



MÉTODOS E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS DE OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO

METHODS AND PROSPECTS OF TECHNOLOGICAL OBTAINING OF FIRST AND SECOND GENERATION BIOFUELS

ISSN: 1984-3151

Renata Carolina Zanetti Lofrano¹; Fausto Márcio Ferreira Costa²; Lucas Augusto Ferreira de Oliveira³; Mateus Chaves Almeida de Oliveira⁴

- 1 Doutora em Ciências pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP/USP), 2002, e pós-doutorado na área de nanotecnologia pela FFCLRP/USP, 2004. Professora Adjunto II do Departamento de Engenharia Química e Estatística da Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Alto Paraopeba (DEQUE/UFSJ/CAP). renataczlofrano@ufsj.edu.br.
- 2 Graduando em Engenharia Química na Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Alto Paraopeba. Rod. MG 443, km 7. Ouro Branco/MG. faustomfc@gmail.com.
- 3 Graduando em Engenharia Química na Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Alto Paraopeba. Rod. MG 443, km 7. Ouro Branco/MG. lucas.afo@hotmail.com.
- 4 Graduando em Engenharia Química na Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Alto Paraopeba. Rod. MG 443, km 7. Ouro Branco/MG. mateus.chaves@yahoo.com.br.

Recebido em: 14/03/2013 - Aprovado em: 20/04/2013 - Disponibilizado em: 13/06/2013

RESUMO: O mundo precisa de energia e a consegue através dos combustíveis. Atualmente, o petróleo é a fonte energética mais utilizada. Perspectivas futuras predizem que ele se tornará escasso e causará abalos na estrutura energética de alguns países. Com grande perspicácia, alguns institutos de pesquisas e ações governamentais vêm incentivando o desenvolvimento de novos combustíveis, que além de substituírem os provenientes do petróleo, darão um caráter sustentável à atual forma de produção de energia. Hoje, etanol e o biodiesel são nomes comuns em várias dessas pesquisas. Ideias promissoras vêm se desenvolvendo, como o etanol por meio de matéria contendo lignocelulose (como madeira, folhas de plantas e árvores, resíduos de agricultura, etc.), sendo esse biocombustível classificado como de segunda geração. A produção desses biocombustíveis ainda é somente favorável em escala laboratorial. Acredita-se que com a continuidade de investimentos nessa área, em alguns anos será possível produzir, em grande escala, biocombustíveis a partir de matérias-primas de acesso fácil, rápido e renovável, ou seja, de forma sustentável, reduzindo, assim, a dependência do petróleo. O presente artigo trata de uma revisão bibliográfica sobre os métodos usados e as perspectivas tecnológicas para a produção de biocombustíveis de primeira e segunda geração.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis. Primeira geração. Segunda geração.

ABSTRACT: The world needs energy and can fuel through. Currently, oil is the most used energy source. Future perspectives predict that he will become scarce and cause upheavals in the energy structure of some countries. With great insight, some research institutes and government actions are encouraging the development of new fuels, which in addition to replacing the oil revenues, give a character to the current form of sustainable energy production. Today, bioethanol and biodiesel are common names in several of these studies. Promising ideas have been developing, such as bioethanol through material containing lignocellulose (wood, leaves of plants and trees, agricultural residues, etc.). This biofuel being classified as second generation. The production of these biofuels is still favorable only in laboratory scale. It is believed that with continued investment in this area in a few years it will be possible to produce on a large scale, biofuels from raw materials easily accessible, quick and renewable, ie sustainably, reducing dependence on oil. This article deals with an literature review of the methods used and the technological prospects for the production of first and second generation biofuels.

KEYWORDS: Biofuels. First generation. Second generation.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, estudos apontaram o avanço das mudanças climáticas provenientes do aquecimento global, como uma forma de resposta da natureza ao tempo de degradação ambiental, que se iniciou com a Revolução Industrial, no século XVIII. Neste contexto, muito se tem questionado quanto ao uso do carvão mineral e do petróleo e seus derivados como fonte de energia. Uma das principais razões para esse questionamento é a existência de tecnologias capazes de produzir fontes renováveis de energia, como os biocombustíveis (TRIANA, 2011; CHENG; TIMILSINA, 2011; ROSA; GARCIA, 2009).

