

Etanol, um presente com passado e futuro*

Jaques Alberto Bensussan

**Economista da FEE

Resumo

Este artigo se propõe a descrever o etanol, através das pesquisas que estão sendo desenvolvidas no Brasil e no mundo, com particular referência à hidrólise enzimática e à mobilização de requerimentos transgênicos para tal, o que suscita questões de ordem ética. Além disso, procura dar uma idéia prospectiva do mercado para o etanol, em termos de Brasil e de mundo, bem como anuncia a abertura de um novo ciclo para o etanol, ao ser reformado para a produção de hidrogênio, e este, em eletricidade. Aborda a questão dos alimentos “versus” etanol, cuja solução passa, obrigatoriamente, pelo incremento da produtividade e por dotação orçamentária compatível. Aborda, também, a questão ambiental, configurada em dois cenários clássicos da prospectiva energética: Noé e Jeremias. Finalmente, recomenda uma forte participação do Estado, a exemplo dos anos 30, para conduzir a questão energética em todos os seus vetores.

Palavras-chave: etanol; hidrólise enzimática; hidrogênio e prospectiva.

Abstract

This article proposes to describe ethanol world researches, particularly to enzymatic hydrolysis and transgenic requirements for this, lifting ethic questions. Besides, the article gives an idea about world prospective market for ethanol, including Brazil, as well announces a new cycle for ethanol as input for hydrogen and electricity. Treats too a very important question about food x ethanol production and recommend the to increment the productivity of all vectors involved, through researches and adequate budget considerations. The environmental considerations are treated according to classical scenarios of energetic prospective: Noah and Jeremiah. Finally, recommends a strong and intelligent participation of the Brazilian State, as in the years 30, to conduct the energetic question as whole.

Key words: ethanol; enzymatic hydrolysis; hydrogen and prospective.

* Artigo recebido em 05 nov. 2008.

** E-mail: bensussan@fee.tche.br

Sinopse

Este artigo se propõe a descrever, com opinião, o estágio atual da pesquisa com etanol entre os principais pesquisadores brasileiros e estrangeiros em suas instituições. Mostra a clareza das dificuldades e a obscuridade das classes dirigentes em apoiar timidamente a pesquisa que pode fazer toda a diferença, como um renascer dos anos 30.

Em **Vôo do condor: uma visão panorâmica**, procura-se mostrar as possibilidades e as armadilhas latentes, quer na composição com outros energéticos concorrentes, quer em simbiose. Para arrematar, pincelam-se dois cenários, Noé e Jeremias, que são remetidos a questões de natureza biológica e ética.

Após, em **Caminhos do etanol: a hidrólise enzimática**, dá-se ênfase à hidrólise enzimática e às suas implicações no incremento da produtividade, citando vários pesquisadores reconhecidos e suas pesquisas.

Em **A proposta da comissão interamericana do etanol**, busca-se evidenciar o acordo entre Brasil e EUA na busca de alguns encaminhamentos de interesse mútuo.

Logo em seguida, vem a seção **A aceleração do etanol e a questão dos alimentos**, mostrando que a Ciência e a Tecnologia, com dotações orçamentárias, são a chave desse problema e que viriam a refletir o amadurecimento da classe política e da sociedade, o que desemboca, mais uma vez, no aumento da produtividade.

E, em **E a vida continua, etanol e hidrogênio juntos**, são colocadas as possibilidades de o etanol entrar em novo ciclo, o do hidrogênio, em que a reforma do etanol produz hidrogênio, que, por sua vez, gera eletricidade.

Uma pequena viagem à transgenia do etanol no Brasil e Sua majestade, o etanol: redesenhando a vida por este mundo afora são duas seções dedicadas a mostrar a pesquisa transgênica para conduzir a hidrólise enzimática em escala industrial, no Brasil e no exterior respectivamente.

Em **Um breve mergulho no limiar dos futuros**, ressalta-se a possibilidade de uma solução de Estado para a resolução da questão, a exemplo dos anos 30. De uma visão que se desvincule do imediato e que possa antever, em mente, o desdobramento da materialidade que escapa ao senso oportunista.

Em **Da contradição entre os princípios e a ação**, colocam-se algumas pinceladas relativas às questões

éticas ditadas pelo padrão civilizatório, que envolvem as sociedades estruturadas a partir do Pentateuco, sobretudo nessa questão da transgenia.

Vôo do condor: uma visão panorâmica

Esta seção procura dar uma idéia geral das possibilidades do etanol, no presente e no embalo de novas tecnologias, como a célula combustível a hidrogênio, em meio às armadilhas da era do petróleo e de novos conhecimentos da manipulação genética. Finaliza com dois cenários clássicos da literatura energética, em que se coloca uma posição ética.

Ao serem anunciadas a morte e a ressurreição da era do petróleo para meados do século, as pesquisas para a produção de energéticos alternativos em escala global roubam a cena nas economias cêntricas, principalmente os Estados Unidos da América, destacando-se o etanol e a célula a combustível.

Embora o Brasil detenha a tecnologia mais avançada no que tange ao etanol, graças à experiência do Pró-Álcool desde 1975, poderá perdê-la brevemente, com o advento da hidrólise enzimática, que está a requerer vultosos investimentos e conhecimentos de diversas áreas, desde a química à manipulação genética de novas enzimas, capazes de minimizar os passos de processamento dos açúcares em álcool, o que poderá dobrar a produtividade por hectare.

O Brasil, com invejáveis condições de clima e solo, não obstante a excelência de seus cientistas, não tem encontrado contrapartida em recursos para pesquisa, o que o alijará da liderança, graças à cultura oportunista da política brasileira, com raros episódios de lucidez.

O Brasil tem 62 milhões de hectares cultivados, dos quais 5% dedicados ao etanol, e tem 220 milhões de hectares para pastagens, dos quais 90 milhões apresentam aptidão genérica para lavoura e 22 milhões para cana-de-açúcar. A pesquisa abre-se para o aumento da produtividade das lavouras em geral, da cana-de-açúcar e da pecuária, o que engloba a questão da produção de alimentos.

Poder-se-ia perguntar por que se procuram energéticos alternativos em escala global e não regional. Essa é uma questão de Estado. É uma questão política, que vai interessar aos inovadores, alicerçados em seus institutos de pesquisa e na garantia de suprimento de parcerias acordadas, diminuindo, unidirecionalmente, a influência geopolítica do Oriente Médio e de outros pro-

dutores cartelizados, o que poderá dar uma sobrevida ao petróleo e um vigoroso jogo de preços para inibir o nascimento dessas alternativas.

Provavelmente, o etanol, que tem-se apoiado no mercado interno, quer por sua adição à gasolina, quer pelo sucesso da tecnologia *flex*, poderá ganhar uma nova posição, com o advento da tecnologia do hidrogênio, ao ser reformado, isto é, utilizado como insumo para a geração de hidrogênio, e este, em eletricidade. Poderia ser uma solução brasileira para o Brasil, mas poderia, também, fazer parte de um encaminhamento global.

Tomando como base cálculos do autor, tendo em vista a disponibilidade de alguns dos principais energéticos primários não renováveis, pode-se agregar: os EUA têm petróleo para mais 3,9 anos¹; o Brasil, para mais 33,2 anos²; e o mundo, para mais 31,7 anos³. Isso parece significar que, por volta de 2040, as reservas provadas se esgotarão. Com as descobertas do Pré-Sal no Brasil, as reservas estão sendo estimadas em pelo menos 80 bilhões de barris, podendo chegar a 300 bilhões de barris⁴. Fala-se na possibilidade de ser um campo unificado. É algo! Para dar uma idéia, em 2007, a Arábia Saudita tinha uma reserva de 264,3 bilhões de barris, e, em todo o Oriente Médio, havia 755,3 bilhões de barris. Fala-se que poderá haver grandes reservas no Pólo Norte, não incluídas na Tabela 1, que dá uma visão genérica das reservas provadas dos não renováveis.

Os Estados Unidos da América têm 15,1% das reservas de carvão do mundo, que, se fossem utilizadas para todos os fins, inclusive para substituir petróleo, em seu país, durariam 39,5 anos.

