

## Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de etanol lignocelulósico

### Resumo

A produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica tem sido amplamente estudada pois aumenta-se a produtividade de etanol por hectare de cana-de-açúcar plantada de forma a atender a crescente demanda por biocombustível. Entretanto, a utilização desta tecnologia encontra alguns entraves tecnológicos e econômicos como o alto custo das enzimas. Assim, este artigo faz uma revisão da viabilidade técnico-econômica da produção de etanol de segunda geração no Brasil e no mundo e aponta algumas perspectivas para o setor.

### Introdução

Diante da perspectiva no aumento da demanda por etanol combustível e da necessidade de aumento da capacidade produtiva, esforços tem sido aplicados na ampliação da produtividade de litros de álcool por hectare-ano de cana-de-açúcar plantada. Questões ambientais e a elevação nos custos do petróleo também impulsionam as pesquisas em combustíveis alternativos a partir de matéria-prima renovável, como o etanol. De forma a atender esta demanda, duas opções tem sido amplamente estudadas para a produção de bioetanol a partir de matérias-primas lignocelulósicas, o chamado etanol de segunda geração: o uso culturas dedicadas como salgueiro e capim-elefante e o aproveitamento integral da biomassa de outros processos, como os resíduos agrícolas (palha-de-trigo, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de milho) e resíduos florestais (pó e restos de serraria, pontas e galhos finos de espécies florestais nativas ou exóticas), (GALBE; ZACCHI, 2010).

Além do desenvolvimento destas tecnologias para a produção de etanol de segunda geração competitiva com os preços de etanol primeira geração (Tabela 1), um ponto importante para disponibilização para a indústria e para a sociedade é a análise da viabilidade técnico-econômica. A maioria destes estudos até o momento foi feita nos Estados Unidos, especialmente pelo NREL<sup>1</sup>, e na Europa. Apesar do Brasil ser o segundo maior produtor de etanol do mundo, como indica a Figura 1, não há muitos estudos de avaliação da aplicabilidade da tecnologia do etanol de segunda geração considerando-se a disponibilidade de matéria-prima, viabilidade técnica e os custos de produção.

Brasília, DF  
Maio, 2011

### Autor

Alice Medeiros de Lima  
Engenheira Química,  
Mestre em Engenharia  
Química, Analista da  
Embrapa Agroenergia,  
DF, alice.lima@  
embrapa.br.

<sup>1</sup> National Renewable Energy Laboratory (<http://www.nrel.gov/>)

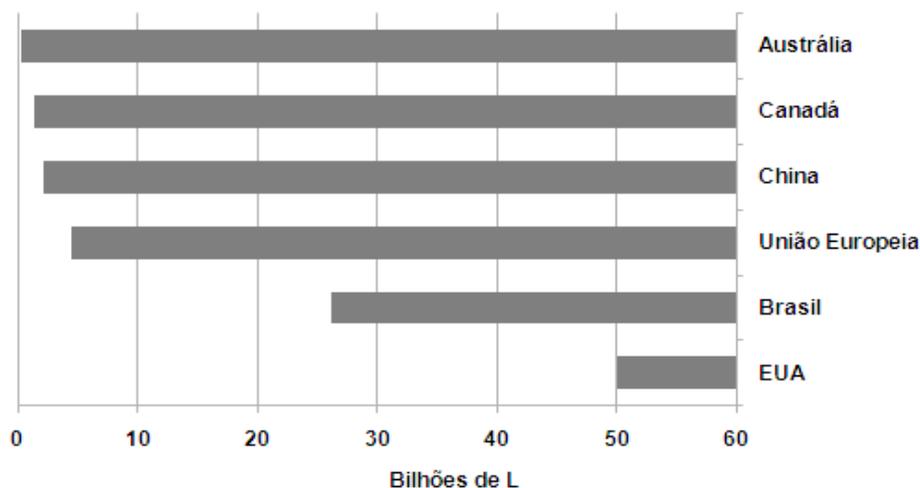


Figura 1. Produção de etanol em 2010.  
Fonte: RFA (2011).

Tabela 1. Custos da produção de etanol no Brasil na safra 2009/2010, em US\$.L<sup>-1</sup>. Fonte: PECEGE (2010).

	Região de Expansão	Região Tradicional	Região Nordeste
<b>Etanol Anidro</b>	0,583	0,597	0,665
<b>Etanol Hidratado</b>	0,541	0,543	0,609

O desenvolvimento do processo de obtenção de etanol a partir de material lignocelulósico é importante para o Brasil dada a grande disponibilidade de matéria-prima. Segundo dados do CTC<sup>2</sup>, na safra 2008/2009 o Brasil processou aproximadamente 570 milhões de toneladas de cana e produziu 160 milhões de toneladas de bagaço (CTC, 2011). De acordo com estimativa da UNICA<sup>3</sup>, do total de bagaço produzido na safra 2008/2009, aproximadamente 75% foi utilizado na produção de energia elétrica por cogeração juntamente com 5% da palha disponível nas usinas sucroalcooleiras, o que representou uma participação de 3% na matriz elétrica brasileira (SILVESTRIN, 2009). O excedente do uso das usinas para a cogeração representa uma possibilidade para produção de etanol de segunda geração, além do que o possível uso da palhada na cogeração aumenta a disponibilidade do bagaço para produção de etanol. Entretanto, questões econômicas relevantes condicionam diretamente a decisão do que produzir, como por exemplo: Qual o mix (cogeração/etanol 2G) para a maior rentabilidade?, e devem ser respondidas. Para tanto, estudos de viabilidade técnico-econômica (EVTE) são essenciais.