Biocombustível é o termo utilizado para denominar todo combustível que seja originado de matéria orgânica proveniente de biomassa. Ao ser queimado, ele libera, na atmosfera, assim como os combustíveis comuns, gás carbônico, responsável pelo efeito estufa. Mas, esse gás gerado é consumido por suas matérias-primas durante o seu cultivo. Nesse ciclo fechado, o uso de biocombustíveis não aumenta a concentração de gás carbônico no ar (SALEMI, 2009; MAIA *et al.*, 2011; SOARES *et al.*, 2009; EISENTRAUT, 2010). Os principais representantes deste tipo de combustível, também conhecidos como renováveis, são: o biodiesel, obtido pela reação de transesterificação de gorduras animais e vegetais, que é capaz de substituir, completa ou parcialmente; o diesel, proveniente do petróleo nos motores a combustão; e o etanol, cuja produção é, tradicionalmente, feita a partir de matérias-primas, que contenham açúcar, tais como: cana de açúcar, milho e beterraba (SUAREZ *et al.*, 2009; LEITE; LEAL, 2007; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011).

A qualidade de um biocombustível está diretamente ligada a sua exergia, que é definida como o máximo trabalho que pode ser extraído de uma fonte de massa. Com o objetivo de obter comparações entre os diversos tipos de biocombustíveis, estudos têm sido

realizados para se determinar este valor para cada um deles frente a diferentes matérias-primas (ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011; LIMA; MOTA, 2003; LIMA *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2001).

Os biocombustíveis de primeira geração são aqueles produzidos a partir do processamento do colmo, ou seja, do caule da planta que possui açúcares que podem ser fermentados. Os de segunda geração, também conhecidos como lignocelulósicos, são produzidos a partir de restos de matéria orgânica de animais ou da lignocelulose (composta por lignina, celulose e hemicelulose), que é o principal componente das plantas (SCHENK *et al.*, 2008; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011; HWANG; STEWART, 2007; ROSA; GARCIA, 2009). Nos últimos anos, a produção de biocombustíveis de segunda geração tem sido vista como uma forma de reaproveitamento da matéria orgânica e de se evitar o principal problema enfrentado pelos biocombustíveis de primeira geração, a disponibilidade de terras para as monoculturas, cuja demanda é cada vez maior, graças à crescente produção deste tipo de combustível (SALEMI, 2009; EISENTRAUT, 2010; NYKO *et al.*, 2010; CHENG; TIMILSINA, 2010).

O avanço das fronteiras agrícolas através do desmatamento, motivado pela demanda de terras é a causa de enormes emissões de gases do efeito estufa. Desta forma, os incentivos dados pelos governos para esse tipo de atividade de monocultura, mostram-se contrários às atividades da Organização das Nações Unidas (ONU), que busca incessantemente o fim de tal prática (ROSA; GARCIA, 2009; KNOTHE *et al.*, 2006; WONGTSCHOWSKI, 2009). A devastação de extensas áreas de coberturas florestais, a poluição por rejeitos da produção, o grande consumo de água para a irrigação das plantações e o uso de pesticidas para controle de pragas são, também, consequências desta produção desenfreada (KILLEN *et al.*, 2011; ANTIZAR-

LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008; CHENG; TIMILSINA, 2010; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011).

Apesar de ser muito vantajoso o uso de biocombustíveis lignocelulósicos como fonte de energia, sua produção em larga escala ainda é inviável, pois a tecnologia desenvolvida até o presente momento para sua produção ainda é pouco eficiente, (MAIA *et al.*, 2011; ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011). Para a utilização dos biocombustíveis em escala industrial mundial algumas barreiras devem ser superadas, como a falta de desenvolvimento agroindustrial, a má administração das plantações e a ausência de estudos mais completos e detalhados sobre o assunto (NYKO *et al.*, 2010; TRIANA, 2011; LEITE; LEAL, 2007; GOLDEMBERG; GUARDABASI, 2009).