A questão é que os Estados Unidos da América têm o Oil Shale⁵, encontrado em rochas sedimentares, dois trilhões de barris, sendo recuperáveis cerca de 800 bilhões de barris, mais do que todo o Oriente Médio, principalmente nas regiões de Colorado, Utah e Wyoming. O mundo como um todo possui recursos de 2,8 trilhões de barris em Oil Shale, sendo recuperáveis, provavelmente, 1,1 trilhão de barris. O Brasil tem uma pequena reserva e tecnologia⁶ que explora o Oil Shale. Alguns outros países também o fazem, como a China, a Estônia, dentre outros. Além de o custo de exploração ser elevado, é altamente poluente. Por outro lado, o crescimento dos preços do petróleo torna o Oil Shale potencialmente lucrativo.

Tudo se complica, e a era do petróleo parece resuscitar sem ter morrido. Preços mais altos do petróleo também favorecem tecnologias alternativas e ambientalmente mais saudáveis, dentre elas, o etanol.

A questão ambiental do efeito estufa e do clima está aí. A busca por energias mais limpas é necessariamente irreversível. É uma questão de tempo. Será? Haverá tempo? A aceleração do estilo predador desenvolvido pelas

⁵ *Most oil shales are fine-grained sedimentary rocks containing relatively large amounts of organic matter (known as 'kerogen') from which significant amounts of shale oil and combustible gas can be extracted by destructive distillation. Included in most definitions of 'oil shale', either stated or implied, is the potential for the profitable extraction of shale oil and combustible gas or for burning as a fuel. The organic matter in oil shale is composed chiefly of carbon, hydrogen, oxygen, and small amounts of sulphur and nitrogen. It forms a complex macromolecular structure.*

Because of these higher costs, only a few deposits of oil shale are currently being exploited – in Brazil, China, Estonia, Germany and Israel. However, with the continuing decline of petroleum supplies, accompanied by increasing costs of petroleum-based products, oil shale presents opportunities for supplying some of the fossil energy needs of the world in the years ahead.

⁶ O Brasil tem a Petrosix Technology da Petrobrás. O xisto, matéria-prima da SIX, é uma rocha sedimentar que contém querogênio, um complexo orgânico que se decompõe termicamente e produz óleo e gás. Depois de minerado a céu aberto, o xisto é transportado para um britador, que o reduz a fragmentos. Em seguida, esses fragmentos são levados por uma correia a um reator cilíndrico vertical — conhecido também como retorta —, para serem aquecidos em alta temperatura. O xisto libera então matéria orgânica, em forma de óleo e gás. Em outra etapa, é resfriado, o que resulta na condensação dos vapores de óleo que, sob a forma de gotículas, são transportados para fora da retorta pelos gases. Os gases de xisto passam por outro processo de limpeza para a obtenção do óleo leve. O restante é encaminhado para a unidade de tratamento de gases, onde são produzidos gás combustível e gás liquefeito (GLP) e onde é feita a recuperação do enxofre.

¹ EUA: considerando um crescimento tendencial de 1,0% a.a. dos energéticos primários.

² Brasil: considerando um crescimento tendencial de 3,5% a.a. dos energéticos primários, já incluindo as estimativas preliminares dos campos descobertos entre o final de 2007 e meados de 2008, no Pré-Sal, em Jubarte, na Bacia de Campos; e Tupi e Carioca, na Bacia de Santos; portanto, uma parte do potencial referido.

³ Mundo: considerando um crescimento tendencial de 2,0% a.a. dos energéticos primários. Não incluindo o Pólo Norte.

⁴ (1tEP) Uma tonelada de Equivalente de Petróleo é igual a 10.850.000kcal ou a 6,7 barris de petróleo. Ou, ainda, um barril de petróleo tem, aproximadamente, 149,3Kg ou 1.619.403kcal.

sociedades humanas a partir da Revolução Industrial
leva-nos a um cenário desolador. É o cenário Jeremias⁷,
identificado com essa era. Os avisos foram-se e em vão.
No cenário Noé, a arca abriga a vida. A Terra é mãe-
-arca que abriga a vida, dirigida por uma nova humanida-
de, renascida de seu próprio sofrimento. É a negação do

estilo vivido e uma retomada a ser construída, quem sabe,
a partir dos escombros.
Reformulando, poder-se-ia perguntar: são os instin-
tos agressivos do homem indomáveis? Ou os valores éti-
cos poderão reciclar essa agressividade? Dessas res-
postas dependerá a nossa inclusão no livro da vida.

Tabela 1
Reservas, consumos e esgotamentos dos principais energéticos do Brasil, dos EUA e do mundo — 2007

ENERGÉTICOS PRIMÁRIOS NÃO RENOVÁVEIS	BRASIL (milhões de tEP) (1)	EUA (milhões de tEP) (1) (2)	MUNDO (milhões de tEP) (1) (2)	BRASIL (%)	EUA (%)	MUNDO (%)	BRASIL/ /MUNDO (%)	EUA/ /MUNDO (%)
Petróleo (3)	5 879	4 085	172 779	51,3	3,2	22,1	0,8	0,5
Gás natural	2 120	5 381	161 413	18,5	4,2	20,6	0,3	0,7
Carvão	2 356	118 327	426 128	20,5	91,6	54,5	0,3	15,1
Urânio (4)	1 111	1 367	21 855	9,7	1,1	2,8	0,1	0,2
Total das reservas	11 465	129 159	782 175	100,0	100,0	100,0	1,5	16,5
Consumo de energia primária em 2007 (5)	133	2 411	10 390	-	-	-	-	-
Duração das reservas (6)	-	-	-	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 0,0% a.a.	86,4	53,6	75,3	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 1,0% a.a.	62,6	43,1	56,4	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 2,0% a.a.	50,7	36,8	46,4	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 2,5% a.a.	46,6	34,4	42,9	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 3,0% a.a.	43,3	32,4	40,0	-	-	-	-	-
Crescimento do consumo a 3,5% a.a.	40,5	30,7	37,5	-	-	-	-	-

FONTE DOS DADOS BRUTOS: STATISCAL REVIEW OF WORLD ENERGY, 2008. London: WEC, 2008. Disponível em:
<<http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/uranium/uranium.asp>>.
WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Disponível em:
<<http://www.uic.com.au/nip75.htm> ; <http://world-nuclear.org/>>.

(1) tEP significa tonelada de equivalente de petróleo; 1 tEP = 10.850.000 Kcal. (2) Não incluem as reservas de Oil Shale. (3) Para o Brasil, reservas provadas, até meados de 2008, em cerca de 40 bilhões de barris; para petróleo e gás natural, estão incluídos os campos de Jubarte em Campos e Tupi e Carioca na Bacia de Santos, descobertos no final de 2007 e meados de 2008; potencial estimado no Pré-Sal pode variar entre 80 a 300 bilhões de barris, dos quais 40 bilhões de barris estão considerados na proporção de 70% para petróleo e 30% para gás natural. (4) Reservas provadas até o limite de US\$ 130,00/kg de urânio ao final de 2007. (5) Não inclui hidroenergia, pois é renovável. (6) A duração das reservas, em anos, depende da taxa de crescimento do consumo de energia primária, simulada entre 0% a.a. a 3,5% a.a.; para o mundo, as taxas verificadas de crescimento do consumo de não renováveis e o Brasil foram de 1,8% a.a. e de 3,3% a.a., respectivamente, para 1995 a 2005, e 2,1% a.a. e 3,3% a.a., respectivamente, entre 1990 e 2005; para os EUA, 1% a.a.

⁷ Em 1.13, Jeremias (2006), “Veio a mim a palavra do Eterno perguntando pela segunda vez e dizendo: o que vês agora? E respondi: vejo uma caldeira fervente que efervece do lado norte. Disse-me o Eterno: é do lado norte que advirá o mal sobre todos os habitantes da Terra”.

Caminhos do etanol: a hidrólise⁸ enzimática

Segundo o Professor Cerqueira Leite da Unicamp (Leite, 2007), já existe no Brasil uma planta-piloto de hidrólise ácida, um trabalho de desenvolvimento financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), feito pela Dedini — Indústria de Base (Dedini Indústrias de Base, 2007; Ometto, 2002)⁹ em associação com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Na visão de quase todos os pesquisadores, a hidrólise ácida é de importância complementar, mas de vida curta. A tendência do mundo é dirigir-se para a hidrólise enzimática, com a qual se consegue mais eficiência. Em laboratório, seu grupo de pesquisa já produz álcool a partir do bagaço de cana com enzimática. A questão é a escala industrial.

A hidrólise ácida está sendo abandonada porque ela tem uma limitação teórica. Só 70% da fibra usada pode ser convertida em etanol. Em hidrólise enzimática, chega-se a 98%. Portanto, um incremento de 40% de eficiência.

