

Artigo

Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia

Goldemberg, J.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (1), 15-28. Data de publicação na Web: 21 de novembro de 2016<http://rvq.sbq.org.br>**Current and Prospects in the Use of Biomass for Energy Generation**

Abstract: The contribution of biomass to world's energy production is presented as well as the current technologies in use 1st generation for the production of ethanol and biodiesel. Second generation technologies for the production of cellulosic ethanol as well as gasification are discussed as well as the scientific and technical challenges they are facing.

Keywords: Fuel; ethanol; biodiesel; cellulose.

Resumo

A contribuição da biomassa na produção de energia é apresentada bem como as tecnologias correntes (1ª geração) em uso para a produção de etanol e biodiesel. São discutidas as tecnologias de 2ª geração para a produção de etanol celulósico e gasificação bem como os desafios científicos e tecnologias que elas enfrentam.

Palavras-chave: Combustível; etanol; biodiesel; celulose.

* Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289, Butantã, CEP 05508-010, São Paulo-SP, Brasil.

✉ goldemb@iee.usp.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170004](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170004)

Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia

José Goldemberg*

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289, Butantã, CEP 05508-010, São Paulo-SP, Brasil.

* goldemb@iee.usp.br

Recebido em 15 de setembro de 2016. Aceito para publicação em 18 de novembro de 2016

1. Introdução
2. Bioenergia no Mundo
3. Bioenergia no Brasil
4. Etanol da Cana de Açúcar (1ª Geração)
5. Tecnologia de 2ª Geração
6. Novas Tecnologias
7. Conclusões

1. Introdução

As atividades humanas como existem hoje, consomem cerca de 13 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) por ano que corresponde a uma potência de 15×10^{12} watts. Em média, cada um dos 7,1 bilhões de habitantes da Terra consome 1,8 tep por ano, ou seja, 2.200 watts que é a potência de 20 lâmpadas de 100 watts das que usamos em nossas casas. A potência de um homem em boa saúde é de 100 watts.

As fontes de energia disponíveis ao homem são as seguintes:¹

1. A energia radiante emitida pelo Sol

que atinge a Terra que aquece o solo, evapora a água dos oceanos dando origem às nuvens, à chuva, os ventos e à fotossíntese.

2. A energia das ondas do mar e das marés que se origina da atração gravitacional da Lua e do Sol sobre os oceanos

3. A energia geotérmica que se origina do interior da Terra onde a temperatura é muito elevada e que pode ser usada para a produção de eletricidade.

4. A energia nuclear produzida nos reatores nucleares com a qual se pode produzir eletricidade.

A energia radiante do Sol é imensa (174.000×10^{12} watts), mas apenas 40×10^{12} watts são fixadas pela fotossíntese que ainda assim é maior que a potência usada pela

humanidade (15×10^{12} watts).

As outras formas de energia disponíveis são ainda menores (Tabela 1).

É da fotossíntese que se originaram os combustíveis fósseis. No passado, ocasionalmente, plantas e restos de animais (matéria orgânica genericamente chamada de biomassa) se acumularam devido a fenômenos naturais (sedimentação,

terremotos, soterramentos) em ambientes deficientes em oxigênio onde combustão completa é impossível. Muitos desses depósitos forem soterrados sob grande espessura de detritos de sedimentação, areia e pedras e lentamente se transformaram nos atuais combustíveis fósseis: turfa, lignito e carvão mineral. Depósitos marinhos deram origem ao gás natural, petróleo e xisto.

Tabela 1. As fontes de energia e o consumo mundial de energia

Fonte de energia	Potencia x 10^{12} watts
Gravitacional	3
Geotérmica	32
Nuclear*	0,4
Solar	174.000
Fotossíntese	40
Consumo mundial de energia	15

*produzida atualmente em 440 reatores nucleares. Fonte: Referência 1

Até meados do século 19 o uso da madeira das florestas e resíduos agrícolas foram a fonte dominante de energia usada no mundo para a cocção de alimentos e aquecimento de ambiente. Cerca de um terço da população mundial na África, Ásia e América Latina ainda sobrevive com o uso de biomassa, utilizada com tecnologias primitivas.

A partir de 1850, com o desenvolvimento dos motores de combustão interna carvão passou a ser usado em larga escala. Por volta de 1900 começou a aumentar o consumo de

petróleo e derivados e mais recentemente gás natural (Figura 1).²

Biomassa continua a ser usada no nível de 1850, mas parte dela com tecnologias mais avançadas como na produção de eletricidade ou biocombustíveis substituindo derivados de petróleo. Devido as preocupações com o aquecimento global, para o qual a contribuição das emissões de CO_2 (resultante da combustão dos combustíveis fósseis) é dominante, o uso da biomassa esta se tornando mais importante.

