonelada de cana processada	kg vapor / t. cana	600	320 (1)
Consumo de vapor na destilação do álcool anidro	Kg vapor / litro álcool	4,5	1,8 (1)
Metano potencial obtido da vinhaça	Nm <sup>3</sup> gas / litro álcool	0	1
Produção máxima de Álcool por tonelada de cana – (13% pol. cana)	l. álcool / t. cana	66	86
Excedente máximo de bagaço em usina de álcool em relação ao bagaço gerado	%	Até 8	Até 78
Pressão de geração de vapor nas caldeiras	bar	22	92 (1)
Capacidade de Produção de energia elétrica por tonelada de cana moída queimando somente o bagaço	kWh	2,7	80
Custo de produção do álcool anidro na usina (2)	USD / m <sup>3</sup>	700	200

Fonte: (1)Dedini / (2) Datagro Conf Int. 2001/ International Sugar Jornal - ISJ

Os números citados acima são fortes indicadores do desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos 30 anos no setor sucroalcooleiro, bem como de sua competitividade a nível mundial. Destacam-se como fatores indutores deste desenvolvimento: inicialmente a expansão do consumo interno de álcool combustível, seguido do aumento da demanda internacional de açúcar e atualmente o início do pleno aproveitamento energético da cana de açúcar como fonte de energia renovável.

O pleno aproveitamento energético da cana-de-açúcar está ligado ao atual conceito de biorefinaria, que pode ser descrito ou resumido como:

“A Biorefinaria é composta por facilidades e instalações produtivas que geram e utilizam matéria prima de origem vegetal e renovável, operando de forma totalmente integrada, e que através de processos físicos-químicos, enzimáticos ou biológicos transformam estas matérias em sub-produtos que atendam às necessidades do consumo moderno, de forma sustentável e com o mínimo de impacto ambiental.”

A principal e fundamental matéria-prima da biorefinaria é a energia solar, que aliada às características de solo e atmosféricas, irá propiciar a geração da biomassa necessária à biorefinaria. Temos sempre que ter em mente que a produção adequada da biomassa, só poderá ser atingida com o emprego de tecnologia de ponta e comprovadamente adequada às características locais do meio ambiente, porém, com flexibilidade para atender e se resguardar das oscilações de preços impostas pelo mercado internacional.

As empresas fornecedoras de unidades completas, dentre as quais se destaca a DEDINI, possuem tecnologia e podem fornecer instalações que reduzam a quantidade de vinhoto gerado (principal resíduo de uma usina) e o consumo de água, reduzindo o impacto ambiental e maximizando o consumo energético. Dentre estas tecnologias em desenvolvimento ou aquelas disponíveis comercialmente, destacamos a geração de gás metano ou biogás, pela biodigestão do vinhoto, sistemas de concentração do vinhoto, as fermentações com alto teor alcoólico e a hidrólise do bagaço da cana.

O setor Sucroalcooleiro Nacional tem o domínio tecnológico, com praticamente 100% de índice de nacionalização em todos os setores da tecnologia, desde a parte agrícola até a produção industrial e a de logística de distribuição. Acredito que o modelo que permitiu alcançarmos esta posição de liderança se deve à integração e a interação harmônica e complementar de quatro agentes:

- ✓ As Instituições e Centros de Pesquisas;
- ✓ Os consultores independentes que atuam no setor;
- ✓ Os fabricantes de equipamentos;
- ✓ As Usinas e Cooperativas de produtores de açúcar e álcool.