Existe um tipo mais rudimentar de hidrólise, por explosão, dominada em várias usinas, uma vez que também serve para transformar o bagaço em algo que o gado

possa aproveitar melhor, ao liberar açúcares. O Professor Cerqueira Leite diz que uma das duas hidrólises, a por explosão ou a ácida, terá de ser usada para preparar o bagaço para o processo enzimático.

Mesmo assim, enquanto segue a pesquisa da hidrólise enzimática, a tecnologia atual deve ser melhorada no que tange a processos de produção, colheita e logística, além do manejo do solo, pesquisa de variedades e produção de sementes.

O Professor Cerqueira Leite, que comanda 150 pesquisadores em um único projeto, em meio a outros pesquisadores independentes que estudam a hidrólise enzimática, acredita que a tecnologia brasileira trará redução de custo, duplicando a produtividade, enquanto parte do bagaço será aproveitada pelo processo enzimático para produção de etanol, e outra será usada para co-geração.

O álcool de cana, hoje, é competitivo com a gasolina, custando cerca de US\$ 45,00 o barril. Em 1975, o custo era de US\$ 90,00, quando eram obtidos 66 litros de álcool por tonelada de cana. Hoje, graças à evolução tecnológica, obtêm-se 86 litros/tonelada de cana. A conjugação do avanço tecnológico do setor agrícola com a do setor industrial permitiu o aumento no desempenho de 4.600 litros de álcool por hectare para 8.200. Essa evolução fez o País assumir a liderança competitiva em etanol.

Mesmo assim, Roberto Rodrigues, ex-Ministro da Agricultura, na III Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, em Brasília, em 2007 (Brasil..., 2005), advertiu acerca da limitação de recursos, particularmente para a cana-de-açúcar, incluindo dinheiro para pesquisa e desenvolvimento, ressaltando a queda de investimentos na Embrapa, ao longo dos anos. “Falta de investimentos em C&T implica diminuição relativa da produtividade da agropecuária, menor crescimento em relação à agricultura de outros países e, conseqüentemente, perda de competitividade, além da disseminação de pragas e doenças.” (Brasil..., 2005).

Já no que se refere à tecnologia da produção de álcool, o Prêmio Nobel de Química, o PhD Alan MacDiarmid, no mesmo evento, foi enfático: “O mundo está rapidamente se aproximando, e, em dois ou três anos, o Brasil não será mais o líder mundial na área de biodiesel e álcool, a menos que pense no que precisa ser feito para estar um passo à frente de todos” (Ibid 2005).

Os EUA e outros países estão dominando a hidrólise enzimática e pesquisam os chamados materiais celulósicos — celulose, madeira, jornais, bagaço, restos da produção de cana — que podem ser convertidos

⁸ Conforme o Professor MSc. Marcos Villela Barcza (200_), em Processos Unitários Orgânicos, o termo hidrólise refere-se a reações orgânicas ou inorgânicas em que a água efetua uma dupla troca com outro composto. Genericamente, pode-se escrever: $XY + H_2O \rightarrow HY + XOH$, em que XY é um sal que, ao reagir com a água, forma um ácido (HY) mais uma base (XOH). Destacam-se cinco tipos de hidrólise: hidrólise pura - o composto reage com água tão-somente; hidrólise ácida - usa-se ácido mineral em solução aquosa, diluída ou concentrada; hidrólise básica - uso de álcali em solução aquosa, diluída ou concentrada; hidrólise por fusão alcalina em alta temperatura - uso de álcali sem ou com pouca água; hidrólise enzimática - uso de enzimas. Hidrólise significa decomposição pela água. São raros os casos em que a água, por si só, consegue fazer uma hidrólise completa. Para contornar o problema, para que a reação seja rápida e completa, usa-se um agente acelerador, catalisador. Os mais importantes são: ácidos, álcalis e enzimas.

⁹ Conforme divulgado nos *sites* acima, no processo tradicional, 1ha produz 80 toneladas de cana limpa ou 6.400 litros de álcool hidratado, a partir do caldo. Pelo processo da Dedini Hidrólise Rápida (DHR) em meio ácido, invenção brasileira, patenteada em todo mundo, 1ha produz 96 toneladas de cana, aproveitando o caldo, o bagaço e a palha, gerando os 6.400 litros, conforme processo tradicional mais 5.650 litros, totalizando 12.050 litros por hectare, potencialmente esperados. Hoje, a Dedini, pelo processo DHR, consegue, em laboratório, produzir 10.400 l/ha. O experimento da planta-piloto de laboratório produz 100 litros por dia de álcool hidratado, e o da escala semi-industrial, 5.000 litros por dia.

em álcool. No Brasil, uma fonte importante para produzir o etanol é a soja, que contém material celulósico em abundância.

Seguindo, ainda, o roteiro da pesquisa do Professor Cerqueira Leite, a idéia para a produção de enzimas seria seu processamento no *cluster*¹⁰, diferentemente da proposta norte-americana, cujos projetos-piloto elegem a própria usina. A utilização dos *clusters* foi percebida quando da apuração dos custos de distribuição, através do sistema de alcoolduto. Pensa-se que poderia haver uma fábrica de enzimas por *cluster*. Essa fábrica não poderia ficar longe, pois o transporte das enzimas é caro, e serão consumidas maciçamente.

Estão sendo comercializadas, pelo menos, umas 15 enzimas diferentes. Possivelmente haverá combinações de enzimas durante os vários momentos do processo, pois é preciso processar a celulose e a hemicelulose. As enzimas existentes são celulasas¹¹, para digerir a celulose.

A proposta da Comissão Interamericana do Etanol

Roberto Rodrigues (2006), ex-Ministro da Agricultura, dirige a Comissão Interamericana do Etanol, juntamente com o ex-Governador da Flórida, John Ellis, e com o Presidente do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Luis Alberto Moreno.

A Comissão é resultado de um tratado bilateral Brasil-EUA e buscará construir estratégias de médio e longo

prazos para aumentar a produção e o consumo de etanol, além de promover parcerias para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico do setor, envolvendo todos os países das Américas do Norte, Central e do Sul. O ex-Ministro salienta: mais do que exportar o biocombustível, o Brasil deve **vender** aos outros países os direitos de uso do conhecimento e da tecnologia que detém na produção de etanol. E tudo isso passa pela elaboração de uma política pública, de caráter nacional, que integre os esforços dos diversos atores dessa cadeia produtiva.

Algumas premissas defendidas pela Comissão:

- um ponto importante para o etanol brasileiro é a sua difusão como forma de conquistar mercados. O grande problema, hoje, é que praticamente só o Brasil juntamente com os Estados Unidos da América o estão produzindo, e nenhum país do mundo vai-se colocar na dependência de um duopólio. Para exportar mais, o Brasil precisa ensinar os outros a plantarem cana;
- definir um plano com essa ótica de estimular a produção e o consumo mundial de etanol;
- o setor privado deve agilizar a desconcentração da oferta de etanol para expandir as exportações de carros e motores *flex fuel*, para que possam ser adaptados e utilizados em veículos do mundo todo;
- promover a formação de recursos humanos adequados;
- um outro ponto é a “comoditização”, ou seja, é preciso que os países produtores e consumidores tenham parâmetros bem definidos sobre o produto etanol, de modo que possa ser comercializado em bolsas. Etanol já é uma *commodity*, mas sem parâmetros. A União Européia está estabelecendo os padrões para biodiesel, e teremos de nos acoplar a esses padrões. Em relação ao etanol, o Brasil deve conduzir o processo de padronização;
- o quinto ponto é justamente a tecnologia, fundamental para a manutenção do País na liderança do etanol;
- a logística, que envolveria os canais temporais e espaciais da comercialização e a otimização de seus custos; e
- o papel do Estado seria estruturar o projeto do etanol, definir seus objetivos e instrumentalizar as políticas públicas em termos de financiamento, normatização, regras para produção, fiscalização e investimentos em P&D. O setor privado seguiria as regras, alocando seus recursos em P&D e no negócio em geral.

¹⁰ *Cluster* é um grupamento de usinas. O Professor Cerqueira Leite pensa em aproximadamente 15, com cerca de 1.500 pessoas trabalhando entre o plantio e a destilaria. Além disso, contemplará a instalação de centros de saúde, áreas de lazer comuns, hospitais, escolas, meios de transporte, um pequeno campo de aviação. Através da utilização da matriz de insumo-produto, criaria 20.000 empregos diretos e 70.000 indiretos. Ainda o referido professor fez outro cálculo através da matriz de insumo-produto, ao considerar a possibilidade de o Brasil substituir 5% da gasolina do mundo, a matriz mostra que haverá um aumento de 50% no salário médio. Finalmente, o *cluster* abrigaria uma população de 200.000 habitantes.