Os biocombustíveis foram utilizados em diversos momentos em função de algum acontecimento histórico, como guerras e crises. Mas, foi na década de 1970, com o avanço das crises do petróleo e o Encontro de Nações em Estocolmo em busca de soluções para o avanço das mudanças climáticas, que surge o etanol brasileiro. Este projeto foi bem visto internacionalmente como uma alternativa aos combustíveis fósseis (MIRANDA; CARMO, 2008; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011; SUAREZ *et al.*, 2009; GOLDEMBERG; GUARDABASI, 2009; RATHMANN *et al.*, 2008). Seu sucesso se deu principalmente por incentivos governamentais, através do Pró-álcool e, nos últimos anos, ao desenvolvimento da tecnologia flex. Desta forma, o Brasil tem grandes vantagens na produção de biocombustíveis, porém, outros países têm feito investimentos na produção de etanol de segunda geração, e, dado o potencial deste combustível, a liderança tecnológica brasileira pode ser ultrapassada (NYKO *et al.*, 2010; TRIANA, 2011; FREITAS; KANEKO, 2011).

Até 2030, estima-se um crescimento de 30% do consumo de combustíveis derivados do petróleo. Isto acontece devido ao crescimento do setor automobilístico, que exige a elevada produção de combustíveis. Assim, a questão mais preocupante torna-se o fato dos derivados do petróleo não serem fontes renováveis, e, provavelmente, em questão de poucos anos, tais fontes sejam totalmente esgotadas. A saída é buscar novas fontes, de preferência renováveis e sustentáveis, como os biocombustíveis (HWANG; STEWART, 2007). Desses, a produção do etanol e do biodiesel já está dominada e bastante difundida e explorada e novas pesquisas indicam que, a partir de diferentes matérias primas, a produtividade de ambos pode aumentar e evitar muitos dos problemas socioambientais que atingem e impedem o avanço de suas obtenções.

Esse estudo trata de uma revisão, cujo objetivo é apresentar um panorama detalhado das metodologias já existentes e as perspectivas tecnológicas em desenvolvimento para a produção de biocombustíveis de primeira e segunda gerações.

2 HISTÓRICO

No ano de 1900, um novo motor, que a princípio funcionava à base de óleo de amendoim, era inventado pelo alemão Rudolph Diesel. O motor trabalhava em um ciclo denominado “diesel” e a partir das primeiras décadas do século XX, novos tipos de óleos foram experimentados a fim de melhorar a eficiência desta máquina. Porém, o custo de produção das sementes para obtenção dos óleos era altíssimo. Este fato serviu de motivação para a busca de outros tipos de óleos mais baratos, mais eficientes e de fácil produção. Dessa forma, ainda no início do século XX, devido também, à sua grande abundância, o óleo refinado do petróleo foi o mais adequado e requisitado para a substituição dos óleos vegetais e ficou

conhecido como “óleo diesel” (SILVA; FREITAS, 2008).

Durante a segunda guerra mundial, houve uma crise de distribuição de petróleo. No contexto bélico, uma das maneiras encontradas para impedir o avanço da Alemanha Nazista foi o bloqueio comercial, que incluiu, também, todo tipo de energia que era comprada pelo país. E assim, o país se viu forçado a desenvolver novas fontes de energia, principalmente biocombustíveis. Como consequência, a Alemanha possui, hoje, um mercado consolidado de biodiesel (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; RATHMANN *et al.* 2008).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, essa situação se transformou com a ascensão de governos interessados em controlar a exploração de petróleo em seus próprios países. Em posição frágil, por conta das terríveis perdas causadas pelas guerras, as grandes nações capitalistas não tiveram outra opção a não ser reconhecer a nova política das nações médio-orientais. Enfim, era melhor reduzir os lucros da exploração do que correr o risco de não ter acesso aos valiosos barris de petróleo. Apesar disso, outras questões políticas serviram para que o controle exercido pelas nações do Oriente Médio causasse sérias preocupações aos grandes capitalistas. No começo da década de 1970, as nações produtoras começaram a regular o escoamento da produção petrolífera por conta de sua natureza não renovável. Em 1973, o valor do barril mais que triplicou chegando a custar US\$ 40,00. Outra crise de grandes proporções aconteceu no ano de 1979, na qual o barril de petróleo atingiu o estratosférico preço de US\$ 80,00. Somente na segunda metade da década de 1980 o valor do petróleo começou a diminuir (ROSA; GARCIA, 2009; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011; AMORIM *et al.* 2011).