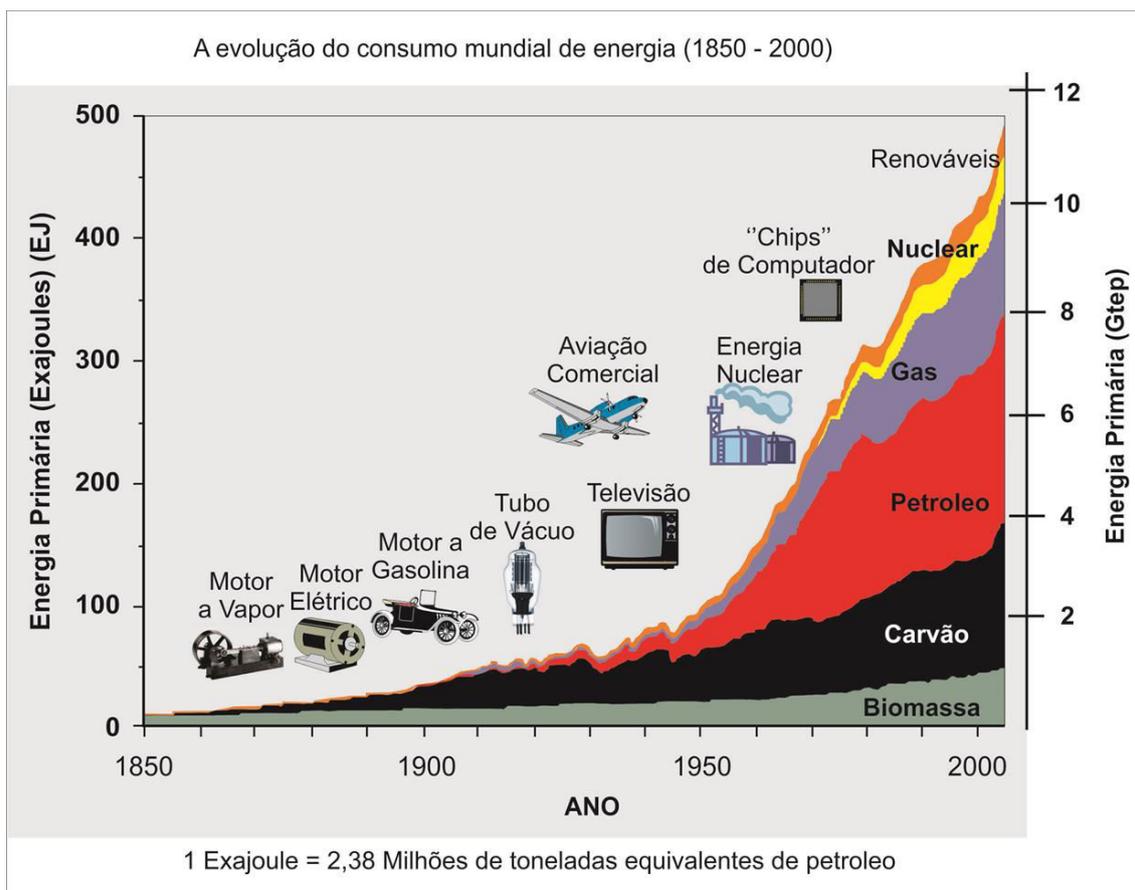


Figura 1. Evolução do consumo mundial de energia (1850-2000). Fonte: Referência 2

2. Bioenergia no Mundo

Em 2010 o consumo total de energia para biomassa no mundo era de aproximadamente 53 EJ (10% do consumo mundial de energia primária) das quais 70% usados na forma com que era usada até o século 19 (biomassa tradicional). Nas áreas

rurais dos países menos desenvolvidos da África e Ásia a biomassa tradicional continua a ser a principal fonte de energia de cerca de 2,5 bilhões de habitantes. (Figura 2). Os 30% restantes (biomassa moderna) são usados sob várias formas com tecnologias mais avançada: biocombustíveis (etanol, biodiesel, biogás) calor e eletricidade queimando madeira e resíduos agrícolas.

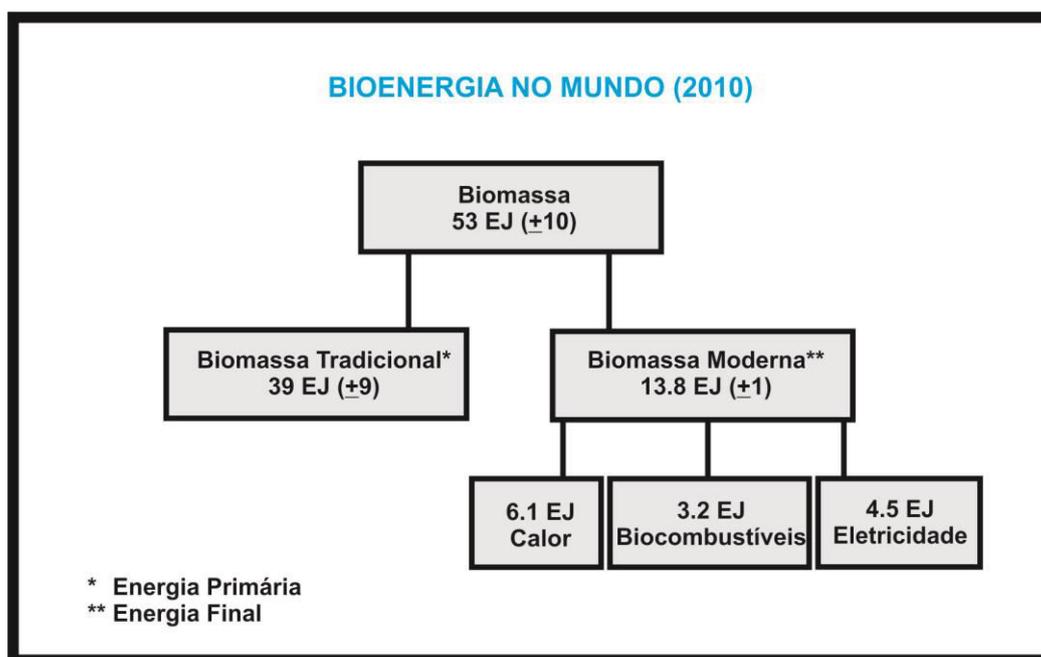


Figura 2. Bioenergia no mundo (2010). Fonte: Referência 3

3. Bioenergia no Brasil

Na matriz energética brasileira, biomassa tem uma participação importante devido ao uso de cana de açúcar para a produção de

etanol e eletricidade (17,5%) e o uso de lenha e carvão vegetal (10,1%) para a produção de eletricidade e na siderurgia (Figura 3).

A Figura 4 mostra a oferta de energia elétrica no país. A contribuição da biomassa é de 7%.