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia Canavieira (<http://www.ctcanavieira.com.br/site/>)

<sup>3</sup> Interdisciplinary Center of Energy Planning

Assim, o objetivo desta circular é fazer uma revisão da literatura sobre a viabilidade técnico-econômica da produção de etanol lignocelulósico no Brasil e no mundo.

## Estudos recentes

Alguns dos grandes gargalos para a disponibilização da tecnologia do etanol lignocelulósico a partir do processo bioquímico são o alto custo das enzimas, a baixa produtividade, o baixo rendimento e a dificuldade de scale up da etapa de hidrólise. Para o processo termoquímico alguns entraves são o alto custo dos catalisadores e questões de escala. Desta forma, é importante a análise técnico-econômica para a avaliação de cenários onde a implementação destas tecnologias será viável.

As principais tecnologias em estudo para a produção de etanol de segunda geração são: a hidrólise seguida de fermentação e a gaseificação de materiais lignocelulósicos. A hidrólise pode ser realizada por processos ácidos, com solventes orgânicos ou enzimas. A hidrólise ácida utiliza ácido sulfúrico, clorídrico ou nítrico concentrados ou diluídos. Quando se utiliza solventes orgânicos, uma mistura de solvente orgânico (metanol, etanol ou acetona) com um catalisador ácido (ácido sulfúrico

ou clorídrico) é usada para quebrar as ligações internas da lignina e hemicelulose. A hidrólise enzimática (sacarificação) consiste na quebra destas ligações utilizando-se enzimas. A gaseificação consiste na conversão em altas temperaturas da biomassa em gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  e vapor d'água). O processo permite geração de eletricidade em ciclo combinado e a produção de combustíveis líquidos (ROSA; GARCIA, 2009).

Na sequência apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre os custos de produção de etanol lignocelulósico no Brasil e no mundo.

Aden et al. (2002) fizeram o projeto conceitual de uma planta para produção de etanol a partir de resíduos do milho (caules, folhas, sabugo e palha). Consideraram, no projeto, a manipulação e armazenagem da matéria-prima, a purificação dos produtos, o tratamento da água, a combustão da lignina, o estoque da produção e todas as utilidades. O processo ocorre com diluição ácida co-corrente na pré-hidrólise da biomassa lignocelulósica, com sacarificação da celulose remanescente e fermentação simultânea da glicose e xilose (co-

fermentação) resultante para etanol. O fluxograma do processo é mostrado na Figura 2. Foram realizados estudos de escala, de sensibilidade e estimadas a demanda de energia, os impactos ambientais e custo para coleta e transporte dos resíduos. Para início da operação no ano de 2010, obteve-se um custo de US\$0,28.L<sup>-1</sup>, considerando-se o processamento de 2.000 ton.d<sup>-1</sup> de matéria-prima. A contribuição de cada etapa no processo no valor mínimo de venda do etanol (MESP) produzido pela rota bioquímica a partir dos resíduos de milho estão dispostos na Figura 3.

Williams et al. (2007) levantaram os custos de produção de etanol lignocelulósico a partir dos resíduos do milho no estado da Califórnia (EUA), e encontraram US\$0,43.L<sup>-1</sup> para uma planta com capacidade de produção de 256.106 L.ano<sup>-1</sup>. O modelo econômico assume um rendimento de 292 litros de etanol por tonelada de biomassa seca, considerando-se que o melhoramento na hidrólise enzimática irá aumentar o rendimento. O levantamento dos custos foi feito a partir de estudos prévios do NREL, utilizando o mesmo processo reportado por Aden et al. (2002).