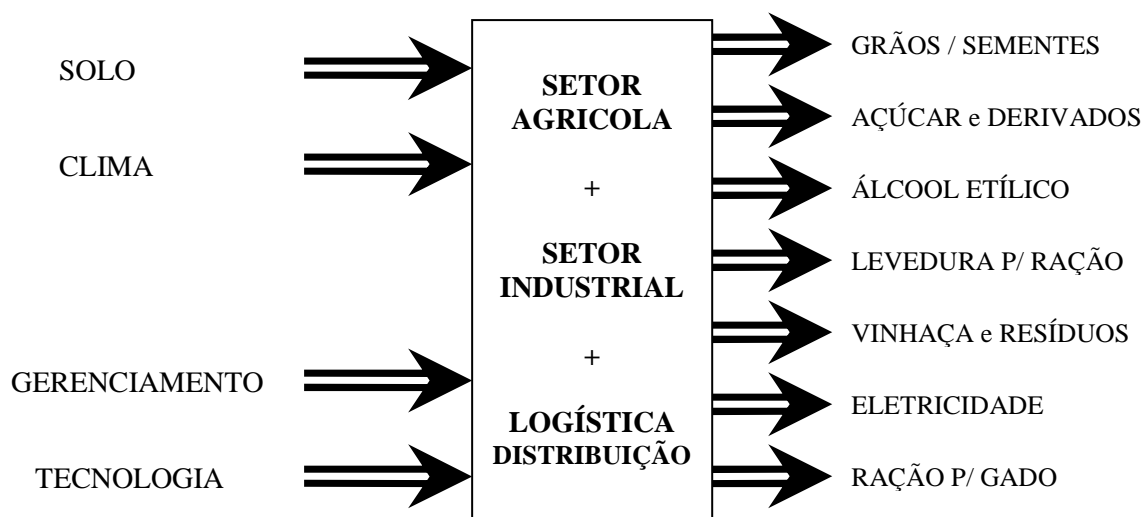
Acreditamos que a manutenção desta liderança tecnológica e as novas necessidades de desenvolvimento do setor, não poderão prescindir deste modelo, cuja eficiência já foi comprovada, mas irá requerer o engajamento de outros setores, como o químico e uma maior participação dos centros de tecnologia das universidades.

Os novos esforços para o desenvolvimento tecnológico do setor, poderão ser divididos em dois grupos básicos:

- ✓ Aqueles destinados a manter a liderança tecnológica;
- ✓ Aqueles destinados a buscar o aproveitamento de novos produtos ou fontes de matéria-prima.

O desenvolvimento do setor, como já visto, foi impulsionado por fatores de mercado, os quais possibilitaram a aplicação de técnicas que, na maioria dos casos, resultavam em ganhos incrementais na base do negócio, tanto na área agrícola como na industrial e de gerenciamento de recursos, associando a adaptabilidade, a flexibilidade e a criatividade para a maximização dos resultados.

Uma visão moderna do setor, e já aceita pela grande maioria de seus agentes, pode ser resumida no quadro abaixo para o atual estágio do setor



A grande maioria das usinas gerencia suas plantações de forma a permitir que em parte da área, usualmente 20%, seja plantada outro tipo de cultura, em geral grãos com curto ciclo de produção. Este sistema permite o máximo de aproveitamento do solo e cria uma fonte alternativa de recursos.

O setor industrial das usinas Brasileiras possui tecnologia para a produção dos vários tipos de açúcares, conforme as especificações de cada cliente, assim como do

processo do produção de açúcar invertido líquido, para atender aos rígidos requisitos das indústrias de refrigerantes e bebidas.

O álcool produzido nas usinas, com tecnologia nacional, atende às especificações do mercado mundial, tanto para o setor de combustível, como o químico e o de bebidas e licores.

Algumas usinas produzem levedura desidratada para exportação para o Japão, onde a mesma é transformada em ração para peixes. A produção de leveduras é da ordem de 20 kg de levedura por 1000 litros de álcool produzido.

A vinhaça produzida na destilação do álcool é na sua quase totalidade retornada para o setor agrícola, reduzindo a necessidade de adubação química. A torta dos decantadores e as cinzas das caldeiras tem o mesmo destino.

As usinas de álcool e açúcar são autosuficientes em energia elétrica durante a safra, sendo que muitas já produzem energia elétrica para venda, utilizando o bagaço excedente como fonte de energia. A utilização da palha da cana como outra alternativa energética poderá resultar em um ganho adicional.

O bagaço excedente pode também passar por tratamento para aumentar a sua digestibilidade e ser utilizado como ração animal. Esta tecnologia é disponível no setor, sendo que usualmente é utilizado o processo de cozimento com vapor, seguido de despressurização rápida.