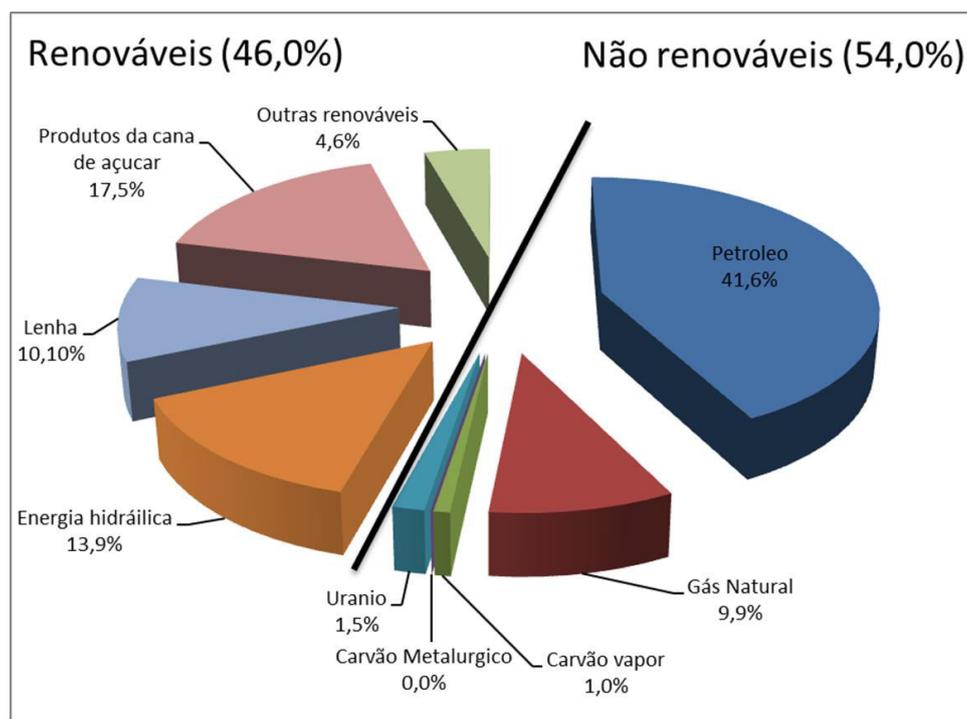


Figura 3. A matriz energética brasileira (2014) 305.6×10^6 tep. Fonte: Referência 4

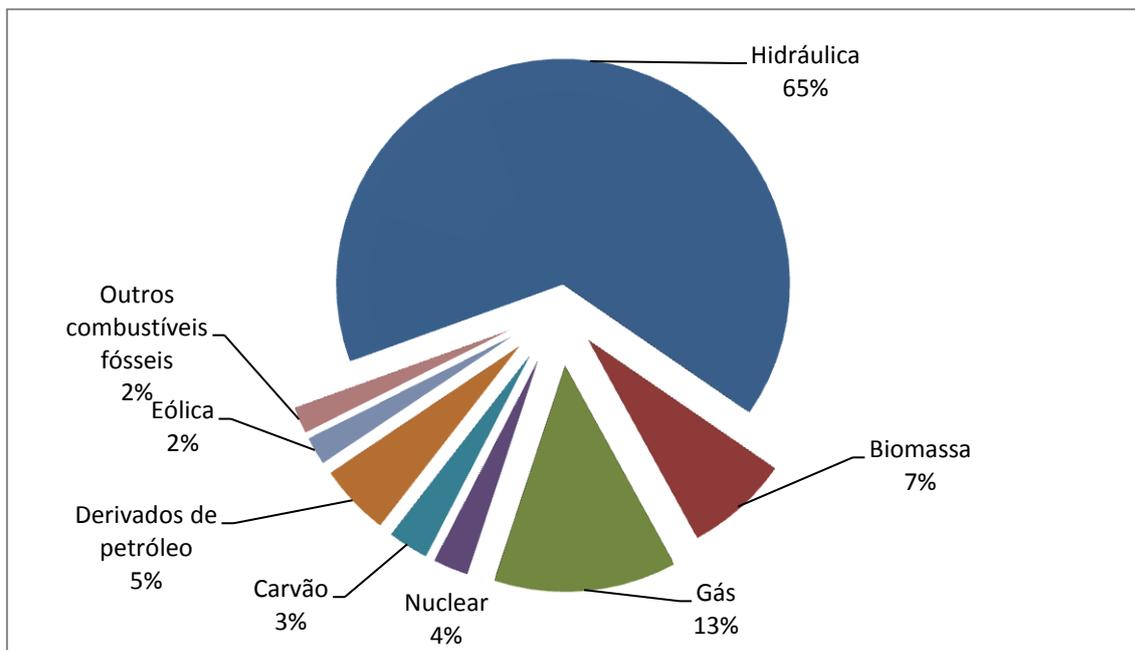


Figura 4. Oferta de Energia Elétrica no Brasil (2014) 624.3 TWh. Fonte: Referência 5

A Figura 5 mostra a participação das diferentes rotas do uso de biomassa para a produção de energia no país.

Entre estas diversas rotas para a utilização de biomassa a mais interessante do ponto de

vista tecnológico e de maior significação econômico para o Brasil é a produção de etanol da cana de açúcar que é cultivada no país há quase 500 anos para a produção de açúcar.