Diante da falta desse combustível, o Brasil dá início ao Pró-álcool, um programa do Governo Federal que possuía, dentre outros objetivos, fortalecer a tecnologia de produção do etanol através do uso da cana de açúcar, produto amplamente cultivado desde a era colonial, e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do ar nas grandes cidades. O governo brasileiro foi o gestor e incentivador do programa, utilizando de incentivos fiscais, fez do etanol o principal combustível comercializado no Brasil à época. A FIG. 1 mostra a produção percentual brasileira de diferentes combustíveis entre 1970 e 2008. (TRIANA, 2011; FREITAS; KANEKO, 2011; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; LEITE; LEAL, 2007).

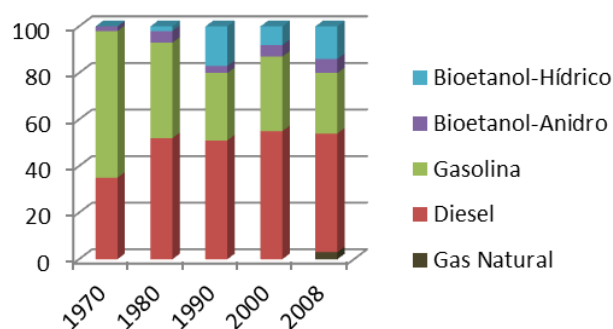


Figura 1 – Produção percentual brasileira de diferentes combustíveis entre 1970 e 2008.

Fonte - FREITAS; KANEKO, 2011, p.2289.

O crescimento da indústria sucroalcooleira foi um dos grandes responsáveis pelo desenvolvimento da região centro sul do Brasil, onde a realidade do Pró-álcool foi mais intensa em virtude da força industrial e melhor organização dessa região. Porém, a partir dos meados da década de 1980, as crises financeiras que atingiram o país impediram que o governo mantivesse os subsídios concedidos ao etanol, mas as altas taxações aos derivados do petróleo, principalmente à gasolina, evitaram que o biocombustível perdesse todo o mercado (TRIANA, 2011; FREITAS; KANEKO, 2011; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; LEITE; LEAL, 2007).

No fim do século XX, a demanda por etanol atingiu valores extremos. A dificuldade dos fornecedores em suprir o mercado, em conjunto com o baixo preço dos combustíveis derivados do petróleo, levou à queda no consumo de etanol. Para evitar que a indústria nacional sofresse um colapso, o governo brasileiro fixou que a gasolina comercializada no país deveria conter uma taxa de 20-25% de etanol. Posteriormente, o desenvolvimento da tecnologia flex ajudou na consolidação definitiva do etanol como combustível. Atualmente, no Brasil, ele concorre sem subsídios com a gasolina. A FIG. 1 mostra o desenvolvimento da matriz energética brasileira nas últimas décadas (TRIANA, 2011; FREITAS; KANEKO, 2011; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011).

Em 2004, o governo brasileiro lançou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB. Com o objetivo de favorecer a agricultura familiar das áreas pouco desenvolvidas do país, este programa concede selos às empresas produtoras, que buscam estes certificados como uma forma de aumentar o marketing socioambiental (MIRANDA; CARMO, 2008; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; LEITE; LEAL, 2007; ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011).

Tanto o etanol, quanto o biodiesel produzidos atualmente são considerados de primeira geração. Pela falta de tecnologias eficientes, a produção de biocombustíveis de segunda geração ainda não é feita em larga escala, ocorrendo apenas em escala laboratorial. Isto se deve ao quão novo é o projeto que envolve a ideia de se processar a lignocelulose a fim de obter biocombustíveis em larga escala industrial (NYKO *et al.*, 2010).