As mais recentes unidades de produção instaladas pela DEDINI, integram as usinas tradicionais de açúcar e álcool com a produção de biodiesel e de energia elétrica, criando desta forma, uma nova alternativa de aproveitamento dos recursos naturais. As primeiras unidades com este novo projeto integrado, já estão em operação e foram desenhadas para atender ao mercado de forma flexível, inclusive no tocante ao tipo de matéria-prima. Esta integração irá permitir, em curto espaço de tempo, o aparecimento de um novo tipo de indústria que é a sucroquímica e a alcoolquímica, ou seja, processos que irão produzir comercialmente derivados do açúcar e do álcool e seus sub-produtos em unidades integradas ao setor agrícola e industrial convencional.

A engenharia nacional, representada primordialmente pelas empresas de bens de capital fornecedoras de equipamentos para o setor, detém tecnologia testada e consagrada no setor industrial de produção de açúcar e álcool e tem capacidade para atender a demanda atual e futura. Nesta área, destaca-se a DEDINI S/A Indústrias de Base de Piracicaba / SP, a qual é a única empresa a nível mundial com capacidade de



projetar, fabricar e montar uma usina completa de produção de açúcar e álcool otimizada, de acordo com as especificações do cliente e integrada a unidades de produção de biodiesel, á partir de matéria-prima vegetal ou animal.

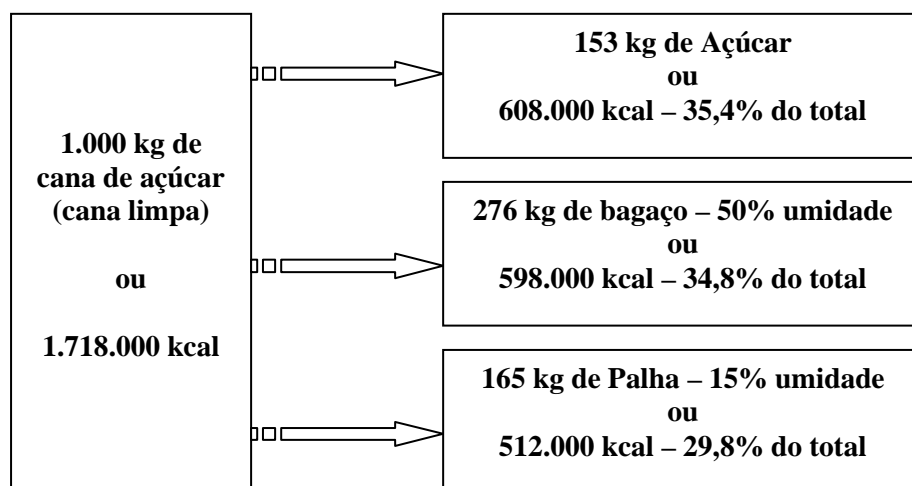
Os desenvolvimentos tecnológicos a curto e médio prazo na área industrial do setor sucroalcooleiro, indicam como mais viáveis e promissoras as áreas de:

- ✓ Aproveitamento da palha produzida;
- ✓ Hidrólise do bagaço para produção de álcool;
- ✓ Melhorias e integração na produção do açúcar e do açúcar invertido;
- ✓ Melhorias nos sistemas de fermentação e destilação;
- ✓ Redução do volume de vinhaça gerada.

## 2 – A cana-de-açúcar como fonte de energia

A cana-de-açúcar é uma biomassa que pode ser transformada quase que totalmente em energia aproveitável através de processos industriais, que na sua maioria, já são dominados e conhecidos e apresentam alto índice de aproveitamento dos sub-produtos e, relativo baixo impacto ambiental.

O diagrama a seguir indica os potenciais de aproveitamento energético desta biomassa:



Notas:

- a) 1 kcal = 4,1868 kJ;
- b) Considerada a totalidade da palha, incluindo pontas e folhas;
- c) A umidade de 50% do bagaço é o valor médio obtido na saída do 6 terno de moendas.
- d) A umidade de 15% da palha é o valor obtido para a palha seca no campo ao sol.
- e) Fonte: International Sugar Jornal / DEDINI

Os valores equivalentes de energia indicam que podemos considerar que o potencial energético da cana-de-açúcar está dividido igualmente: no caldo, no bagaço e na palha, cada parte com 1/3 da energia total.