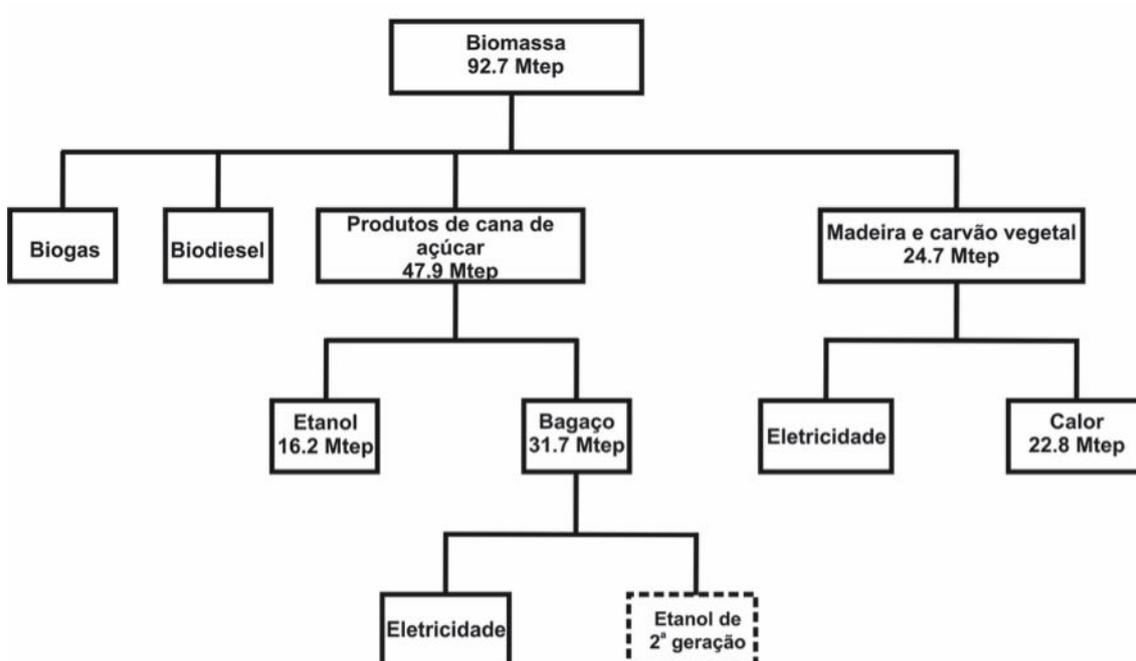


Figura 5. rotas do uso de biomassa para a produção de energia no Brasil

4. Etanol da Cana de Açúcar (1ª Geração)

fotossintética elevada e cresce muito bem na região Centro-Sul do Brasil, principalmente em São Paulo.

Cana de açúcar tem uma eficiência

A composição da cana de açúcar é indicada na Figura 6.

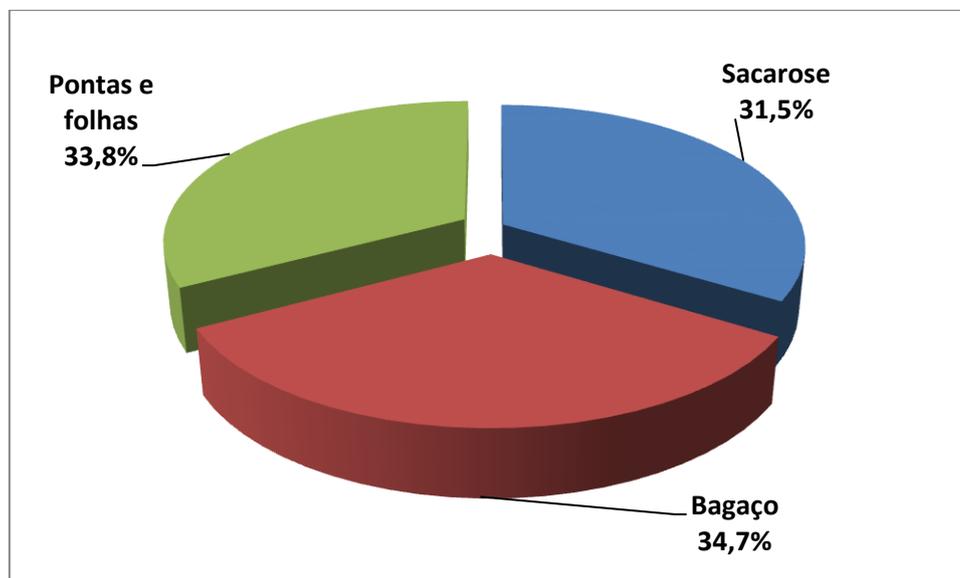


Figure 6. Energia na cana de açúcar. Fonte: Referência 6

Para a produção de etanol é usada a sacarose no caldo da cana que é fermentada, produzindo etanol que é destilado utilizando ou como bebida ou combustível para automóveis com motores a ciclo Otto,

substituindo gasolina (Figura 7).

Em 2015 foram produzidos cerca de 25 bilhões de litros de etanol em mais de 300 usinas situadas na região Sudeste do país, principalmente São Paulo.



Figura 7. Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Fonte: Referência 6

A sacarose da cana de açúcar contém apenas 31,5% da energia total da cana: as folhas do vegetal que, de modo geral são deixadas no campo após a colheita, contêm 33,8% e bagaço 34,7% que pode ser usado

para produzir o calor e a eletricidade necessários na usina. Frequentemente parte da eletricidade é “exportada” para a rede elétrica.

Ao longo dos anos a produtividade da cana de açúcar tem aumentado significativamente com o uso de novas variedades e técnicas agrícolas: em 1975 ela era de cerca de 45 toneladas de cana por

hectare e atingiu 80 ton./ha em 2008. Desde então caiu um pouco devido a introdução da colheita mecanizada que aumenta a compactação do solo (Figura 8).