3 MATÉRIAS-PRIMAS

Os biocombustíveis podem ser produzidos a partir de vários tipos de matérias-primas e tecnologias de

conversão. Os mais comuns são o etanol, produzido, por exemplo, a partir do milho, trigo, beterraba, mandioca, lignocelulose (presente em plantas) e, principalmente, cana de açúcar, e o biodiesel, que pode ser produzido a partir da colza ou couve-nabiça, girassol, soja, gordura animal, microorganismos (como as microalgas) e óleo de palma. No momento, as matérias-primas empregadas na produção dos biocombustíveis, que estão sendo largamente estudadas são aquelas que demandam menos terras para sua produção. Como pode ser visto na TAB. 1, a produtividade da soja como matéria-prima na produção de biodiesel é muito baixa. Apesar disso, a soja é a fonte de 74% da produção brasileira, assim, fica evidente que no processo de expansão de mercado é completamente inviável a continuidade da utilização da soja. (SUAREZ *et al.*, 2009; LEITE; LEAL, 2007; CHENG; TIMILSINA, 2010; SCHENK *et al.*, 2008).

Tabela 1

Dados da produtividade de biodiesel empregando-se diferentes matérias primas

Matéria-prima	Produtividade (L/ha)	Área necessária (Mha)
Milho	172	1540
Soja	446	594
Óleo de Palma	5950	45
Microalgas	136900	2

Fonte - SUAREZ *et al.*, 2009, p.769.

A produção de biocombustíveis a partir de microalgas é muito promissora, pois apresenta uma produtividade muito maior que as matérias-primas mais tradicionais e demanda por uma ínfima área, quando comparada às ocupadas pelas outras culturas. Porém, ainda não há tecnologia suficiente para a utilização das

microalgas como matéria-prima para produção em escala industrial (LEITE; LEAL, 2007; CHENG; TIMILSINA, 2011). Existe também uma dificuldade, manter o meio de cultura rigorosamente estável. As microalgas são um caso especial, pois podem oferecer uma gama de compostos úteis à produção de biocombustíveis, principalmente o biodiesel. Estudos específicos mostraram que as microalgas, além de terem um crescimento bem rápido, possuem grande eficiência e baixo custo na produção de matéria-prima, já que necessitam apenas de luz solar (CHENG; TIMILSINA, 2010; SCHENK *et al.*, 2008).

O Brasil se destaca no cultivo de diversas oleaginosas para a produção de biodiesel, como é apresentado na FIG. 2.

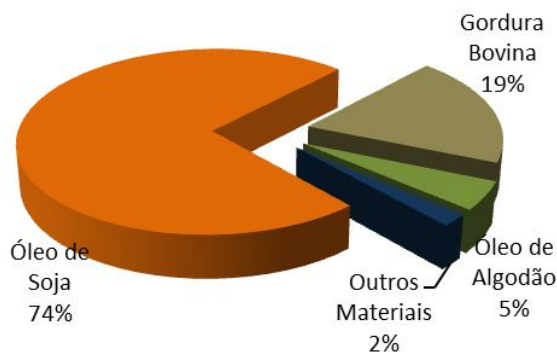


Figura 2 – Matérias-primas empregadas na produção brasileira de biodiesel em 2008.

Fonte - MIRANDA; CARMO, 2008, p.7.

Matérias-primas como gorduras animais provenientes de granjas e matadouros já tem sido utilizadas como fonte para o biodiesel (MIRANDA; CARMO, 2008; SUAREZ *et al.*, 2009).

Atualmente, o destaque nas pesquisas está ligado à produção de biocombustíveis através da lignocelulose que compõe os tecidos vegetais. Os chamados biocombustíveis de segunda geração são produzidos a partir deste tipo de material que pode ser facilmente

encontrado em madeira, lixos orgânicos, bagaços, grama e resíduos da agricultura. Também há pesquisas no desenvolvimento de culturas de algas capazes de produzir biomassa que, quando processada adequadamente, fornece certos tipos de biocombustíveis. A TAB. 2 traz as principais fontes de obtenção da lignocelulose. Análises da exergia de diferentes fontes mostram que as matérias-primas de segunda geração têm obtido valores consideráveis, com um máximo de 79,58%, dez pontos percentuais acima do resultado do biodiesel de óleo de palma, o que demonstra sua viabilidade. No caso do etanol produzido da cana de açúcar, a exergia pode chegar a 100%, pois o bagaço é usado como fonte de energia na própria usina (ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011; CHENG; TIMILSINA, 2010; EISENTRAUT, 2010).