Podemos fazer uma comparação do conteúdo energético de uma tonelada de cana-de-açúcar, 1.718.000 kcal, com o potencial energético de um barril de petróleo que é de 1.386.000 kcal, ou seja, uma tonelada de cana equivale energeticamente a 1,24 barris de petróleo bruto. Considerando que a produção da safra de 2004/05 foi de 386,2 milhões de toneladas, temos que, em equivalentes energéticos, esta safra correspondeu a 478,7 milhões de barris de Petróleo ou 1,3 milhões de barris / dia, valor muito próximo ao consumo nacional de petróleo, que foi de 1,5 milhões de barris /dia.

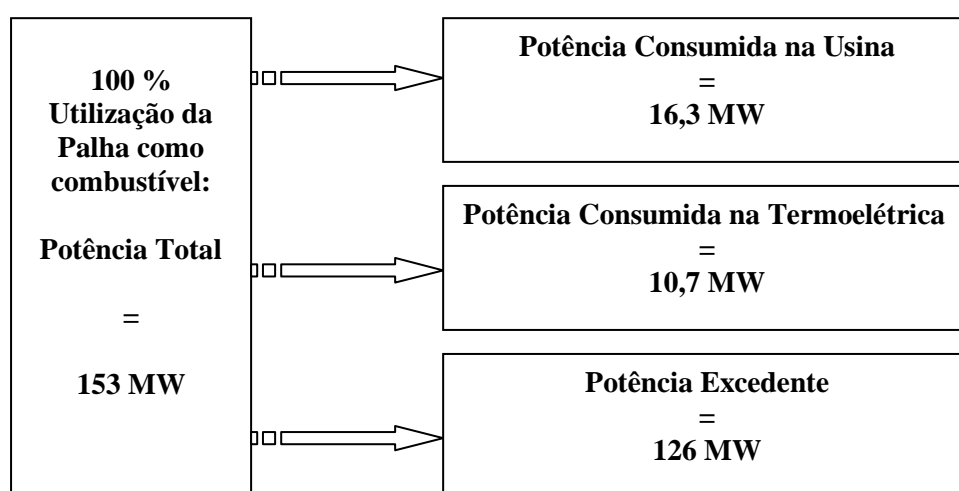
O açúcar é uma fonte de energia direta para o corpo humano. A tecnologia de extração e obtenção do açúcar da cana é conhecida e consagrada nas usinas, podendo ser ainda otimizada em alguns aspectos, porém os ganhos energéticos esperados não serão significativos se considerarmos as usinas que utilizam as tecnologias recentes.

A grande utilização atual do bagaço é o seu aproveitamento como combustível das caldeiras, gerando vapor para aquecimento e para geração de energia elétrica para consumo na usina e para venda às concessionárias de energia elétrica. O grau de eficiência do sistema de cogeração ou geração, depende da tecnologia empregada em cada usina.

A palha da cana, na atualidade, não é aproveitada para fins industriais ou energéticos, sendo que o seu destino é a queima no próprio campo. Estudos já realizados indicam que aproximadamente 50% da palha gerada poderá ser retirada do campo, com ganhos para a área agrícola e meio ambiente. O aproveitamento da palha, como fonte de energia, resultará em significativos ganhos energéticos para o setor.

Utilizando a tecnologia Brasileira existente nos principais fornecedores do setor, e conforme dados fornecidos pela DEDINI, é possível gerar um total de 153 MW com o aproveitamento de 100% da palha em uma usina de médio porte, moendo 10.000 toneladas / dia de cana ou 2 milhões de toneladas por safra.

O diagrama a seguir indica o limite atual de aproveitamento da energia utilizando-se a totalidade do bagaço, da palha e do biogás gerado pela vinhaça, como combustível das caldeiras.



Notas:

- Fonte DEDINI (International Sugar Journal)
- Considerou-se consumo de vapor no processo de 380 kg / tc;
- Geração com Caldeira Multi-combustível queimando bagaço / palha / biogás da vinhaça, gerando vapor superaquecido a 85 / eficiência de 87% / turbina de alta eficiência com extração controlada e condensação.