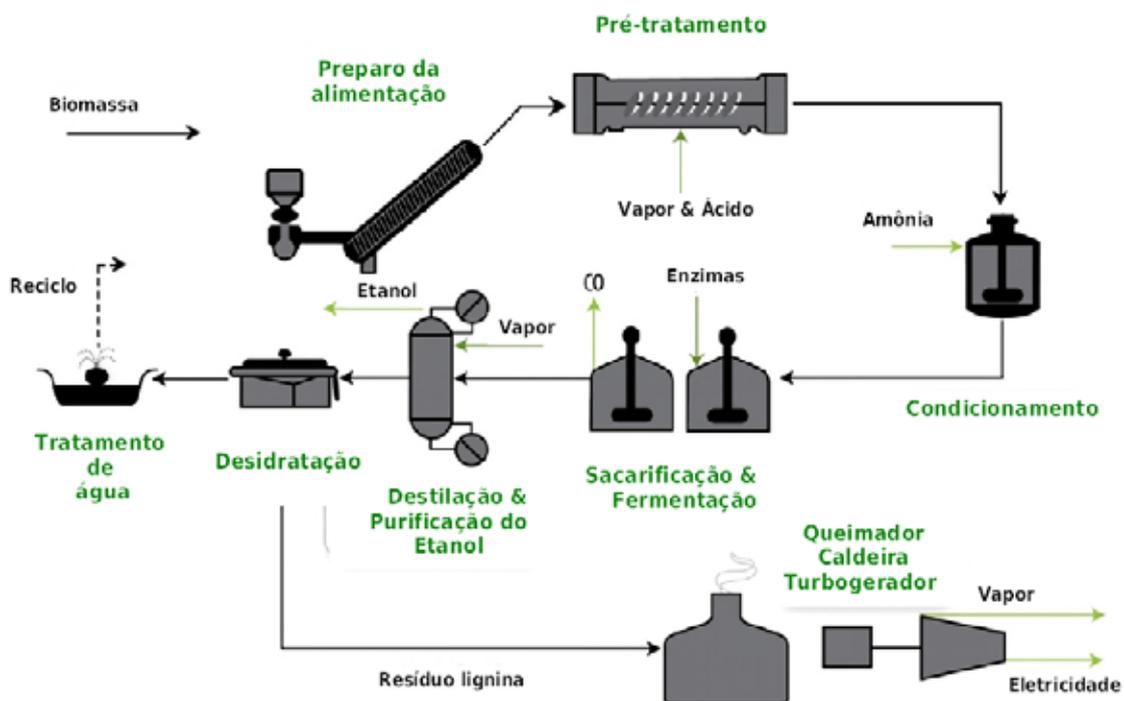
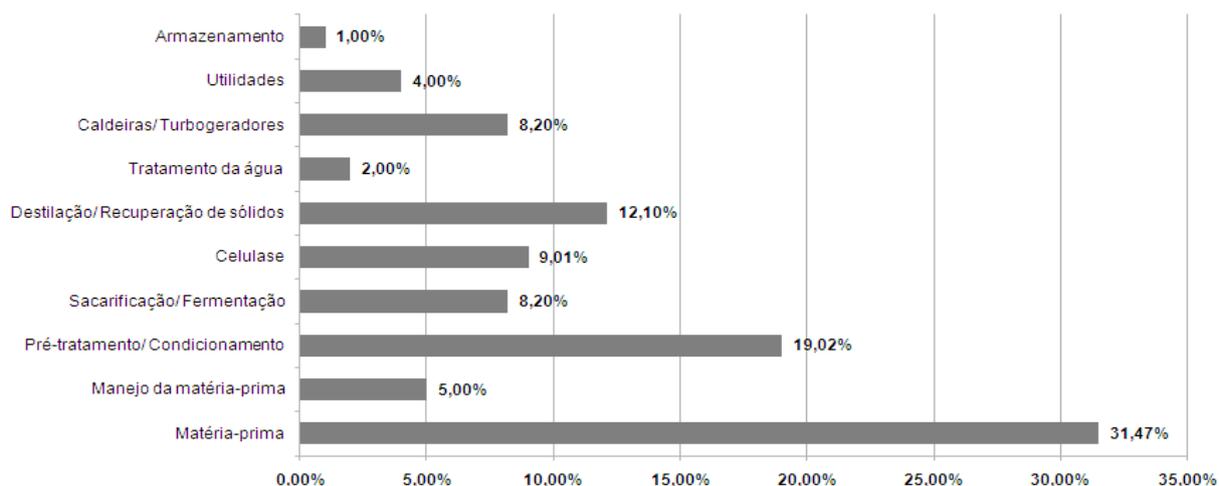


Figura 2. Fluxograma esquemático da conversão bioquímica do bagaço de cana-de-açúcar a etanol.

Fonte: Adaptado de Seabra et al. (2010) citado por Aden et al. (2002).



**Figura 3.** Contribuição da etapa do processo no valor mínimo de venda do etanol (MESP) produzido pela rota bioquímica a partir dos resíduos de milho.

Fonte: Adaptado de Aden et al. (2002).

Phillips (2007) estudou o custo de produção de etanol e álcoois superiores lignocelulósicos a partir dos resíduos de madeira (álamo). As simulações para uma capacidade de processamento da planta de 2.000 toneladas de matéria-prima por dia foram feitas com o software AspenPlus®. O processo adotado pelo autor é termoquímico para conversão da biomassa em combustível líquido, e engloba além das etapas de gaseificação e síntese catalítica, limpeza e condicionamento do gás e a purificação dos produtos. A Figura 4 mostra o diagrama de blocos do processo. O reator de gaseificação adotado foi de leito fluidizado com aquecimento indireto e baixa pressão, o modelo foi validado com dados do BCL (Battelle Columbus Laboratory's). A etapa de síntese do álcool foi modelada com um reator multitubular de leito fixo utilizando um catalisador baseado em dissulfeto de molibdênio. Foi encontrado um custo mínimo para venda do etanol (MESP<sup>4</sup>) de US\$0,267.L<sup>-1</sup>. A contribuição por etapa do processo no valor mínimo de venda do etanol está indicado na Figura 5. O autor (PHILLIPS, 2007) afirma que aproximadamente 45% dos custos estão associados a matéria-prima, catalisadores e resíduos, indicando que esforços ainda devem ser aplicados no desenvolvimento da tecnologia de forma a tornar o processo economicamente competitivo.