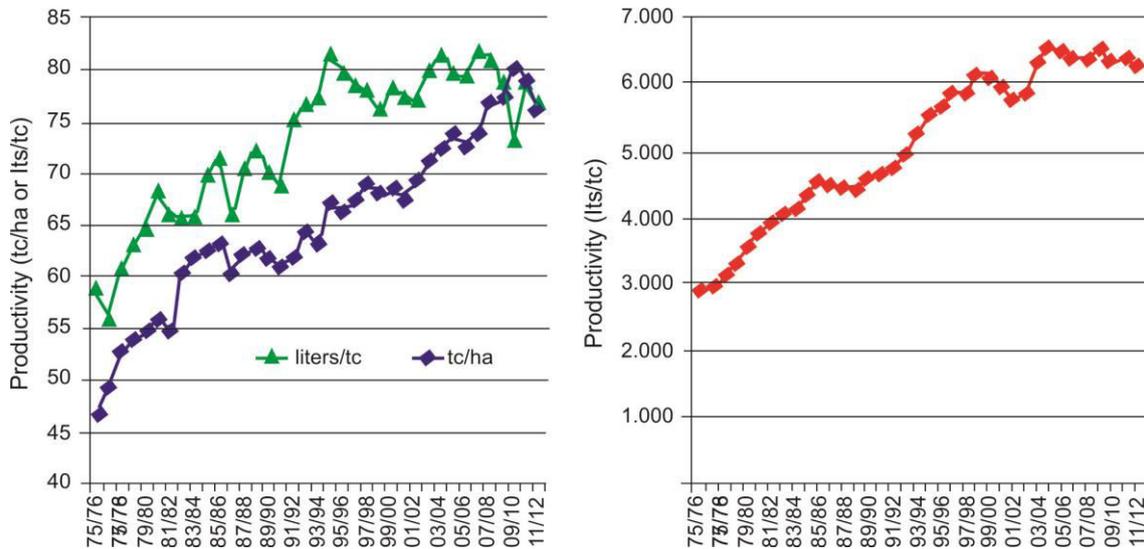


Figura 8. Evolução da produtividade na produção de etanol da cana de açúcar. Fonte: Referência 7

Na fase industrial da produção de etanol a produtividade aumentou de 60 litros/hectares para cerca de 80 litros/ha em 2008 após o que se manteve aproximadamente constante devido à crise econômica que levou à redução da renovação dos canaviais.

O rendimento total de produção de etanol passou, pois de 3000 litros/hectare para quase 7000 litros/ha em 2008 e tem-se mantido aproximadamente constante desde

então.

A Figura 9 mostra o rendimento agrícola e da fração de açúcar num conjunto de 155 usinas da região centro-sul do país mostrando que existem usinas em que o rendimento agrícola atingiu mais de 100 ton./ha. Esta variabilidade se deve ao uso de variedades diferentes de cana de açúcar e manejo agrícola.

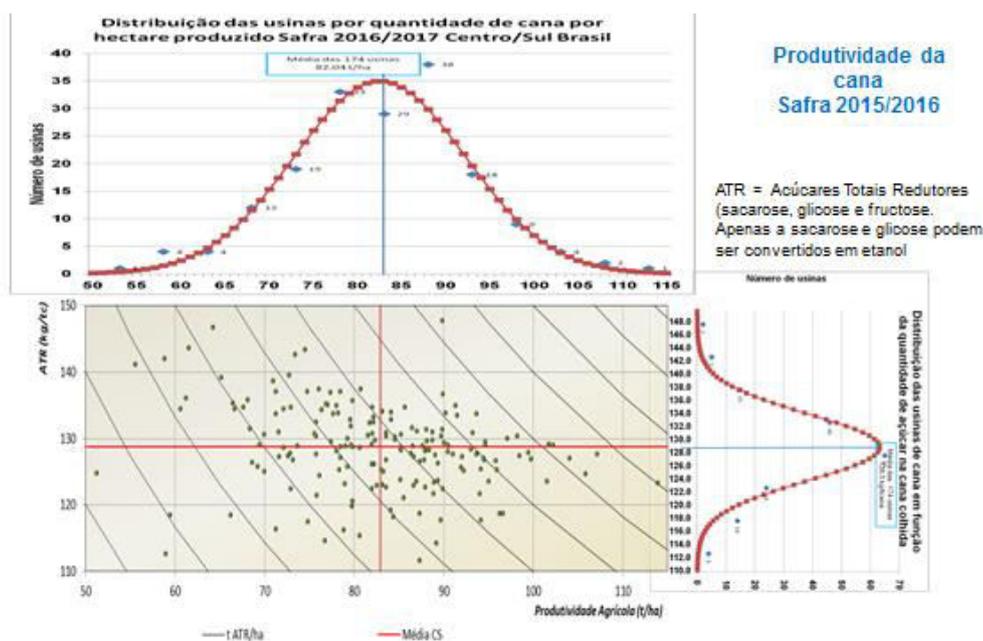


Figura 9. Rendimento agrícola e da fração de açúcar em usinas da região centro-sul do Brasil. Fonte Referência 8

Irrigação é uma forma de aumentar significativamente a produtividade da cana de açúcar, mas não tem sido pouco utilizado na região Sudeste do país, mas poderia ser uma opção dependendo de avaliações do custo/benefício decorrente de sua aplicação. Um estudo muito recente⁹ mostra que ganhos de mais de 100% de produtividade podem ser obtidos sem custos adicionais significantes.

O que tornou a utilização de cana de açúcar atraente para a produção de etanol é o fato que o bagaço da cana pode suprir toda a energia necessária (eletricidade e calor) à sua produção. As usinas de etanol no país são não apenas autossuficientes, mas podem em muitos casos “exportar” eletricidade excedente gerada com a queima do bagaço. Esta característica do processo foi identificada logo no início do período em que etanol da cana começou a ser produzido em larga escala.

Em um trabalho publicado em 1978 na revista “Science”¹⁰ pesquisadores da Universidade de São Paulo demonstraram que o balanço energético na produção de etanol da cana era altamente positivo. Nesta análise o balanço energético foi definido

como a energia contida num litro de álcool dividido pela energia de origem fóssil (sob forma de pesticidas, fertilizante, transporte, etc.), necessários para produzi-lo.

Trabalhos mais recentes¹¹ demonstraram que o balanço energético para a produção de etanol da cana de açúcar e cerca de 9 ou seja é um combustível praticamente renovável: 90% da energia contida no etanol se origina do Sol através da fotossíntese.

O custo de produção do etanol da cana de açúcar que era 3 vezes superior ao preço da gasolina em 1908 caiu rapidamente à medida que a produção aumentou através de “curva de aprendizado”^{12,13} tornando-o competitivo em 2005.

Este não é o caso da produção de etanol do milho onde a energia necessária precisa ser “importada” pela usina de processamento.^{6,10}

Outra rota importante para a utilização de biomassa no Brasil é o biodiesel. Biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais (tais como soja, canola, dendê ou jatropa) pela transesterificação com metanol e um catalisador (em geral hidróxido de sódio ou potássio). Etanol pode ser também usado em

substituição ao metanol na produção de biodiesel, mas com menor rendimento. Sua produção³ atingiu cerca de 2 bilhões de litros em 2010.