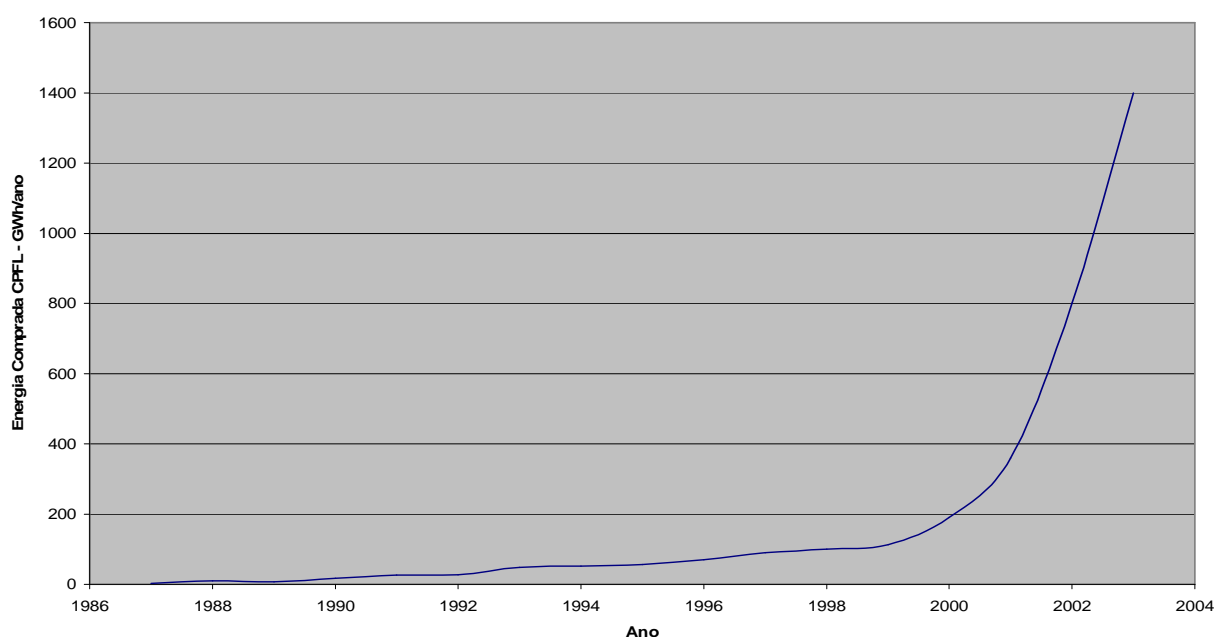
O gerenciamento das plantações com a produção de grãos ou oleaginosas, intercalada com o cultivo da cana, pode abranger até 20% da área plantada, permitindo o máximo aproveitamento do solo e criando uma fonte alternativa de recursos energéticos, como a produção de biodiesel ou de gramíneas para queima.

Existe tecnologia disponível na DEDINI para a transformação da vinhaça que retorna para o setor agrícola em biogás, porém este processo ainda não está sendo

utilizado comercialmente pelas usinas. O gás gerado pode ser queimado nas caldeiras ou ser utilizado como fonte de gás para células de combustível.

A partir de 1999, com a privatização do setor de energia elétrica, criou-se a figura do Produtor Independente de Energia, abrindo um novo mercado para as usinas. Esta nova condição foi o incentivo para que as usinas modificassem o seu sistema de geração de vapor e energia, passando de uma configuração de baixa eficiência, que tinha por finalidade consumir o bagaço gerado, para uma nova concepção onde se procura utilizar o bagaço excedente para a geração de energia elétrica.

Aproximadamente, 60% das usinas brasileiras estão instaladas no Estado de São Paulo, na área de atuação da CPFL<sup>2</sup> Energia S/A, sendo esta companhia a maior compradora da energia gerada nas usinas. O gráfico abaixo indica a evolução do total de energia comprado pela CPFL das usinas instaladas nesta área, o qual mostra o grande salto ocorrido a partir do ano 2000.



A utilização da palha da cana como uma outra fonte de energia excedente poderá resultar em um ganho adicional. A utilização de até 50% da palha como fonte de energia é benéfica e necessária para o setor agrícola.