¹¹ Na natureza, os microorganismos possuem um sistema de enzimas chamadas de celulasas, que permitem quebrar a celulose em açúcares simples. Esses açúcares são fontes de carbono e de energia para os microorganismos. Segundo o Professor Rossel, a matéria lignocelulósica, base dos vegetais, é composta essencialmente por celulose, por hemicelulose e por lignina, material estrutural da planta, que pode ser fonte de outras matérias químicas ou de combustíveis. A celulose e a hemicelulose podem ser transformadas em açúcares de cuja fermentação se obtém o álcool.

Para se ter uma idéia, em P&D, a Canavialis, empresa privada brasileira, tem uma cana transgênica, que pode ser 70% mais produtiva por hectare; ainda sem legislação permitindo seu cultivo. Há espaço para a melhoria do preparo do solo¹², para novas formas de adubação e para o aumento da produtividade, além das inovações no processo industrial, principalmente na questão da hidrólise enzimática.

E, para além do sonho, em termos de Brasil, deve-se começar a pensar em como substituir derivados de petróleo. Uma indústria alcoolquímica, a exemplo do foco dado pela Índia.

A aceleração do etanol e a questão dos alimentos

A partir do final da década de 70, o Governo brasileiro impôs a obrigatoriedade da mistura de 25% de álcool anidro à gasolina, estimulando a produção de carros a álcool pela indústria automobilística. “Essa decisão política criou um mercado para o etanol, e a produção aumentou rapidamente”, observa Goldemberg, (Artigo..., 2007), lembrando que países europeus e certos estados norte-americanos já vêm adotando a obrigatoriedade de mistura de biocombustíveis à gasolina. E, mais recentemente, a tecnologia *flex*, que se agrega aos anteriormente referidos, veio dar sustentabilidade, em termos de mercado, ao etanol. A Anfavea estima que, até 2013, o número de veículos movidos a *flex fuel* alcançará a casa dos 15 milhões.

Uma observação importante apresentada por Goldemberg na revista **Science**, de 9 de fevereiro de 2007, é a razão, *input/output*, entre a energia fóssil consumida para produzir o etanol e sua energia gerada: para a cana-de-açúcar brasileira, essa razão é de 1 de insumo fóssil para 10,2 de energia renovável gerada; enquanto para o etanol de milho, nos Estados Unidos da América, a razão é de 1 para 1,4, quer dizer, sua produção consome quase tanta energia fóssil quanto a energia renovável que gera, do que se depreende que a cana gera 6,3 vezes

mais etanol do que o milho para cada unidade de combustível fóssil, sendo mais econômica e de menor impacto ambiental.

Estudos recentes da Unicamp (Leite, 2007) projetam um consumo mundial de cerca de 1,7 trilhão de litros de gasolina em 2025, sendo 12% em volume, 205 bilhões de litros de álcool, supridos por 1.200 usinas modernas em solo brasileiro (hoje com 500, sendo 200 de baixa produtividade, com 16 bilhões de litros em 2005), afora outras 180 que abasteceriam o mercado interno e produziriam cerca de 33,3 bilhões de litros em 2025. Para isso, são necessários US\$ 10 bilhões a serem investidos em 10 anos, até 2018, além da expansão da área plantada de cana para produção de etanol de 3 milhões de hectares para 30 milhões, conforme relata o Professor Cerqueira Leite à Agência Fapesp.

Especificamente, a aproximação do Brasil com os Estados Unidos, na questão da demanda externa, depende da articulação entre os dois países, da definição das regras, permitindo que a produção se beneficie das vantagens comparativas, em especial para quem utiliza a cana como matéria-prima, como é o caso brasileiro. No caso do protecionismo tarifário dos Estados Unidos, que é uma questão política e não técnica, dependerá de negociações, das necessidades e da competitividade. Para compensar, existem muitas possibilidades de conquistar o mercado de países asiáticos que têm carência energética e não possuem petróleo.

Apesar do significado do mercado dos Estados Unidos, dada a sua proposição em substituir 20% do volume da gasolina por etanol, as possibilidades do Brasil vão além, pois se abrem mercados para a venda de direitos de uso advindos do conhecimento de tecnologia para aqueles países potencialmente aptos para a produção de etanol, como a usina, propriamente dita, montada ou a tecnologia embarcada dos motores *flex fuel*.

Por outro lado, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Brasil, 2007; Tolmasquim, 2007), através de seu Plano Nacional de Energia - 2030, projeta, para o final do período temporal de análise, a produção de 66,3 bilhões de litros de etanol, sendo 11,5 para a exportação, demandando uma área de 13,9 milhões de hectares.

Tanto a Unicamp quanto a EPE partiram de hipóteses muito diferentes, quer na apreciação do mercado interno no que tange à tecnologia *flex*, quer na consideração dos vetores da demanda externa, sobretudo na carência americana por gasolina e a sua necessidade de substituí-la por etanol. Além disso, o nível de produtividade em ambos os trabalhos difere muito. A partir da construção metodológica e da compreensão do período político que marcará os próximos 20 anos, os resultados de

¹² Nessa questão, o vinhoto, resíduo final da destilação do etanol, é rico em potássio. Por isso, as usinas de açúcar e de álcool têm potássio com sobra para irrigar suas áreas de cana. O restilo tem também matéria orgânica e se complementa com nitrogênio. A cana, além de ser recicladora de insumos, deixa uma brutal massa de matéria orgânica no solo, nas soqueiras. Essa matéria é transformada pelos agentes microbiológicos presentes no solo em nitrogênio para consumo da raiz. É uma cultura, do ponto de vista da sustentabilidade, relativamente equilibrada.

ambos os trabalhos espelham as dificuldades de um ensaio prospectivo.

O pioneirismo da Unicamp na pesquisa do etanol e na defesa desse combustível nacional e renovável leva-a a apostar em seu crescimento, abrangendo, ao mesmo tempo, as demandas interna e externa.

Não se trata de resolver uma equação, a do etanol, para substituir a gasolina em escala global, mas, sim, resolver um sistema de equações simultâneas, envolvendo vetores como a bioenergia, os alimentos, as questões sociais e a alocação de recursos, sujeitos a rigorosas restrições ambientais.

No Brasil, existem 62 milhões de hectares cultivados com todas as lavouras (Rodrigues, 2006). Desses, 6 milhões são com cana-de-açúcar, dos quais a metade é para o etanol e o restante para açúcar. Ou seja, hoje, menos de 5% da área agrícola brasileira está voltada para a produção de etanol.

Por outro lado, têm-se 220 milhões de hectares que são pastagens. Desse total, 90 milhões são aptos para qualquer tipo de agricultura e, dos 90 milhões, 22 milhões são apropriados para cana-de-açúcar. Supondo que

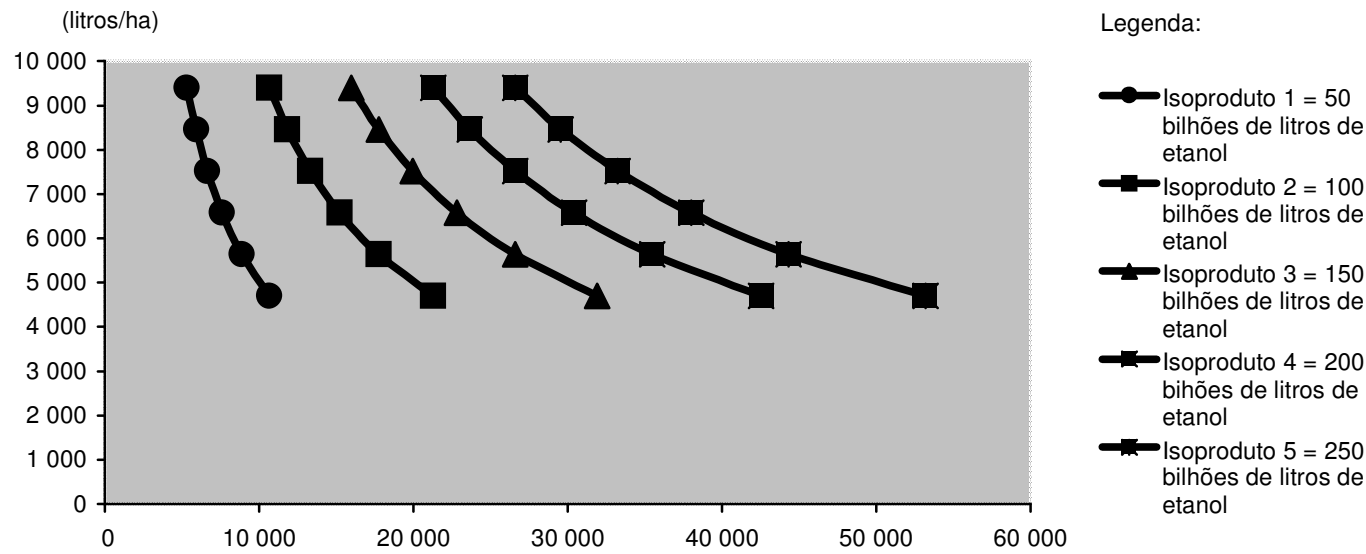
sejam utilizados os 22 milhões de hectares referidos para cana, resultaria o seguinte quadro: 28 milhões de hectares para a cana-de-açúcar, sendo 25 para a produção de etanol; 124 milhões de hectares para a produção de alimentos em geral (exceto cana); e 130 milhões de hectares para a pecuária, pois ela devolveria os 90 milhões de hectares para a agricultura, obrigando a pesquisa brasileira a proceder uma grande tarefa de aumentar a produtividade da pecuária em 69,2% para os próximos 15 anos, conforme cálculos do autor, caso a agricultura venha a demandar todos os 124 milhões de hectares que teria como disponibilidade.