Biodiesel renovável ou “diesel verde”¹⁴ pode ser produzido de gordura animal, óleos e graxas, óleos vegetais através de hidroprocessamento e hidroisomerização como é feitos nas refinarias de petróleo. A matéria prima reage com hidrogênio em temperatura e pressões elevadas na presença de um catalisador para remover oxigênio, enxofre e nitrogênio e saturar as ligações químicas produzindo parafinas ou óleo diesel ou querosene para aviação. Esta rota ainda não atingiu escala de produção industrial,

mas é da maior importância devido ao crescimento da aviação comercial em todo o mundo e, por conseguinte do crescimento das emissões de CO₂ resultante do uso de querosene produzido a partir de petróleo.

5. Tecnologia de 2ª Geração

A composição do bagaço na Figura 10 mostra que ele contém 46% de celulose cujas cadeias pode ser quebradas em moléculas de glicose que pode ser fermentada para a produção de etanol bem como a hemicelulose.

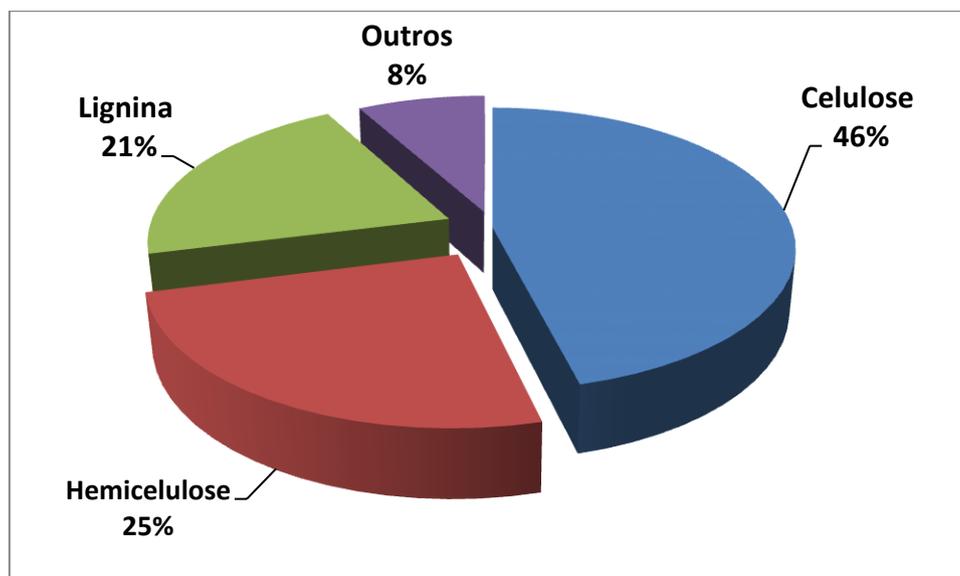


Figura 10. Composição do bagaço de cana de açúcar. Fonte: Referência 6

Este é o objetivo das tecnologias de 2ª geração na produção de etanol. Se forem utilizados integralmente a celulose e hemicelulose para a produção de etanol poder-se-ia aumentar a produção de etanol da sacarose da cana de açúcar cerca de 25%. Se forem utilizadas as folhas, a produção poderia aumentar de outros 33% com um ganho total de cerca de 60%. Lignina pode ser usada como combustível para o processo.

Enquanto a 1ª geração de produção de etanol se baseia simplesmente na fermentação da sacarose da cana de açúcar ou do tratamento do amido de milho. A geração de etanol lignocelulósico necessita de várias etapas como se vê na Figura 11.

A finalidade do pré-tratamento é separar a celulose e hemicelulose da lignina que é uma etapa fundamental para o processo.