---

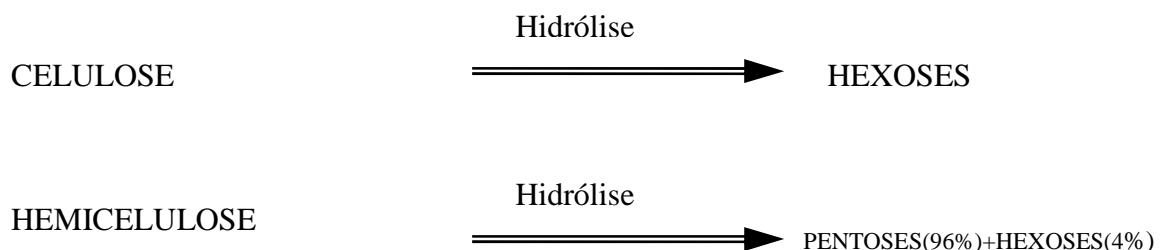
<sup>2</sup> Companhia Paulista de Força e Luz

### 3 – Álcool da celulose

A celulose é uma das substâncias renováveis mais abundantes no globo terrestre, motivo pelo qual a mesma tem sido extensivamente estudada como fonte de energia sustentável para uso industrial. Os estudos iniciais remontam as primeiras décadas do século passado, todavia, apesar dos esforços já efetuados para o desenvolvimento do aproveitamento desta matéria prima, o único processo que pode ser considerado, na atualidade, como tecnologicamente dominado e economicamente viável, é a queima direta da matéria vegetal.

O aproveitamento da matéria vegetal desperta grande interesse dos pesquisadores, cientistas e industriais, devido ao fato da mesma ser encontrada em grandes quantidades em vários tipos de resíduos. O Brasil possui uma condição muito especial, se considerarmos o bagaço da cana, pois o mesmo está disponível de uma forma razoavelmente limpa, em grande quantidade e concentrada ao lado das usinas de açúcar e álcool, o que torna o bagaço da cana uma atrativa fonte de energia, tanto para queima direta como para conversão em produtos químicos, em especial o etanol.

A conversão dos polícarboidratos, ou seja a celulose e a hemi-celulose, contida na matéria vegetal é efetuada através da quebra das longas cadeias e da adição de água, que é denominado de hidrólise. Simplificadamente podemos representar a hidrólise como indicado abaixo:



Os processos de hidrólise mais pesquisados e que podem ser utilizados industrialmente são:

- Hidrólise do Estado Crítico;

- Hidrólise Enzimática;
- Hidrólise Ácida Concentrada;
- Hidrólise Ácida Diluída.

O processo de Hidrólise utilizando fluídos no estado crítico, em geral água, está em fase de pesquisas de laboratório, sendo que o tempo para passarmos para a fase de desenvolvimento piloto ou semi-industrial, deverá levar no mínimo 2 a 3 anos. Este processo irá requerer uma otimização energética, assim como soluções complexas de engenharia. Como resultado final, este tipo de hidrólise deverá apresentar altos valores de conversão, baixa quantidade de sub-produtos e tempo de reação insignificante, se comparado com os demais processos.

O processo de Hidrólise Enzimática procura utilizar a mesma via dos processos naturais de hidrólise, e apresenta uma alta taxa de conversão, sendo esperado valores acima de 90% de conversão. Este processo está recebendo altos volumes de recursos na área de pesquisas de laboratório e já existem unidades operando em fase piloto. Apesar dos grandes avanços obtidos nos últimos anos, os processos de hidrólise enzimática ainda estão limitados por fatores ligados ao custo das enzimas, alto tempo requerido para ocorrer a conversão e provável alto custo energético devido aos grandes volumes que terão de ser mantidos aquecidos e agitados por longo tempo. Outra questão fundamental para a hidrólise ácida, no estado atual da arte, é o tipo de pré-tratamento que será necessário efetuar para adequar a matéria prima, como disponível, aos requisitos da enzima. Considerando a velocidade do desenvolvimento tecnológico deste processo, as dificuldades a serem ultrapassadas e as soluções de engenharia a serem adotados, podemos prever que os processos de hidrólise enzimática não atingirão o “status de processo comercial” antes de 10 a 20 anos.