É claro que essa expansão da área cultivada com cana respeitaria as áreas de restrição ambiental: Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica e outras a serem incluídas.

Os Gráficos 1 e 2 mostram duas relações: (a) o incremento da produtividade do etanol, em litros por hectare, é inversamente proporcional à demanda por terras; e (b) a demanda de terra é crescente, quando as isoquantas navegam para mais longe da origem do sistema cartesiano.

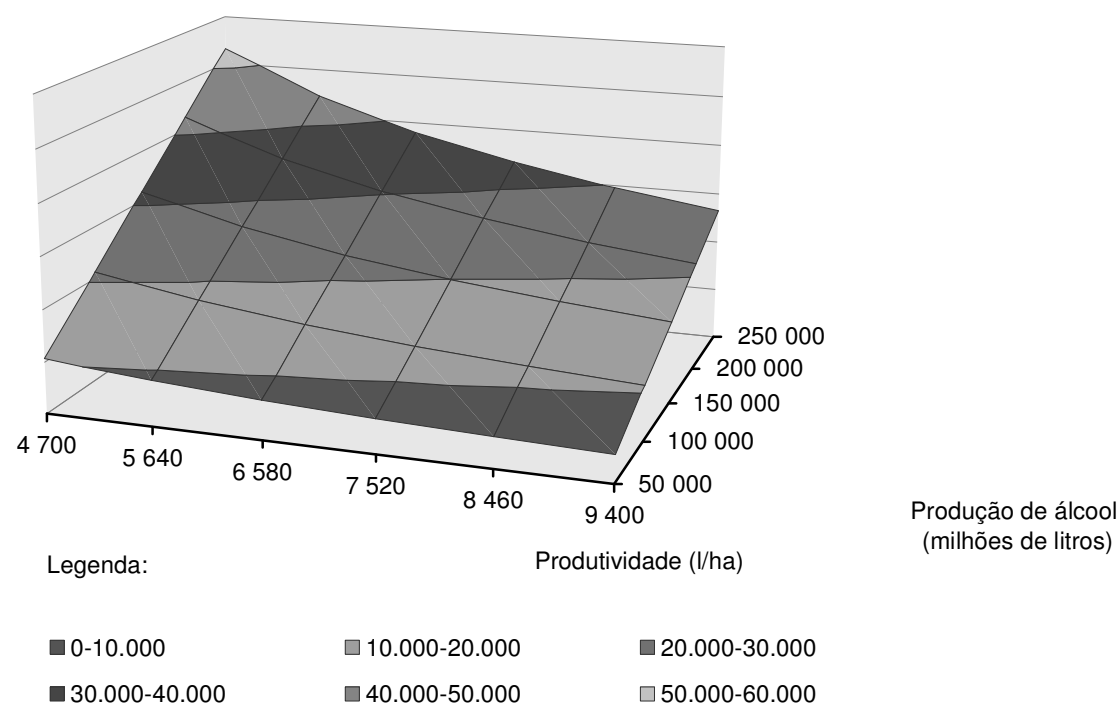
Gráfico 1

Cinco níveis anuais de produção de etanol de cana-de-açúcar, segundo a produtividade simulada e a área requerida, no Brasil — 2020 a 2025



FONTE: Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/especial/etanol>>.
Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?id=6871>.

Gráfico 2
Produção, área e produtividade de álcool — 2020-25



FONTE: Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/especial/etanol>>.
Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?id=6871>.

E a vida continua, etanol e hidrogênio juntos

A HyTron Tecnologia em Hidrogênio (Simões, 2006) nasceu no Laboratório de Hidrogênio do Instituto de Física da Unicamp, e seu objetivo é desenvolver e fabricar reformadores de etanol e de gás natural. Reformador¹³ é

o equipamento que “reforma” o etanol ou o gás natural do ponto de vista químico para extrair hidrogênio. Uma série de reações ocorre dentro do reformador para quebrar as moléculas do combustível e separar, dentre elas, as moléculas de hidrogênio.

O etanol, usado atualmente pela HyTron nos testes, tem sido doado pelo Centro de Tecnologia Canaveira e está sendo reformado, numa base de 3 a 4 litros por

¹³ Uma série de reações ocorre dentro do reformador para quebrar as moléculas do combustível e separar, dentre elas, as de hidrogênio. O funcionamento dos reformadores de etanol e gás natural é semelhante. O coração do reformador é o reator de reforma, onde uma mistura composta por 50% de água e 50% de etanol é aquecida até cerca de 700°C. A elevada temperatura quebra as moléculas do etanol; os catalisadores aceleram o processo. Nessa fase, é produzido um gás de síntese, formado principalmente por hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono. Esse gás vai para uma sequência de reatores menores, de onde será extraído mais hidrogênio até que só fique o dióxido de

carbono, que será eliminado para a atmosfera. O hidrogênio produzido pelo reformador é aplicado diretamente à célula a combustível, tendo apenas um pequeno reservatório à baixa pressão entre ambos. Uma parte do etanol ou do gás em processo de reforma é queimada para fornecer a energia para o próprio processo. “A quantidade utilizada para fornecer calor à reação está em torno de 16% a 20% da energia disponível no etanol ou no gás”, continua. Pode-se dizer que cerca de 80% da energia do combustível fica disponível para a produção de hidrogênio.

hora, para abastecer células a combustível em 5m³ de hidrogênio por hora, que geram 5kWh de energia.

A célula usada no protótipo da Unicamp tem o tamanho aproximado de um motor de veículo de passeio. Importada dos Estados Unidos, tem capacidade para fazer funcionar, em conjunto com as baterias, um carro de 25kW. Essa potência equivale a um motor de 500 cilindradas, mas pode ser ampliada. Foi confirmado que um carro de passeio funciona normalmente com 10kW (equivalente à potência de dois chuveiros). Um ônibus deverá trabalhar com 50kW.

Células a combustível, que usam hidrogênio como combustível, são pouco poluentes e já estão sendo testadas pelas grandes companhias para mover automóveis; podem ser usadas em lugares onde não há energia elétrica, mas ainda apresentam uma desvantagem: o alto custo de sua produção.

Buscar tecnologias para obtenção de hidrogênio a partir de etanol é estratégico para o Brasil. Nos Estados Unidos, as empresas estão testando protótipos nas casas de consumidores. Japão e Alemanha encontram-se em estágio avançado na tecnologia dos reformadores.

Há grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento para tornar as células combustíveis viáveis — pelo fato de gerarem energia limpa, pelo menos em seu uso final, tudo está a indicar que possam ser uma fonte significativa de energia no futuro, eliminando a poluição causada por automóveis e caminhões. O etanol já se consolida como combustível alternativo no presente, via tecnologia *flex*, e, se for utilizado como objeto de reforma para a produção de hidrogênio, no futuro próximo, terá vida longa.

A Companhia de Desenvolvimento do Pólo de Alta Tecnologia de Campinas (Ciatec), incubada na Unicamp, utiliza seus laboratórios para fazer testes diários com os reformadores, sendo três protótipos: dois de etanol e um de gás natural. Um dos reformadores de etanol foi encomendado pelo Instituto Técnico Aeroespacial da Espanha e entregue em 2007. O outro, também utilizando etanol, está sendo desenvolvido em parceria com o Centro de Pesquisas da Petrobrás (Cenpes). O que usa gás natural conta com a participação da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL).