O processo termoquímico tem sido mais estudado para aplicação na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, será construída uma planta-piloto pelo

IPT<sup>5</sup> para gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar. A construção do Centro de Gaseificação pelo IPT será na cidade de Piracicaba (SP) e levará três anos, com dois anos subsequentes de operação e desenvolvimento tecnológico (IPT, 2011). Juntamente com seus parceiros (CTC, CTBE, ESALQ), o IPT pretende desenvolver alternativas mais eficientes técnica e economicamente de forma a tornar o processo da gaseificação da biomassa competitivo.

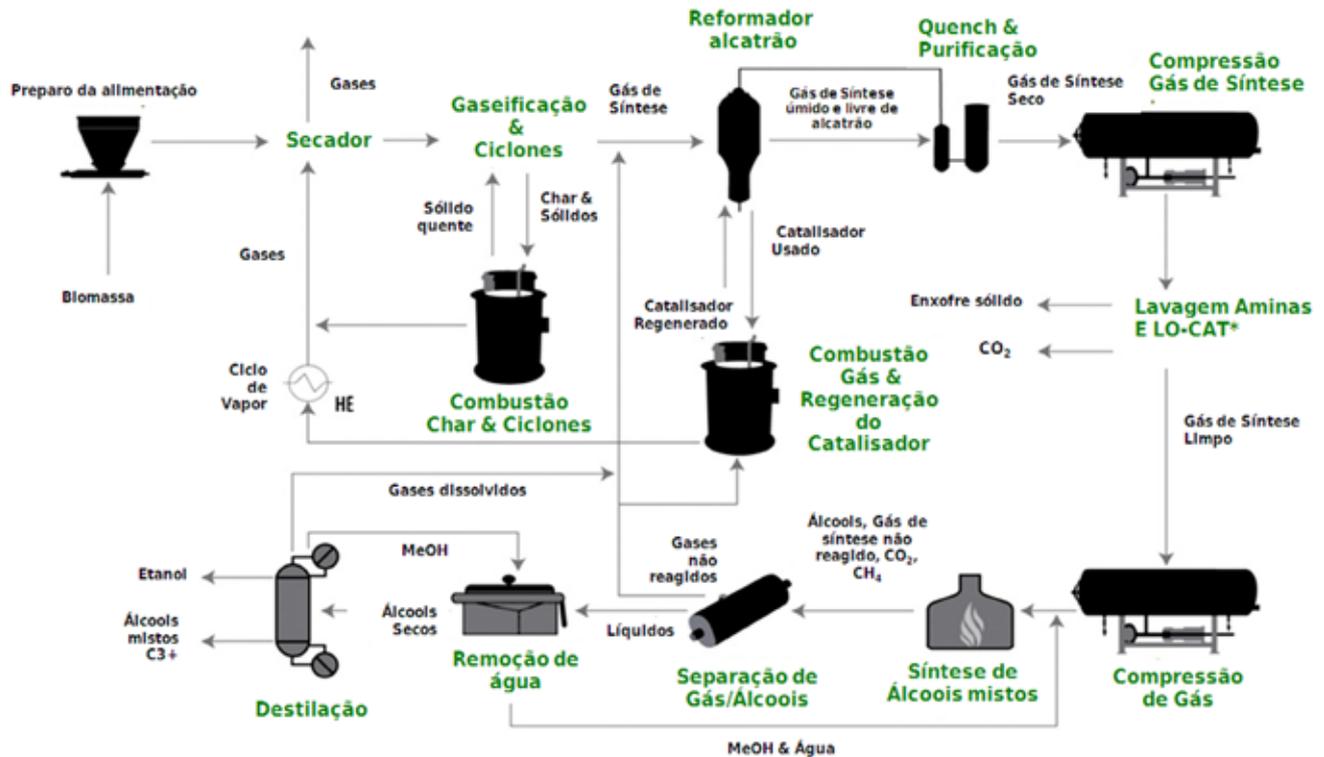
Gnansounou e Dauriat (2010) fizeram uma revisão dos trabalhos de análise técnico-econômica da produção de etanol lignocelulósico nos Estados Unidos e Europa. Os custos levantados por diversos autores, estão resumidamente descritos na Tabela 1. Pode-se observar pela análise da Tabela 2, que os custos de produção são sensíveis ao tipo de processo (químico/bioquímico) e a escala.

Seabra et al. (2010) avaliaram a viabilidade técnico-econômica da produção de etanol a partir de resíduos da cana no Brasil. O estudo foi feito pelo NIPE<sup>6</sup>/UNICAMP e pelo NREL. Os autores basearam-se em modelos desenvolvidos pelo NREL para resíduos de milho para o processo termoquímico (gaseificação com vapor indireto, (PHILLIPS, 2007)) e bioquímico (pré-tratamento ácido seguido por hidrólise enzimática e co-fermentação, (ADEN et al., 2002)). Os dados foram adaptados para as características da matéria-prima brasileira,

<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas

<sup>6</sup> Interdisciplinary Center of Energy Planning

<sup>4</sup> Minimum ethanol selling price.