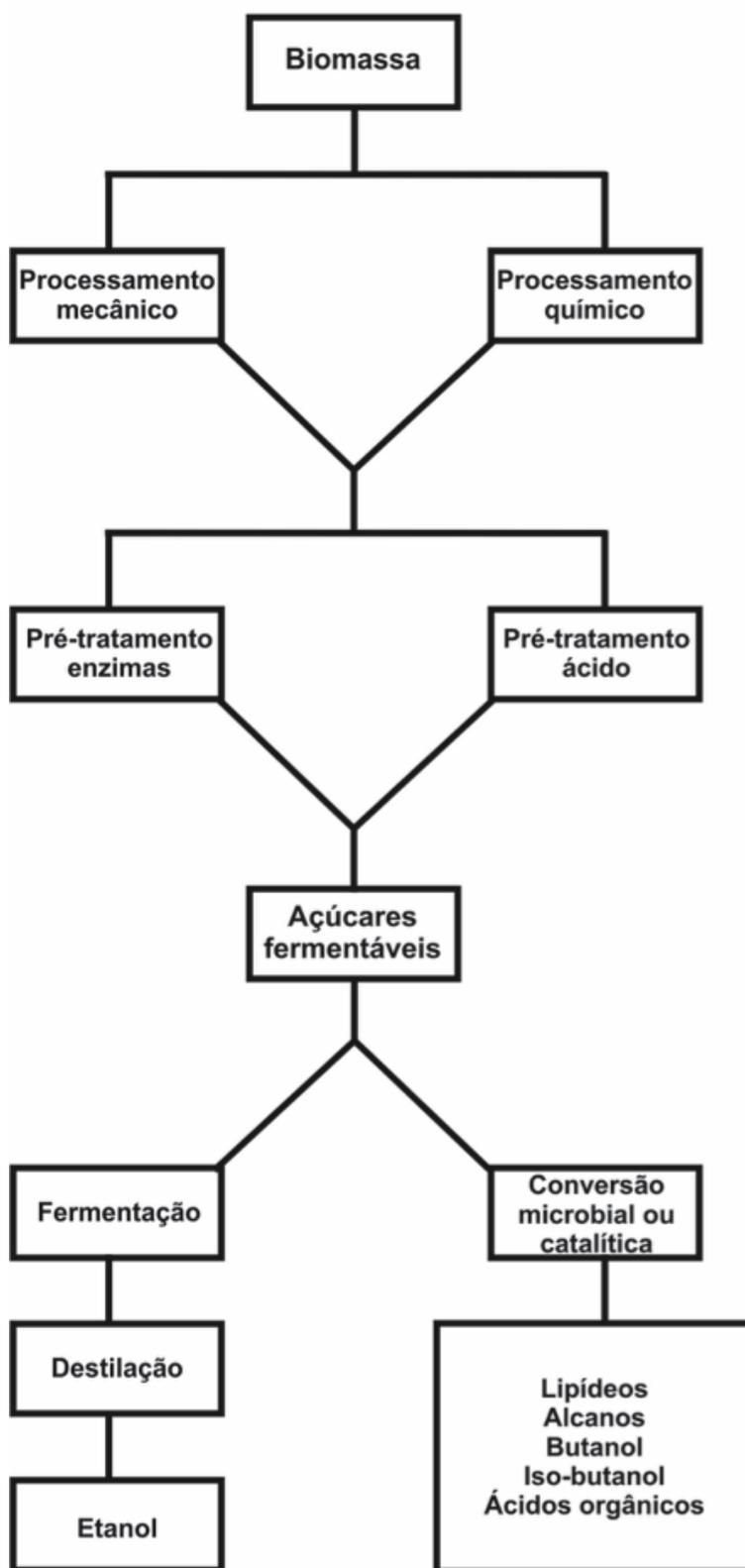


Figura 11. Geração de etanol lignocelulósico

A tecnologia da 2ª geração pode ser utilizada para qualquer tipo de material orgânico além da cana de açúcar o que é muito atrativo porque abre uma rota para a produção de etanol que independe de produtos como o milho e cana de açúcar cujo uso até hoje era exclusivamente como alimento. Fica assim eliminada a necessidade de escolhas difíceis entre a produção de um combustível (etanol) e alimento (açúcar ou milho).

Muitas unidades pilotos e algumas unidades industriais para produzir etanol de 2ª geração foram construídas, mas tem encontrado dificuldades na fase de pré-tratamento e alimentação da matéria prima nos tanques onde ocorre o tratamento enzimático (ou através de ácidos) que quebram as cadeias celulósicas em açúcares fermentáveis.

6. Novas Tecnologias¹²

A gaseificação é o processo que converte sólidos, líquidos ou gases numa mistura de gases como metano (CH_4) monóxido de carbono (CO) hidrogênio em altas temperatura ($700\text{ }^\circ\text{C}$) que após purificação podem ser convertidos em singas ($\text{CO}+\text{H}_2$) que é uma fonte versátil para produzir produtos químicos e combustíveis através de reações tipo Fritsher-Tropsch (Figura 13). Dependendo do catalisador usado diferentes produtos podem ser obtidos etanol, outros álcoois, formaldeídos, éters e ácido acético dimetiléter.

Existe também uma rota para a produção de biocombustíveis usando engenharia genética em vários microrganismos como microalgas, baterias, fermento e fungos.¹²

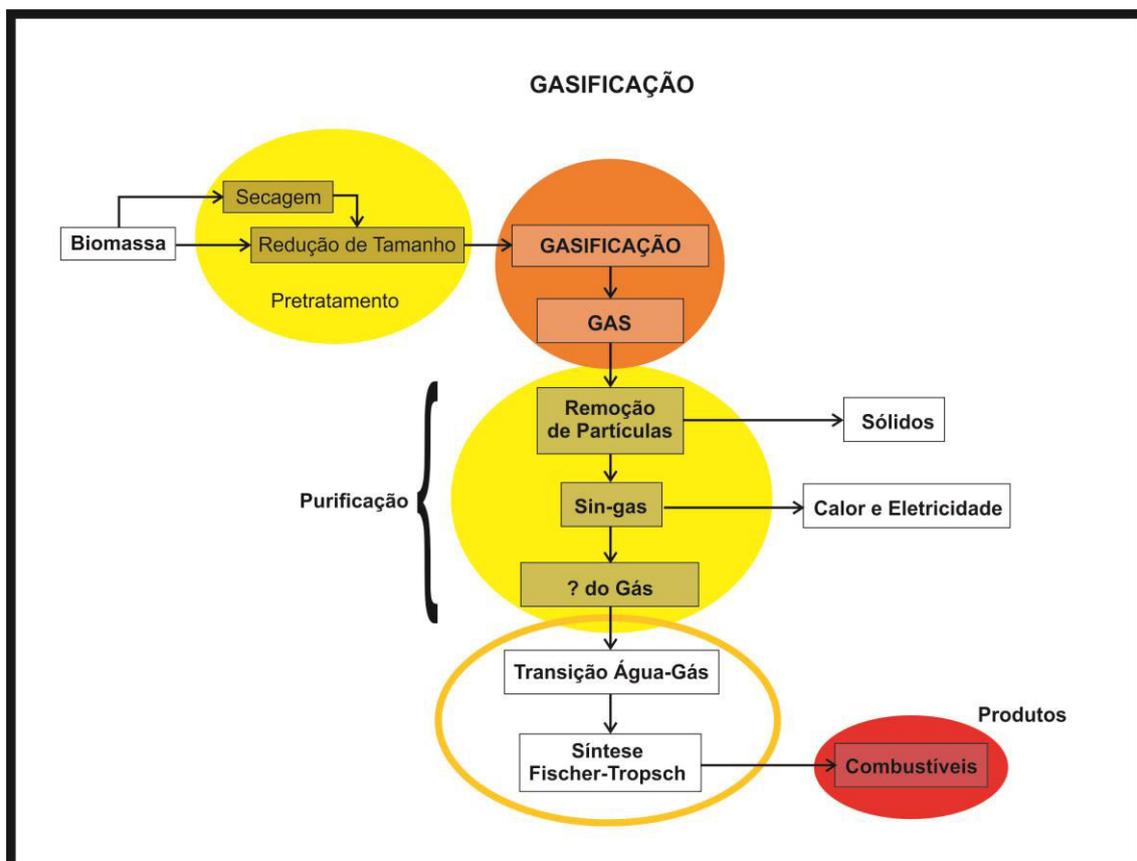


Figura 13. Processo de produção de singas. Fonte: Referência 12

7. Conclusões

À medida que as consequências do aquecimento global se tornam mais evidentes maior atenção passou a ser dada ao aumento da contribuição de biomassa na matriz energética mundial.