Embora o Brasil detenha quase 90% da tecnologia, importa os principais componentes, como catalisadores, e alguns outros para operarem em altas temperaturas, como aços especiais.

O desafio é viabilizar esse sistema para competir, no futuro, com o diesel, o que demanda investimentos para a obtenção de ganhos de escala. Nos Estados Unidos, a título de ilustração, as compras governamentais

garantem às empresas esse ganho de escala na produção. Além disso, são produzidos subprodutos, como o ácido acético e o monóxido de carbono, aproveitados pelo setor químico.

Ao considerar-se um veículo silencioso, eficiente e que não polui o ar, com a vantagem adicional de utilizar o álcool como combustível e ser viável para a indústria automotiva, pensa-se logo na tecnologia. Ela existe ou não? A tecnologia está disponível no Laboratório de Hidrogênio da Universidade Estadual de Campinas e foi desenvolvida nos últimos 14 anos pela equipe do Físico Ennio Peres da Silva, em parceria com o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (Ceneh), do Ministério das Minas e Energia, no denominado Projeto Vega (Simões, 2006). Mesmo com recursos modestos de R\$ 400.000,00, é semelhante a outros projetos milionários de carros futuristas feitos em outras partes do mundo com fontes alternativas de combustível. A vantagem da tecnologia desenvolvida pela Unicamp é que, além de ser genuinamente brasileira, garante índice zero de poluição, pelo menos no uso final, e ainda usa matéria-prima nacional e renovável, o etanol extraído da cana-de-açúcar.

O Projeto Vega é quase limpo. A emissão é apenas de água, na saída¹⁴. Por outro lado, para a obtenção do hidrogênio, reforma-se o etanol¹⁵, quando ocorre a emissão de CO₂.

O Projeto Vega poderá ser uma realidade próxima, porque a Petrobrás tem medidas avançadas nessa área e já prepara a instalação de pontos de distribuição de hidrogênio. Os postos de combustíveis poderão incluir equipamentos para transformar¹⁶ o álcool em hidrogênio, e os veículos produzidos em montadoras viriam com motor elétrico e cilindros de hidrogênio, abastecendo-se sem

¹⁴ Diferentemente dos outros processos utilizados nos veículos movidos à gasolina, diesel, gás natural veicular (GNV) e até nos carros atuais movidos a álcool. Em todos esses casos, a energia para mover o motor é obtida pelo processo de combustão em altas temperaturas, próximas a mil graus centígrados, e isso gera a emissão de CO₂ na atmosfera.

¹⁵ Pode ser a gasolina ou o gás natural, por exemplo.

¹⁶ Um sistema integrado composto por um gerador de hidrogênio que utiliza o processo de reforma do etanol. Conta com uma unidade de purificação do gás, uma célula a combustível e um inversor que transforma a corrente elétrica contínua em alternada, que move um motor elétrico. Desses componentes, apenas a célula a combustível foi importada. O restante foi desenvolvido na Unicamp. A célula a combustível é um dispositivo eletroquímico que transforma energia química do combustível (no caso o hidrogênio) em eletricidade. Sua principal função é combinar o hidrogênio com o oxigênio, que pode ser retirado da atmosfera, para a produção de energia elétrica.

causar dificuldades ou grandes investimentos para a rede da indústria automotiva.

O posto vai estar preparado com um ponto de abastecimento de hidrogênio, onde vão estar instalados os equipamentos desenvolvidos na Unicamp, que transformam álcool em gás hidrogênio. Nesse caso, a emissão de CO₂ estaria concentrada no posto e poderia ser recuperada. O reservatório subterrâneo de álcool estará ligado a esses equipamentos, e o abastecimento do gás no veículo vai ocorrer automaticamente. Ao acionar a ignição do veículo, o gás alimenta uma caixa pequena, próxima ao motor do carro, denominada célula a combustível. Por meio de uma reação eletroquímica, essa caixa vai gerar eletricidade e fazer o veículo movimentar-se com o motor elétrico.

Pelos cálculos do pesquisador, o veículo vindo de fábrica já com as adaptações necessárias deverá ter um custo inicial para o consumidor estimado em US\$ 20 mil.

Uma alternativa, ao reduzir significativamente o tamanho do equipamento de conversão do álcool em hidrogênio, tornaria possível ao veículo reunir a bordo todo o sistema. A medida possibilitaria o abastecimento de álcool no veículo, que seria reformado em gás hidrogênio, ao ser acionado o motor de partida. É oportuno lembrar que a reforma do etanol em hidrogênio emite CO₂ e, portanto, espalharia a poluição na rota dos veículos. Ao contrário da outra alternativa, em que o posto faria a reforma, cuja emissão de CO₂ poderia ser capturada e utilizada pelo setor químico.

Uma pequena viagem à transgenia do etanol no Brasil

O Professor Carlos Rossel, pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Unicamp, explica que a tecnologia de segunda geração (Aproveitamento..., 2007), que segue a atual, visa à obtenção do álcool da celulose e constitui o principal objeto das pesquisas do convênio Fapesp-Dedini. Por outro lado, olhando para a frente, os cientistas já trabalham com a tecnologia *biomass to liquid* (BTL), de terceira geração, para produzir combustíveis líquidos por gaseificação e reações de síntese. Esse processo gera hidrocarbonetos semelhantes aos derivados de petróleo, mas todos originados de biomassas. Com a tecnologia BTL viria um *boom* da alcoolquímica, provocado pelas próprias empresas

petroquímicas, que já estão considerando a instalação de verdadeiras plataformas de produção de etanol. Essas plataformas seriam compostas por várias usinas próximas, processando no conjunto de 8 milhões a 10 milhões de toneladas de cana para produzir de 700 milhões a 900 milhões de litros de bioetanol. O destino de todo esse bioetanol seria a alcoolquímica, substituindo-se os derivados de petróleo que hoje compõem uma infinidade de produtos, como plásticos, tintas e solventes. Por causa de todas essas soluções e evoluções tecnológicas, a cana deverá permanecer, por várias décadas, como a mais competente fonte de matéria-prima renovável.

O Professor Rossel continua a explicar que a matéria lignocelulósica, base dos vegetais, é composta essencialmente por celulose (polímero dos açúcares com seis carbonos), por hemicelulose (polímero com cinco carbonos) e por lignina, material estrutural da planta que pode ser fonte de outras matérias químicas ou de combustíveis.

A celulose e a hemicelulose podem ser transformadas em açúcares de cuja fermentação se obtém o álcool. Acontece que materiais ligniosos como o do bagaço de cana são muito resistentes a ataques de agentes físicos e biológicos. É uma estrutura muito difícil de ser quebrada.

Quanto à hidrólise enzimática, também há dificuldades. Na natureza, os microorganismos possuem um sistema de enzimas chamadas de celulasas, que permitem quebrar a celulose em açúcares simples. Esses açúcares são fontes de carbono e de energia para os microorganismos. A questão é que, em escala industrial, a enzima precisa promover essa transformação em açúcares muito rapidamente. Também precisa permanecer estável por longo tempo e não ser inibida por agentes formados com sua própria atividade. Grande parte da pesquisa está centrada na produção de enzimas mais eficientes.

O Programa da Fapesp (2008)¹⁷ de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) objetiva estimular e articular atividades

¹⁷ Outras agências foram convidadas a participar do Programa Bioen da Fapesp. O Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio do CNPq, e a Fapemig já manifestaram interesse. Sob a coordenação direta da Fapesp ou de pesquisadores do Estado, já estão reunidos no Programa cientistas da Universidade de São Paulo (USP) e da Unicamp; dos Estados Unidos, da França e da Austrália; especialistas da Ridesa e do Instituto Agrônomo (IAC), de grande tradição e impacto na cultura da cana; e das Universidades Federais de Pernambuco (UFPE), Alagoas (UFAL) e Viçosa (UFV). As empresas Oxiten, Braskem e Dedini têm convênios prévios com a Fapesp que foram integrados ao Programa.

de pesquisa e desenvolvimento utilizando laboratórios acadêmicos e industriais para promover o avanço do conhecimento e sua aplicação em áreas relacionadas à produção de bioenergia no Brasil.