\* Operação que reduz  $H_2S$  a enxofre.

Figura 4. Fluxograma esquemático da conversão termoquímica do bagaço de cana de blocos a etanol.

Fonte: Adaptado de Seabra et al. (2010) citado por Phillips (2007).

juntamente com dados do CTC, utilizando-se o software AspenPlus® para as simulações.

Análises de sensibilidade considerando-se os parâmetros: (i) custo de enzima, (ii) preço da eletricidade e (iii) álcoois superiores, (iv) taxa mínima de atratividade (TMA) e (v) custo dos resíduos (palhada) no preço mínimo de venda do etanol (MESP) estão indicadas nas Figuras 6 e 7. Os autores (SEABRA et al., 2010) concluíram que não há grande diferença entre os custos da produção pela via termoquímica e bioquímica, além do que estes processos tem potencial competitivo com os preços de mercado do etanol anidro. Entretanto, esta comparação foi feita para os custos produtivos no ano de 2007. Pela estimativa feita pelos autores (SEABRA et al., 2010) o MESP pela conversão bioquímica é de  $0,318 \text{ US}\$.L^{-1}$  e de  $0,329 \text{ US}\$.L^{-1}$  pela conversão termoquímica, enquanto o preço do etanol anidro no ano de 2007 no estado de São Paulo, segundo CEPEA/ESALQ<sup>7</sup>, variou de

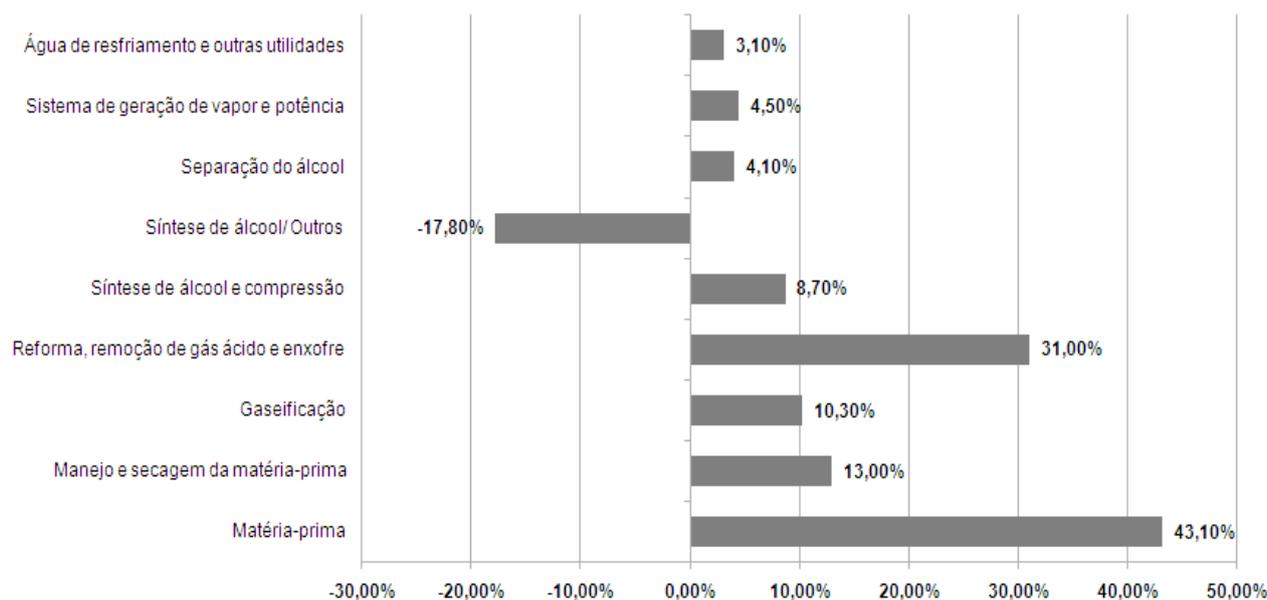
<sup>7</sup> Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP - O custo reportado inclui impostos (PIS/CONFINS) e a taxa de desconto dos valores a prazo (CDI), exclui o frete, e toma como referência a região do estado de São Paulo. <http://www.cepea.esalq.usp.br/etanol/?page=401&Dias=15>

$0,329 - 0,537 \text{ US}\$.L^{-1}$ . Entretanto, estudos de integração mássica e energética devem ser feitos para otimização do processo, bem como análises detalhadas de viabilidade técnico-econômica para diferentes matérias-primas, aplicabilidade em diferentes regiões, além de estudos de mercado.

## Perspectivas e Conclusões

Leal et al. (2010) reportaram o roadmapping tecnológico para o etanol e apontaram que nos próximos 20 anos o setor sucroenergético passará por uma transição rumo a uma cadeia produtiva de etanol, energia e bioprodutos, eficaz e eficiente, e que explore suas vantagens competitivas de forma social, econômica e ambientalmente sustentável, visando à liderança internacional na produção e no domínio tecnológico.

Os objetivos estratégicos levantados no roadmapping estão mostrados na Figura 8. Para atender aos objetivos estratégicos foram levantados os quatro componentes do roadmapping tecnológico do etanol: (i) melhoramento genético, (ii) manejo da cultura, (iii) hidrólise e (iv) termoconversão. Para cada um destes componentes foram delineados os



**Figura 5.** Contribuição da etapa do processo no valor mínimo de venda do etanol (MESP) produzido pela gaseificação a partir de resíduos de madeira.