Este é também o caso de outras fontes de energia renovável como a utilização da energia eólica e solar com células fotovoltaicas. Estas fontes de energia, contudo são intermitentes e precisam ser usadas em combinação com sistemas de armazenamento como baterias elétricas ou reservatórios de água em usinas hidroelétricas. Em contraste biomassa pode ser armazenada sob forma sólida ou líquida e usada quando necessário.

Há, contudo obstáculos a um aumento significativo do uso de biomassa, as principais das quais são as seguintes:

- informações equivocadas sobre os impactos que o uso de biomassa poderá ter sobre a produção de alimentos, sobretudo no que se refere a produção de etanol da cana de açúcar no Brasil e de milho nos Estados Unidos. Este é na realidade um falso problema porque existem amplas áreas no mundo onde é possível a expansão destas culturas. Este é um problema que é amplamente discutido e esclarecido na referência.¹²

- problemas de engenharia na produção de etanol de 2ª geração. Tem havido uma grande ênfase em demonstrar a viabilidade de partes do processo de utilização de biomassa, mas a passagem de unidades integradas com escala piloto para grande escala tem sido a fonte de sérios

problemas. Isto tem ocorrido principalmente com as grandes instalações para produção de etanol de 2ª geração das quais existem vários grandes projetos inclusive no Brasil.

- questões de natureza econômica uma vez que energia da biomassa compete diretamente com energia produzida com combustíveis fósseis que tem variado substancialmente ao longo do tempo como ocorre hoje com o petróleo cujo custo atingiu patamares de 150 dólares por barril no início do século e caiu hoje para o nível de 50 dólares por barril.

Avanços científicos e tecnológicos provavelmente vão resolver muitos destes problemas e “curvas de aprendizado” com as novas tecnologias vão acabar por reduzir os custos de produção dos produtos da biomassa.

A Tabela 2 lista algumas áreas onde mais esforço em pesquisa e desenvolvimento são necessários.

No caso particular do Brasil biomassa representa hoje em 27,6% do consumo total de energia (incluindo o consumo de lenha e produtos da cana. Parece possível aumentar significativamente esta porcentagem através de expansão da cultura de cana de açúcar para a produção de etanol que hoje ocupa apenas 5% da área cultivada no país.

Além disso, um programa de expansão de reflorestamento em áreas degradadas poderia fornecer matéria prima para a indústria de papel e geração de energia elétrica bem como etanol de 2ª geração se os problemas técnicos existentes forem resolvidos além da produção de “pellets” para os quais existe um mercado crescente na Europa para substituir o uso de carvão e gás em lareiras residenciais.

Tabela 2. A fronteira tecnológica na área de bioenergia. Fonte Referência 4

	Tecnologia	Áreas onde P&D é necessária
1	Etanol celulósico e outros álcoois e hidrocarbonetos	Melhorias nos microrganismos e enzimas. Fermentação de açúcares. Catalizadores robustos e duráveis.
2	Produção de líquidos de biomassa (gasolina, diesel, querosene de aviação)	Redução de custos Gaseificação e Biorefinaria
3	Óleo de pirolise	Aumento de eficiência
4	Transesterificação de óleos vegetais	Melhora da produtividade
5	Algas	Melhoria nos organismos necessários para a produção de combustíveis e produtos químicos de alto valor agregado.
6	Digestão anaeróbica	Avanços em genômica

Referências Bibliográficas

¹ Goldemberg, J.; *Energy: what everyone needs to know*, Oxford University Press, 2012.

² GEA, 2012 Global Energy Assessment Toward a Sustainable Energy Future Cambridge University press, Cambridge UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied System Analysis Laxemburg, Austria.

³ REN 21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2010).

⁴ Balanço Energético Nacional, 2014 – Ano base 2013 EPE Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia - MME

⁵ Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013 EPE Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia – MME.

⁶ Moreira, J. R., Goldemberg, J. The Alcohol Program. *Energy Policy* **1991**, *27*, 229. [CrossRef]

⁷ UNICA. União dos Produtores de Cana de Açúcar, 2006, Disponível em: <www.unica.com.br>. Acesso em: 19 novembro 2016

⁸ CTC-Centro de Tecnologia Canavieira. Disponível em:

<http://www.ctcanavieira.com.br/>. Acesso em: 19 novembro 2016.

⁹ Scarpate, F. V.; Hernandez, T. A. D.; Ruiz-Corrêa, S. T.; Picoli, M. C. A.; Scanlon, B. R.; Chagas, M. F.; Duft, D. G.; Cardoso, T. F. Sugarcane land use and water resources assessment in the expansion area in Brazil. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *133*, 1318. [CrossRef]

¹⁰ Silva, J. G.; Serra, G. C.; Moreira, J. R.; Goldemberg, J. Ethanol balance for ethyl alcohol production from crops. *Science* **1978**, *201*, 903. [CrossRef]

¹¹ Macedo, I. G.; Seabra, J. E. A.; Silva, J. E. A. R. GHG emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil - The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy* **2008**, *32*, 582. [CrossRef]

¹² Goldemberg J. T.; Coelho, S. T.; Nastari, P. M.; Lucon, O. Ethanol Learning Curve: The Brazilian Experience. *Biomass and Energy* **2004**, *26*, 301. [CrossRef]

¹³ Goldemberg, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science* **2007**, *315*, 808. [CrossRef]

¹⁴ Souza, G.; Victoria, R. L.; Joly, C. A.; Verdade, L. M. (eds.); *Bioenergy & Sustainable bridging the gaps*, Scope, Paris 2015.