O Bioen inclui cinco divisões: Divisão de Biomassa para Bioenergia (com foco em cana-de-açúcar); Divisão de Processo de Fabricação de Biocombustíveis; Divisão de Biorrefinarias e Alcoolquímica; Divisão de Aplicações do Etanol para Motores Automotivos - motores de combustão interna e células-combustível; e Divisão de Pesquisa sobre impactos socioeconômicos, ambientais e uso da terra.

O Bioen conta com uma sólida base de pesquisa exploratória acadêmica. Espera-se aprimorar a capacidade da indústria em tecnologias dirigidas ao etanol e aumentar sua competitividade interna e externa.

A Pesquisa em Bioenergia é um programa de pesquisa básica e aplicada, que pretende manter e ampliar a liderança do Brasil na produção de etanol de cana. Em linhas gerais, o programa de pesquisa acadêmica que o Bioen pretende financiar e implementar inclui: o seqüenciamento completo do genoma da cana-de-açúcar; a identificação e o estudo de genes relacionados à resistência da cana à seca, a insetos, ao aumento da produção de sacarose e de biomassa — para desenvolvimento de transgênicos e para informar os trabalhos de melhoramento clássico da cana —; e o estudo da cana sob o ponto de vista de seu uso para produção de etanol de celulose.

A coordenadora do Programa, a pesquisadora Glaucia Souza, espera ter um rascunho do genoma da cana para os próximos dois anos, que é excepcionalmente grande e complexo — 10 bilhões de pares de base. O seqüenciamento reunirá cientistas do Brasil, dos EUA, da França e da Austrália e ocorrerá no Instituto de Química, instrumentalizado por um seqüenciador automático de última geração.

Também serão seqüenciados 1.000 BACs de cana (BAC é a sigla para *bacterial artificial chromosome*). Usando BACs, os cientistas multiplicam trechos de DNA que lhes interessem.

O objetivo é identificar e seqüenciar promotores¹⁸ de genes de interesse. Os genes de interesse são aqueles relacionados ao teor de sacarose, à resistência a insetos, à resistência à seca, à produção de biomassa. O conhecimento dos genes e de seus promotores será útil para a produção de cana transgênica — com mais

sacarose, com mais biomassa, resistente a insetos ou resistente à seca.

O Programa pretende também desenvolver cana transgênica resistente à seca — dado o fato de que 65% da expansão das plantações de cana ocorre, hoje, em áreas de pasto no Centro-Oeste, onde há período mais prolongado de seca. O conhecimento sobre genes e sua localização no genoma da cana também interessa ao melhoramento clássico — aquele em que as plantas são cruzadas e selecionadas a partir das características que apresentam no campo. O melhoramento clássico materializou a cana brasileira na sua eficiência atual.

Sua majestade, o etanol: redesenhando a vida por este mundo afora

O P&D em etanol no exterior aqui apresentado é basicamente um apanhado feito a partir da Technology Review (Viabilidade..., 2006), de julho/agosto de 2006, em reportagem de Jamie Shreeve, **Redesigning Life to Make Ethanol**, que também trata do tema de como a ciência pode ajudar a reverter os danos das alterações climáticas. O autor mostra o quanto esse campo de pesquisa se tornou importante e de resultados cobiçados.

A obtenção de etanol a partir de celulose faz-se pelo processo chamado hidrólise enzimática, feita por meio de enzimas. A Technology Review debruçou-se sobre a hidrólise enzimática e apresenta assim a questão: “Converter celulose em etanol envolve dois passos fundamentais: quebrar as longas cadeias das moléculas de celulose em açúcar e fermentar esses açúcares em etanol” (Ibid, 2006).

Quanto mais os cientistas forem capazes de manipular geneticamente esses microorganismos “[...] para reduzir o número de passos no processo de conversão”, mais barata ficará a hidrólise enzimática, [...] e mais cedo o etanol de celulose vai se tornar comercialmente competitivo” (Ibid, 2006).

Greg Stephanopoulos, do MIT, especialista em processos metabólicos celulares, diz: “O organismo ideal seria aquele capaz de quebrar a celulose como uma bactéria; fermentar o açúcar como uma levedura; tolerar altas concentrações de etanol¹⁹; e produzir etanol tão exclusivamente quanto possível”.

¹⁸ Promotores são as regiões do genoma que ativam os genes ligados a eles.

¹⁹ No processo de fermentação correntemente em uso, o etanol tem de ser continuamente retirado dos tanques de fermentação, caso contrário as leveduras morrem.

Para criá-lo, uma opção seria remover as características genéticas indesejadas de um microorganismo e acrescentar genes desejados vindos de outros microorganismos. A segunda opção seria “construir um genoma customizado quase que do zero” em uma célula sintética. Já há resultados em ambos os sentidos.

O Professor de Engenharia, Lee Lynd, da Universidade de Dartmouth, é um dos pesquisadores que seguem o primeiro caminho para criar o microorganismo ideal. Seu objetivo é “[...] colapsar os muitos passos biologicamente mediados envolvidos na produção de etanol em um só”. O grupo da Universidade de Dartmouth modificou uma bactéria termofílica²⁰ — que gosta de altas temperaturas — de tal forma que o resultado de fermentação seja o etanol.

O outro caminho seria “engenheirar” um organismo que naturalmente produza etanol, mediante a metabolização da celulose. Um grupo de pesquisa da Universidade de Stellenbosch, da África do Sul, com o qual Lynd colabora, anunciou ter desenhado um fungo que quebra as moléculas de celulose e fermenta os açúcares simples resultantes em etanol.

A Synthetic Genomics, fundada pelo famoso Craig Venter, o primeiro a seqüenciar o genoma humano, quer criar um organismo sintético. Nas palavras de Craig Venter, a Synthetic Genomics quer criar uma bactéria que “fará tudo”. Os cientistas ligados a ele trabalham para adicionar e subtrair genes de microorganismos já existentes, a mesma abordagem do grupo de Lynd, como referido. No entanto, a longo prazo, o pesquisador quer construir um microorganismo sintético que quebre celulose e fermente os açúcares exclusivamente em etanol. Para isso, pretende partir de um genoma que contenha apenas os genes necessários para manter a vida²¹, ao qual seriam acrescentados os necessários para fabricar etanol de celulose.

Com uma célula sintética, é possível desenhar os caminhos que se quer. Usando a seqüência de DNA desse genoma mínimo como guia, os pesquisadores estão tentando sintetizar um cromossomo artificial que, inserido em uma célula oca²², levará a uma forma viável de

vida. O passo seguinte será construir caminhos genéticos no genoma para instruir a célula a quebrar celulose e, ao mesmo tempo, produzir etanol.

Um breve mergulho no limiar dos futuros

A prospectiva é uma arte de desenhar futuros, através de cenários, procurando ver o que não é visível, de projetar tendências, apoiadas em terrenos movediços e parametrizar o que não é parâmetro. Mas é tudo o que temos, é a essência de nossa limitação.

Todos os cenários das instituições mais respeitadas, como Worl Energy Council (2007), Pew Climate, Agência Internacional de Energia (Mintzer; Leonardo; Schwartz, 2003), AIE (World energy outlook, 2007), da EPE e da própria Shell (2008), dentre outras, que se estendem entre 2025 a 2050, apontam no sentido de uma forte participação na oferta primária de energia fóssil²³ na Matriz Energética Mundial, em particular, o petróleo, o carvão e o gás natural.

Mesmo assim, a EPE destaca a participação da cana-de-açúcar em 18,5% da matriz energética primária brasileira em 2030 contra 13% em 2010. A própria Unicamp propõe uma participação muito maior, em virtude de prever a possibilidade de o etanol substituir 10% da gasolina do mundo em 2025. Parece-me que o pecado dessa visão é que ela coloca o centro dinâmico de indução do crescimento do sistema no exterior. O Brasil tem chances de reverter esse conceito. Mas também entende que o etanol segue seu curso ao alimentar a célula combustível a hidrogênio.

“O futuro é precariamente imaginado pela mente humana”, já dizia o Mestre da Teoria Geral. Ele mesmo. Mas, mesmo assim, alguma coisa pode-se arriscar; o encaminhamento da matriz energética não pode ser um jogo de especuladores com resultante nula. É uma resolução de Estado que desenhará — assim como em 1930, no bojo da Grande Depressão, o Brasil emerge e se industrializa — o projeto político, estruturando-o, ao mesmo tempo em que oferecerá ao setor privado certo grau elevado de expectativa e regulação pertinente.

²⁰ Suportar altas temperaturas é importante, pois nelas as celulasas já existentes alcançam maior eficiência.