O processo de hidrólise com ácido concentrado é um processo químico, que realiza a conversão em curto tempo, em geral da ordem de 60 a 240 minutos, possibilitando o emprego de reatores contínuos que poderiam operar com alto rendimento, em um ou dois estágios. A limitação deste processo está essencialmente ligada ao custo de recuperação e reciclagem do ácido, ou de sua aquisição e neutralização. Plantas utilizando este processo foram construídas durante a segunda guerra mundial, sendo que atualmente, existem plantas operando em escala piloto ou semi-industrial, mas a tecnologia não atingiu o estágio comercial efetivo.

O processo de hidrólise com ácido diluído é um processo químico que requer a utilização de condições severas de reação, porém exige tempos reduzidos de reação, em geral, inferiores a 45 minutos, possibilitando o emprego de reatores contínuos que podem operar em um ou dois estágios. As dificuldades deste processo estão relacionadas com a otimização do processo e a sua integração com as soluções de engenharia que irão resultar em taxas de conversão economicamente viáveis. Várias plantas utilizando reatores em batelada, operaram e foram desativadas devido ao seu alto custo operacional. A DEDINI construiu uma unidade semi-industrial e pioneira, utilizando processo patenteado e denominado de DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA (DHR), o qual utiliza reator contínuo e une a tecnologia de remoção da lignina. Através do processo por solvente orgânico (Organosolv) com a hidrólise ácida diluída, esta unidade está em operação experimental na Usina São Luiz – Pirassununga / SP.

Os problemas associados ao desenvolvimento de processos ou plantas comerciais para a conversão de matéria vegetal em açúcares, e estes em álcool, são numerosos e complexos, porém não são maiores que aqueles já enfrentados quando do desenvolvimento dos processos industriais para a química fina, petroquímica e petróleo. Os desenvolvimentos efetuados até os últimos anos para os processos de hidrólise abordaram vários aspectos, porém não levaram em consideração todas as dificuldades a serem enfrentadas, bem como a sua integração com os processos já consagrados industrialmente, sendo na maioria dos casos desenvolvidos para servir de soluções pontuais, o que justifica o fracasso comercial das plantas que entraram em operação industrial.

A solução industrial economicamente viável para um processo de hidrólise, deverá estar baseada, mas não restrita, aos seguintes fatores:

- Domínio da técnica, a nível de laboratório;
- Validação de resultados em unidade piloto;
- Comprovação das soluções de engenharia em semi-escala industrial;
- Operação de unidade industrial pioneira.

O domínio da técnica, a nível de laboratório, deve ser planejado de tal forma que possamos obter dados da cinética química e das metodologias analíticas, adequados aos materiais e características da matéria-prima que será utilizada, futuramente, de forma comercial. Os materiais de origem vegetal aparentam ter composição muito semelhante, todavia a presença de pequenas quantidades de

substâncias diferentes, podem provocar significativas alterações nas condições de reação e na conversão desejada. Outro fator importante é a utilização de tratamentos a que a matéria prima é submetida no laboratório, porém os mesmos não são reproduzíveis ou se tornam inviáveis em processos industriais, e podem alterar os parâmetros obtidos.

A validação dos resultados obtidos a nível de laboratório em uma unidade piloto, é uma etapa que pode ser complicada, pois a presença de sólidos ou pasta, pode dificultar ou inviabilizar o escoamento do material em tubos ou locais com pequena área de passagem. Outra dificuldade desta etapa é encontrar soluções que possam ser reproduzidas nas unidades industriais. Somente terão validade os resultados obtidos em unidades piloto, que realmente reproduzam e manuseiem a mesma matéria que será utilizada em uma unidade industrial.

A comprovação em escala semi-industrial, dos resultados obtidos nos nível de laboratório e das unidades piloto, é de fundamental importância para a comprovação das soluções de engenharia a serem utilizadas, pois devido às características reológicas e a complexidade de composição dos fluídos manuseados, o simples aumento de escala pode resultar em problemas e até inviabilizar a solução adotada. O aumento ideal de escala entre estas etapas deveria estar limitado a um valor de aproximadamente 10 vezes.