Fonte: Adaptado de Phillips (2007).

gargalos tecnológicos e as metas para alcançar os objetivos propostos. Na Tabela 3, estão descritos sucintamente algumas metas que se espera alcançar nos próximos anos.

Ressalta-se ainda que o aumento da produtividade por hectare-ano pode ser obtido com o uso de outras culturas no período da entressafra, como o sorgo sacarino (MORENO, 2010), a mandioca (SOTERO, 2010), dentre outras culturas. Desta forma, pode-se garantir a produção de etanol durante todo o ano, evitando-se o aumento dos preços e o desabastecimento nos períodos de entressafra.

No Brasil, investimentos na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia do etanol de segunda geração tem aumentado consideravelmente. Como prova disto tem-se as iniciativas do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (INCT<sup>8</sup>) que reúne 31 laboratórios de 5 estados brasileiros, e o Programa Bioen (FAPESP), (CORRIDA..., 2010). Entretanto, cabe ressaltar que um longo caminho ainda tem que ser percorrido pelo Brasil para dominar a tecnologia de produção de etanol de segunda geração. Como exemplo, apenas uma empresa, a Poet<sup>9</sup> (maior produtora de etanol nos Estados Unidos) já possui

tecnologia avançada para produção comercial, e anunciou que até 2022 estará produzindo 13,2 bilhões de litros de etanol celulósico por ano. Tal resultado é fruto do investimento maciço em pesquisa e desenvolvimento pelo Governo norte-americano (CORRIDA..., 2010).

Garantir a produção de etanol durante todo o ano é um fator importante para a manutenção dos preços do combustível. O consumo elevado e a entressafra também tem causado desabastecimento de gasolina (CONSUMO..., 2011). Fatores como a sazonalidade da cultura de cana-de-açúcar e a estiagem contribuíram para a alta no preço do etanol neste último período de entressafra (dezembro/2010 a abril/2011). Nunca desde a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), em 1975, os preços desse combustível atingiram níveis tão elevados como na atual entressafra (IMPORTAÇÃO..., 2011). A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) divulgou que o aumento semanal médio do etanol hidratado nos postos do país foi de 7,47%, passando para R\$ 2,358 o litro. No maior estado produtor (SP), o reajuste foi de 4,11%. O Rio Grande do Sul registrou o aumento de 16,8%, considerado o maior reajuste do país, passando de R\$ 2,464 para R\$ 2,878 (MORENO, 2011). Além das questões referentes à entressafra, cita-se também a competição com a produção de

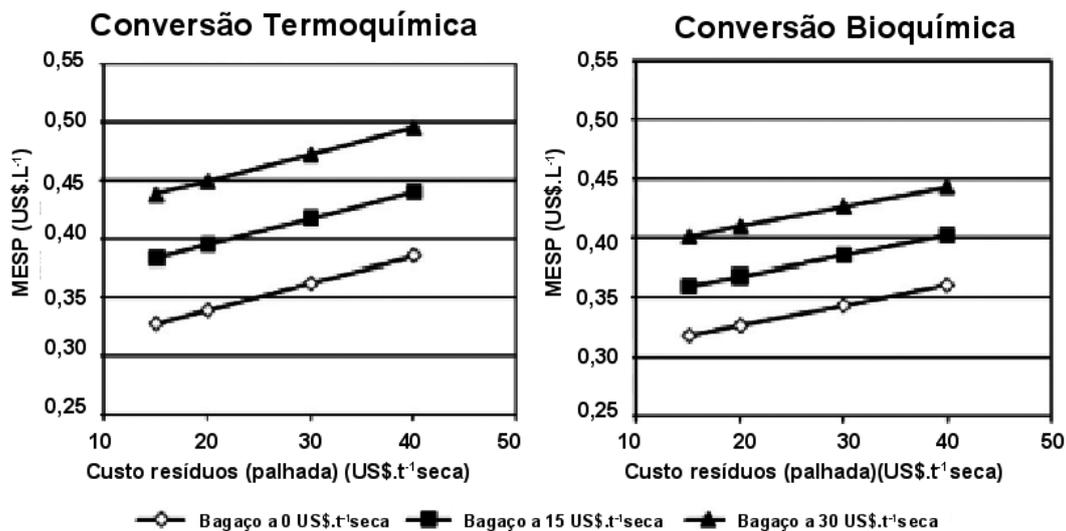
<sup>8</sup> <http://inctdobioetanol.com.br/instituto.php?ID=1>