²¹ Esse genoma mínimo para manter a vida não é novidade para Venter. Na década de 90, pesquisadores do seu grupo — inclusive sua ex-mulher, Claire Frasier — mostraram que um microorganismo do sistema urinário humano, dono do menor genoma já visto em um ser vivo, com apenas 517 genes, poderia sobreviver sem quase metade de seus genes codificadores de proteínas.

²² Da qual teria sido retirado seu cromossomo original.

²³ Estados Unidos, Rússia, China e Índia têm grandes reservas de carvão. Em gás natural, destaca-se a Rússia. Os Estados Unidos tem o Oil Shale em imensas reservas, enquanto o Brasil corre para as profundezas do oceano. A União Européia vê-se desprotegida de reservas fósseis. Deverá partir para energéticos alternativos e/ou nucleares.

Se a História for a nossa lembrança viva dos nossos erros e também dos acertos, tomemos os anos 30 como exemplo. E saíamos fortalecidos, econômica, energética, social e ambientalmente dessa ambivalência, criando-se as condições materializadas na pesquisa para uma solução brasileira com inserções internacionais. De dentro para dentro. E, ainda que residualmente ou não, de dentro para fora. Privilegiando o regional ao global, sem ignorá-lo. Conjugando os espaços, as vocações sob uma maestria capaz de reger as necessidades em partituras ainda não construídas.

Da contradição entre os princípios e a ação

Retomando, a prospectiva é a arte de imaginar e desenhar futuros em meio ao sofrimento e às esperanças das criaturas de toda a Terra e à estupidez humana, que a História já cansou de mostrar. O conhecimento objetivo é uma arte incompleta, incapaz de captar a oscilação entre sentimentos tão antagônicos, como o amor e o ódio; o altruísmo e o egoísmo; o perdão e a vingança; a dor e o prazer; entre a agressividade instintiva e a abnegação, atributos que instabilizam a racionalidade, tornando-a volátil e, por isso mesmo, instigante, pulverizando as projeções monotônicas do comportamento.

Esses sentimentos estarão também presentes no desenvolvimento da crise energética, como em todos os segmentos da humanidade, e os poderosos interesses, apesar dos avisos, guiados pela cega psicopatia do poder e pela frieza de suas ações, sufocam-se em arrependimentos mortos, há muito.

E, nessa sombria trajetória, entre Noé e Jeremias, as questões éticas relativas à vida, da idéia do Criador e criatura, base do nosso padrão civilizatório, não podem ser ignoradas, e a transgenia coloca essa discussão na ordem do dia. O homem é criatura que se tornou criador, dada a sua imagem e semelhança? Se o fruto do conhecimento é a razão da condenação original, também é a razão desse avanço científico e do progresso material. E entre a contradição da culpa, modelada no superego, e do ato, consubstanciado nos instintos, caminha a humanidade.

Assim seguirá o homem, agindo com culpa, mas agindo, em troca de prêmio e castigo, dor e prazer.

Referências

AGÊNCIA BRASIL. Brasília: Empresa Brasileira de Comunicação, [2007]. <<http://www.agenciabrasil.gov.br/>>.

APROVEITAMENTO da Sacarose chega ao limite. **Jornal da Unicamp**, Campinas, ed. 366 - 6 a 12 de agosto de 2007. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/unicamp/>>.

ARTIGO recomenda programa de álcool brasileiro como alternativa já viável para substituir gasolina nos países em desenvolvimento. **Inovação Unicamp**: Boletim Eletrônico dedicado à Inovação Tecnológica, Campinas: UNICAMP, 26 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/>>.

BARCZA, Marcos Villela. **Processos Unitários Orgânicos**: hidrólise. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/Hidrolise.pdf>>.

BENSUSSAN, Jaques Alberto. Etanol: o desafio brasileiro de saltar de 16 bilhões para 205 bilhões de litros. **Carta de Conjuntura FEE**, Porto Alegre: ano 16, n. 4, 2007. Disponível em: <<http://fee.tche.br>>.

BENSUSSAN, Jaques Alberto. Uma breve incursão no dimensionamento do mercado de biodiesel no Brasil. **Carta de Conjuntura FEE**, Porto Alegre: ano 17, n. 1, 2008. Disponível em: <<http://fee.tche.br>>.

BENSUSSAN, Jaques Alberto. Energia: recursos renováveis *versus* não renováveis. **Carta de Conjuntura FEE**, Porto Alegre: ano 15, n. 11, 2006. Disponível em: <<http://fee.tche.br>>.

BRASIL tem vantagem tecnológica em etanol, mas está em vias de perdê-la, diz Prêmio Nobel... **Inovação Unicamp**: Boletim Eletrônico dedicado à Inovação Tecnológica, Campinas: UNICAMP, 21 nov. 2005. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/>>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME; EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>.

DEDINI INDÚSTRIAS DE BASE. **Produção de álcool a partir do bagaço**: o processo DHR — Dedini Hidrólise Rápida. [S.l.: Dedini, 2007). Disponível em: <<http://www.inova.unicamp.br/inventabrasil/dedini.htm>>.

ECO & AÇÃO: ecologia responsável (*site*). Disponível em: <<http://www.ecoeacao.com.br>>.

ESTADOS UNIDOS. Department of Energy. **Biomass program**. Disponível em: <<http://www1.eere.energy.gov/biomass/ethanol.html>>.

ETHANOL [site]. Disponível em: <<http://www.drivingethanol.org>>.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **BIOEN** [O Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia ...]. São Paulo: FAESP, (2008). Disponível em: <<http://www.fapesp.br/materia/3254/pesquisa>>.

GAIA-MOVEMENT TRUST: living earth green world action (*site*). Disponível em: <<http://www.gaia-movement.org/default.asp>>.

HIDROGÊNIO. In: **Portal H2**. Disponível em: <<http://www.portalh2.com.br/prtlh2/hidrogenio.asp>>. <<http://www.inovacao.unicamp.br/especial/etanol/>>.

JEREMIAS. In: Profetas do Tanah, **Bíblia Hebraica**, São Paulo: Editora e Livraria Sefer, 2006. p. 451, 1.13.

LEITE, Rogério Cerqueira. **A posição do Brasil na economia do etanol. Inovação Unicamp**: Boletim Eletrônico dedicado à Inovação Tecnológica, Campinas: UNICAMP, 26 fev. 2006. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/>>.

MINTZER, Irving; LEONARD, Amber J.; SCHWARTZ, Peter. **US Energy for the 21st Century**. [Washington]: Pew Center Global Climate Change, 2003. Disponível em: <<http://www.pewclimate.org>>.

OMETTO, Dovílio. **DHR** (Dedini Hidrólise Rápida). [Campinas: Unicamp, 2002]. Disponível em: <<http://www.inova.unicamp.br/inventabrasil/dedini.htm>>.

PESQUISA FAPESP: *on-line*. São Paulo: Fapesp, 2007. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/>>.

RODRIGUES, Roberto. Com P&D, em 10 anos, o Brasil poderá produzir duas vezes mais etanol, na mesma área plantada. **Inovação Unicamp**: Boletim Eletrônico dedicado à Inovação Tecnológica, Campinas: UNICAMP, 15 fev. 2006. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/>>.

ROMERO, Thiago. Metas para o etanol. **Boletim FAPESP**, São Paulo: Agência Fapesp, 19 mar. 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/>>.

SHELL Energy Scenarios to 2050. [S.l.; Shell], 2008. Disponível em: <<http://www.shell.com/scenarios>>.

SIMÕES, Janaína. HyTron Tecnologia em Hidrogênio. In: **PIPE** pequenas que inovam. **Inovação Unicamp**, Campinas: UNICAMP 4 dez. 2006. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/pipe/report/>>.

STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2008. Londres: BP Global, [2008]. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>>.

TOLMASQUIM, Maurício. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME; EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.

UNIVERSIA: rede de universidades - Brasil. Disponível em: <<http://www.universia.com.br/index.jsp>>.

VIABILIDADE comercial da produção de etanol de celulose passa por engenheirar organismos. **Inovação Unicamp**: Boletim Eletrônico dedicado à Inovação Tecnológica, Campinas: UNICAMP, (Publicada originalmente em 4 de set. 2006, na seção LEITURAS). Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/>>.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Deciding the future: energy policy, scenarios to 2050**. Londres: WEC, 2007. Disponível em: <www.worldenergy.org>.

WORLD ENERGY OUTLOOK, 2006. London: OECD/IEA, 2006. Disponível em: <<http://www.iea.org>>.