Tabela 2

Principais fontes de obtenção da lignocelulose e a porcentagem de seus importantes componentes

Materiais Lignocelulósicos	% Lignina	% Celulose	% Hemicelulose
Madeira dura	18 a 25	40 a 55	24 a 40
Madeira macia	25 a 35	45 a 50	25 a 35
Capim	12 a 20	45	31,4
Palha de milho	7 a 18	35 a 40	17 a 35
Palha de trigo	15	30	50
Palha de arroz	10 a 24	36 a 47	19 a 25
Semente de algodão	0	80 a 95	5 a 20
Jornal	18 a 30	40 a 55	25 a 40
Papel branco	0 a 15	85 a 99	0

Fonte - CHENG; TIMILSINA, 2010, p.12.

A cana de açúcar é considerada a melhor fonte de etanol, quando comparada com as outras matérias-primas utilizadas, como mostra a TAB. 3. A redução nas emissões de gás carbônico é nitidamente uma vantagem do etanol produzido a partir da cana, considerado como a única matéria-prima que justifica o título de biocombustível, pela baixa poluição. Por isso, o sistema brasileiro de produção de etanol recebe maior destaque mundial que os projetos norte-americano e europeu (GOLDEMBERG; GUARDABASI, 2009; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

Tabela 3

Custo e redução das emissões de CO₂ com base na matéria-prima do etanol em diferentes localidades

Matéria-prima/ Localidade	Cana de Açúcar (Brasil)	Milho (Estados Unidos)	Beterraba (Europa)
Custo de 100 L (€)	14,48	24,83	52,37
Redução das emissões de CO ₂ com relação à gasolina pura (%)	84	30	40

Fonte - GOLDEMBERG; GUARDABASI, 2009, p.18.

4 PROCESSOS

As características de um combustível estão intimamente ligadas ao seu processo de produção. O etanol pode ser produzido por processos físicos, químicos e biológicos a partir de diferentes matérias-primas como o açúcar, o amido e a lignocelulose. Na FIG. 3, são mostrados os processos gerais de

obtenção do etanol por meio destes três compostos (CHENG; TIMILSINA, 2010).

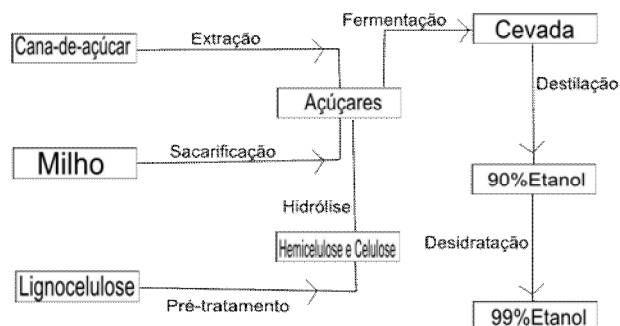


Figura 3 – Processos de produção de etanol através das principais matérias-primas usadas.

Fonte - BUCKERIDGE, 2010. p. 135

O açúcar é o principal composto natural que pode ser convertido em etanol. É encontrado na cana de açúcar, na beterraba, no sorgo doce e em outros vegetais. Com uma composição bastante rica em sacarose, pode ser simplesmente extraído por meio de processos mecânicos e facilmente fermentado a etanol, pelo uso de bactérias e leveduras. O bagaço é geralmente secado e queimado de forma a produzir energia para as usinas sucroalcooleiras (CHENG; TIMILSINA, 2010; VAZ; MAIA; SANTOS, 2011; SHREVE; BRINK, 2008).

Geralmente, a produção do etanol a partir da cana de açúcar envolve duas etapas principais. A primeira delas, o cultivo, inicia-se com a plantação, repetida a cada seis anos. Nesta etapa, ocorre a adição de grandes quantidades de nutrientes ao solo, como pedras de cálcio, íons de nitrogênio e óxidos de potássio e ferro. Antes da colheita, o canavial é queimado, uma forma de evitar a exposição dos trabalhadores a animais peçonhentos (CORTEZ, 2010; VASCONCELLOS, 2002; ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2008). Porém, algumas políticas

têm sido implementadas com o objetivo de acabar com a queimada dos canaviais, pois estudos realizados nos últimos anos apontam que a fuligem, gerada na queima, é danosa à saúde dos trabalhadores. Caso essas políticas sejam efetivadas, a substituição da mão-de-obra pela mecanização na colheita será inevitável. Após a queima e a colheita, o transporte da cana é realizado até as indústrias. Ao chegar à usina, dá-se início à etapa de transformação, onde o caldo extraído da cana passa pela hidrólise, ácida ou enzimática, seguida de fermentação, destilação e desidratação (TRIANA, 2011; ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