<sup>9</sup> POET: <http://www.poet.com/index.asp>

**Tabela 2.** Levantamento dos custos de produção de etanol lignocelulósico nos EUA e Europa.

Referência	Matéria-prima	Processo	Custo (US\$.L <sup>-1</sup> )	Capacidade (10 <sup>6</sup> L.ano <sup>-1</sup> )
<b>Badger Engineers, 1987 EUA</b>	Madeira dura	Hidrólise ácida	0,32	6,59
			0,43	1,32
<b>Stone &amp; Webster Engineering Corp., 1987 EUA</b>	Madeira de eucalipto	Hidrólise enzimática	0,92	3,96
<b>Chem Systems, Inc., 1987 EUA</b>	80% de madeira dura e 20% de maple (Plátano bastardo - <i>Acer pseudoplatanus</i> )	Hidrólise e fermentação com produção de enzimas, recuperação do CO <sub>2</sub>	0,54	6,59
<b>Sassner, 2008 - Europa</b>	Madeira de coníferas (abeto)	Catalizado por SO <sub>2</sub> , explosão a vapor, pré-tratamento, sacarificação e fermentação simultânea.	0,69	200.000 ton de biomassa seca.ano <sup>-1</sup>
	Madeira dura (salgueiro)		0,86	
	Resíduos de milho		0,87	

Fonte: Gnansounou e Dauriat (2010).



**Figura 6.** Preço mínimo de venda do etanol em função do custo da matéria-prima.

Fonte: Seabra et al. (2010).

açúcar devido a maior rentabilidade obtida pelos produtores. Neste cenário, reforça-se a necessidade de ampliar a produção de etanol no país.

No Brasil, Esforços de diversas instituições tem sido aplicados no desenvolvimento das rotas tecnológicas que viabilizem a produção de etanol de segunda geração, como Unicamp, UFRJ, CTC, CTBE e Embrapa.

Através do levantamento da viabilidade técnico-econômica da produção de etanol

celulósico, pode-se concluir que a viabilização depende do aprimoramento das tecnologias em desenvolvimento. Os custos para produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica ainda são pouco competitivos frente ao custo de produção do etanol de primeira geração (Tabela 1). Assim, além do aperfeiçoamento tecnológico, estudos detalhados de escala, produção regional e viabilidade técnico-econômica podem contribuir no direcionamento da implantação destes processos.

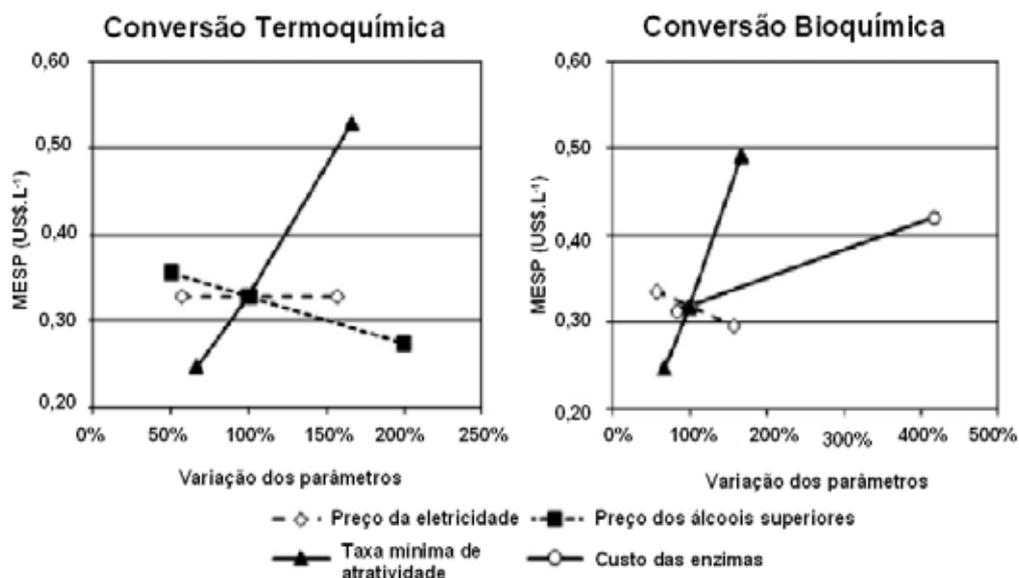


Figura 7. Análise de sensibilidade do preço mínimo de venda do etanol (MESP) aos parâmetros econômicos.

Fonte: Seabra et al. (2010).

Tabela 3. Objetivos a serem alcançados nos próximos anos por componente do *roadmapping* tecnológico.

Fases	Componentes	Metas
Agrícola	Melhoramento genético	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Melhorar a cana-de-açúcar para produção de etanol (cana-energia) e energia elétrica</li> <li>ii. Aumentar a produtividade agrícola, resistência e tolerância às pragas e doenças e fatores adversos</li> </ol>
	Manejo da cana-de-açúcar	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Melhorar o sistema de plantio</li> <li>ii. Aumentar a eficiência da colheita mecanizada</li> <li>iii. Desenvolver sistema mecanizado de colheita que contemple a recuperação da palhada</li> </ol>
Industrial	Hidrólise	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Aumentar a eficiência do pré-tratamento físico-químico</li> <li>ii. Desenvolver sistema de reator capaz de contornar as inibições, reter as enzimas e o substrato em suspensão (hidrólise enzimática do bagaço)</li> <li>iii. Encontrar/ modificar um microorganismo capaz de transformar as pentoses do bagaço em etanol em escala comercial</li> </ol>
	Termoconversão	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Aumentar a reatividade e reduzir os custos dos catalisadores</li> <li>ii. Aumentar a escala das tecnologias envolvidas (pirólise, gaseificação, síntese)</li> </ol>

Fonte: Adaptado de Leal et al. (2010).