A operação de uma unidade pioneira, projetada em escala industrial, fornecerá a comprovação definitiva da viabilidade das soluções de engenharia adotadas, e dos parâmetros técnico-econômicos, para a elaboração do estudo de viabilidade econômica do processo, assim como fornecerá dados sobre a vida útil da instalação e das partes da mesma.

O conceito que está predominando e a possível solução sustentável, a nível mundial, para a conversão de material vegetal em produtos químicos ou etanol é o conceito de biorefinarias, ou seja: a integração das unidades de hidrólise com a parte agrícola, o que resultará em processo agro-industrial sustentável. As principais vantagens das biorefinarias são:

- Possibilidade de transformação dos resíduos agrícolas em produtos comerciais ou como fonte de energia;
- Compartilhamento de toda a infra-estrutura técnico-administrativa, reduzindo os custos operacionais;



- Redução dos riscos econômicos e de financiamento, pela possibilidade de se flexibilizar as fontes de matéria-prima e de produtos acabados, reduzindo o impacto das flutuações dos preços internacionais das “commodities”;
- Redução do impacto ao meio ambiente, pela diminuição da geração de resíduos ou da possibilidade de seu aproveitamento em outra atividade.

#### 4 – Referências Bibliográficas

Oliverio, J.L. & Proença, A.G.H “DHR – Dedini Hidrolise Rápida”: revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagasse”. *International Sugar Journal* 106 (2004) 168-172.

Kendall Pye, E. “Biorefining; a major opportunity for the sugar cane industry”. *International Sugar Journal* 107 (2005) 222-253

Macedo, I. Editor “A energia da cana de açúcar”. Unica . São Paulo, 2005

Rossell, C.E.V. “ Sugarcane processing to ethanol for fuel purposes”. In: *Symposium on the Chemistry and Processing of Sugarcane, 1987, Louisiana. Chemistry and processing of sugarbeet and sugarcane. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 349-366*

Grupo Energia Projeto Etanol, NIPE-UNICAMP. “Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de grandes quantidades de Etanol visando a substituição parcial de gasolina no Mundo”. CGEE-MCT 2006.  
[http://www.cgee.org.br/prospeccao/doc\\_arq/prod/registro/pdf/regdoc2162.pdf](http://www.cgee.org.br/prospeccao/doc_arq/prod/registro/pdf/regdoc2162.pdf)

Lamonica, H.M., Fioranelli, A., Lineiro, F.A.B., Lima Verde Leal, M.R. “ Evolution of Surplus Power Generation in Brazilian Sugar / Ethanol Mills”, 25<sup>th</sup> Silver Jubilee Congress of International Society of Sugar Cane Technologists, Guatemala, January 30 – February 4, 2005

Saka, Shiro. “Recent Progress in Supercritical Fluid Science for Biofuel Production from Biomass”. Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Japan. October 26, 2006

Olivério, José Luiz. “Tecnological evolution of the Brazilian Sugar and Alcohol Sector: Dedini’s contribution”. *International Sugar Journal (ISJ)*, 108 (2006)

Olivério, Jose Luiz. “Evolução Tecnológica do Setor Sucroalcooleiro: A Visão da Indústria de Equipamentos”. Anais 8º Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil”. 17-22 Novembro 2006. pág. 737-745.

## **Nova série NAIPPE Cadernos**

1 – Elementos para uma proposta alternativa para o desenvolvimento do capitalismo no Brasil

*(Frederico Jayme Katz)*

2 - O setor sucroalcooleiro Terceiro Impacto Desenvolvimentista

*(Paulo Augusto Soares / Co-autoria: Carlos Eduardo Vaz Rossell)*

## OBJETIVOS DO NAIPPE/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, análise de suas dimensões institucionais e administrativas, análise dos processos de divisão em áreas estratégicas, análise e avaliação de planos governamentais;

Promover e estimular a agregação de estudiosos e pesquisadores de mais diferentes campos do conhecimento científico relacionados com 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 necessários ao desenvolvimento de pesquisa operacional relacionada com seus objetivos;

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