A fermentação é o processo de transformação dos açúcares em álcool, ela se divide em duas etapas: crescimento das leveduras, onde devem ser mantidas agitação e temperaturas próximas a 33°C, e fermentação do xarope, que é dada pela ação das leveduras junto à matéria-prima. Ao final do processo, a mistura é decantada para a separação entre o vinho e o leite de fermentação, que é reutilizado (ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011).

Grãos, como os de milho, trigo, cevada, arroz e sorgo, batata e batata-doce são alimentos ricos em amido (de 60-75% nos grãos e 10-30% na batata e na batata-doce) que podem ser usados na produção de etanol. Primeiramente, o material rico em amido passa por um processo denominado sacarificação, o qual envolve reações enzimáticas catalisadas por amilase, que converte o amido a açúcares (principalmente a glicose) mais habilitados a sofrer fermentação. E por fim, a glicose é facilmente convertida em etanol usando-se leveduras (CHENG; TIMILSINA, 2010; CHAVES, 2008).

O grande problema da produção de biocombustíveis a partir de fontes ricas em açúcar e amido está na questão da competição pelo uso das terras. Para uma

alta produção de forma a conseguir suprir toda a demanda destes biocombustíveis denominados “de primeira geração”, é necessário tomar parte das lavouras destinadas ao cultivo de alimentos para produzir suas matérias-primas (HWANG; STEWART, 2007; ROSA; GARCIA, 2009). A solução para esse problema está nos biocombustíveis de segunda geração que são produzidos através da lignocelulose (NYKO *et al.*, 2010; CHENG; TIMILSINA, 2010; SCHENK *et al.*, 2008; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011).

Materiais lignocelulósicos também podem ser convertidos em etanol, pois são ricos em celulose e hemicelulose, porém com uma dificuldade muito maior que as conversões de materiais ricos em açúcar e amido. Isto acontece pela estrutura que esses compostos apresentam, na qual as moléculas de celulose e hemicelulose estão entrelaçadas entre si e envoltas por lignina que dá resistência à estrutura (CHENG; TIMILSINA, 2010).

A conversão da lignocelulose é dividida em três etapas, sendo elas: pré-tratamento, hidrólise e fermentação. O pré-tratamento é uma etapa cujo objetivo é quebrar a barreira criada pela lignina. Existem três tipos de pré-tratamento: físico, químico e biológico. No físico, primeiramente a lignocelulose é fragmentada mecanicamente em pedaços de 0.2 a 2 mm pela cominuição mecânica. Em seguida, são aplicadas aos fragmentos temperaturas entre 160 e 260°C e altas pressões de vapor. Rapidamente o meio é submetido à pressão atmosférica, ocorrendo assim uma explosão por descompressão, que separa a lignina dos carboidratos e das hemiceluloses. O processo continua com a adição, a temperaturas em torno dos 100°C, de amônia líquida que embebe o material. Em seguida o material é, rapidamente, submetido a baixas temperaturas que quebram as ligações químicas lignina-celulose e lignina-hemicelulose, aumentando assim, a sua porosidade. Por último, a matéria-prima é

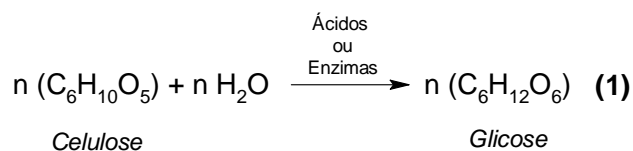
submetida a temperaturas acima dos 220°C para degradar a hemicelulose e algumas ligninas e celulosas, transformando-as em gases e outros compostos (CHENG; TIMILSINA, 2010; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