**Figura 8.** Objetivos estratégicos para 20 anos segundo o roadmapping tecnológico do etanol.

Fonte: Adaptado de Leal et al. (2010).

## Referências

ADEN, A.; RUTH, M.; IBSEN, K.; JECHURA, J.; NEEVES, K.; SHEEHAN, J.; WALLACE, B.; MONTAGUE, L.; STAYLON, A.; LUKAS, J. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover. NREL/TP-510-32438, June 2002.

CONSUMO elevado e entressafra causam escassez de gasolina. **JornalCana**, abr. 2011. Disponível em: <[http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Cana-Clipping&ID\\_Materia=42634](http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Cana-Clipping&ID_Materia=42634)>. Acesso em: 15 abr. 2011.

CORRIDA entre Brasil e Estados Unidos mostram diferença abissal. **JornalCana**, n. 200, p. 209, ago. 2010.

CTC. Potencial de produção de bagaço e palha. Disponível em: <[http://www.ctcanavieira.com.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=366&Itemid=1315](http://www.ctcanavieira.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=366&Itemid=1315)>. Acesso em: 23 mar. 2011.

GALBE, M.; ZACCHI, G. Produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. p. 697-750.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: A review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 13, p. 4980–4991, 2010.

IMPORTAÇÃO de gasolina para substituir etanol. **Brasil Econômico**. Disponível em: <[http://www.brasileconomico.com.br/noticias/importacao-de-gasolina-para-substituir-etanol\\_100144.html](http://www.brasileconomico.com.br/noticias/importacao-de-gasolina-para-substituir-etanol_100144.html)>. Acesso em: 10 abr. 2011.

IPT – Notícias. Gaseificação é aprovada. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticia/278-gaseificacao\\_e\\_aprovada.htm](http://www.ipt.br/noticia/278-gaseificacao_e_aprovada.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2011.

LEAL, R. L. V.; CORTEZ, L. A. B.; FELIPE, M. G. A.; ROSSEL, C. E. V.; BONOMI, A.; MAGALHÃES, P. S. G. Contextualização e premissas para o *roadmapping* tecnológico para o etanol. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. p. 863 – 882.

MORENO, A. Sorgo Sacarino, saca?. **JornalCana**, n. 200, p. 220, ago. 2010.

MORENO, A. Preço do etanol sobe em média 7,4% no país, diz ANP. **JornalCana**, abr. 2011. Disponível em: <[http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Exclusivas&ID\\_Materia=42630](http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticia.asp?area=Producao&secao=Exclusivas&ID_Materia=42630)>. Acesso em: 15 abr. 2011.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: safra 2009/2010**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2010. 100 p. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

PHILLIPS, S. D. Technoeconomic analysis of a lignocellulosic biomass indirect gasification process to make ethanol via mixed alcohols synthesis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, + + +v. 46, p. 8887-8897, 2007.

RFA, Renewable Fuels Association. **Statistics – ethanol industry statistics**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 32, 2009. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3204.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3204.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2011.

SEABRA, E. A.; TAO, L.; CHUM, H. L. A techno-economic evaluation of the effects of centralized cellulosic ethanol and co-products refinery options with sugarcane mill clustering. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, 34, p. 1065-1078, 2010.

SILVESTRIN, C. R. **Bioeletricidade – Reduzindo emissões e agregando valor ao sistema elétrico nacional**. 2009. Disponível em: <[http://www.cogen.com.br/workshop/2009/Bioeletricidade\\_Agregando\\_Valor\\_Matriz\\_Eletrica\\_03jun2009.pdf](http://www.cogen.com.br/workshop/2009/Bioeletricidade_Agregando_Valor_Matriz_Eletrica_03jun2009.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2011.

SOTERO, C. Vá plantar mandioca! **JornalCana**, n. 200, p. 222, ago. 2010.

WILLIAMS, R. B.; JENKINS, B. M.; GILDART, M.C. Ethanol production potential and costs from lignocellulosic resources in California. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE & EXHIBITION, 15., 2007, Berlin. [**Proceedings...**] [S.l.: WCRE, 2007].

### Circular Técnica, 05

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Agroenergia**  
**Endereço:** Parque Estação Biológica - PqEB s/n,  
Brasília, DF  
**Fone:** (61) 3448-4246  
**Fax:** (61) 3448-1589  
**E-mail:** [sac.cnpae@embrapa.br](mailto:sac.cnpae@embrapa.br)

1ª edição  
Versão eletrônica (2011)



### Comitê de publicações

**Presidente:** Bruno Galveas Laviola.  
**Secretária-Executiva:** Rachel Leal da Silva.  
**Membros:** Betânia Ferraz Quirino, Daniela Garcia Collares, Esdras Sundfeld.

### Expediente

**Supervisão editorial:** José Manuel Cabral de Sousa Dias.  
**Revisão de texto:** José Manuel Cabral de Sousa Dias.  
**Editoração eletrônica:** Maria Goreti Braga dos Santos.  
**Normalização bibliográfica:** Maria Iara Pereira Machado.