No pré-tratamento químico, são usadas reações de hidrólise ácidas e alcalinas. Em temperaturas entre 140 e 190°C, a mistura em suspensão de lignocelulose é tratada com ácido sulfúrico diluído, que decompõe as hemiceluloses, promovendo assim, a quebra da estrutura da lignocelulose. Em seguida, as partes sólidas podem ser separadas das líquidas. A maior parte da celulose fica retida na porção sólida e grande parte da hemicelulose se encontra na fração líquida. A fração que contém a celulose é então submetida a uma reação de hidrólise enzimática produzindo açúcares que possam ser fermentados a etanol. Uma grande desvantagem de usar ácido sulfúrico diluído é a formação de furfurais durante a degradação das hemiceluloses que inibem a hidrólise enzimática e a fermentação. Reações de hidrólise alcalina também podem ser empregadas quando o meio está entre temperaturas de 100 e 170°C. Com isso, ocorrem reações de saponificação de ésteres intermoleculares, ligando hemicelulose-celulose e hemicelulose-lignina no material lignocelulósico. O tratamento alcalino degrada a estrutura da lignina diminuindo a cristalização da celulose e o grau de polimerização do açúcar. Ele também quebra as ligações entre lignina e a celulose-hemicelulose, mas parte considerável da lignina ainda continua ligada a celulose, o que prejudica a quebra deste composto por enzimas durante a hidrólise enzimática (CHENG; TIMILSINA, 2010; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

Por fim, no pré-tratamento biológico, a lignocelulose é tratada com microorganismos como fungos, que degradam a lignina e a hemicelulose. É considerado um dos processos mais econômicos, porém mais

demorados, levando semanas para transformação da lignocelulose (CHENG; TIMILSINA, 2010; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

A segunda etapa do processo, a hidrólise enzimática, representada pela Eq. 1, consiste na conversão da celulose em glicose e da hemicelulose em pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (glicose, galactose e manose) através das enzimas celulase (mistura de várias enzimas como a endoglucanase, exoglucanase e a β -glicosidase) e da hemicelulase, respectivamente, que são bastante específicas e atuam em condições especiais de pH 4,8 e temperaturas entre 45 e 50°C. A fermentação acontece da mesma forma que no processo de produção via açúcares e amido (CHENG; TIMILSINA, 2010; ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).



Para a produção de combustíveis de segunda geração é necessário apenas matérias-primas que possuam lignocelulose. Poderiam ser reaproveitados os restos da produção dos biocombustíveis de primeira geração para obtenção dos de segunda geração, como é o caso do bagaço da cana de açúcar. Um aspecto negativo da produção destes biocombustíveis de segunda geração está relacionado ao processo de produção em larga-escala. Ele é composto por etapas que geralmente envolvem altos custos, principalmente a etapa de hidrólise enzimática, que possui alto grau de dificuldade de execução e resultados não muito satisfatórios (ROSA; GARCIA, 2009; ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011).

A principal técnica de produção de biodiesel no mundo é a transesterificação, uma reação de ácidos graxos com álcool na presença de um catalisador, geralmente

básico. Nos últimos anos intensificou-se a busca por novos catalisadores. Como resultado descobriu-se que enzimas, bases orgânicas, complexos metálicos, aluminossilicatos e óxidos metálicos podem ser usados em substituição aos tradicionais hidróxidos de sódio e potássio. Um coproduto da síntese do biodiesel é a glicerina, que, devido a sua contaminação com o álcool usado no processo, possui pouco valor comercial (ARRENDONDO; O. JUNIOR; BENJUMEA, 2011; CHENG; TIMILSINA, 2011).

5 PESQUISAS

Com o intuito de possibilitar um avanço no ramo dos biocombustíveis, diversas pesquisas têm sido realizadas. Merece destaque a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel – RBTB -, criada e implementada pelo Ministério Brasileiro de Ciência e Tecnologia com o intuito de articular agentes envolvidos nas pesquisas e desenvolvimento da produção de biodiesel. As principais pesquisas na área do biodiesel se dão no sentido de buscar novos catalisadores para a transesterificação. Estudos realizados nos últimos anos indicaram que as atividades catalíticas dos complexos formados com chumbo e estanho são de grande auxílio na via de produção com alguns álcoois, como o etanol e metanol (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; ABREU *et al.*, 2004).

As microalgas se tornaram um dos centros das atenções no que se refere à questão de produção de biodiesel. A alta eficiência na obtenção de combustíveis através destes microorganismos e o baixo custo de produção relativo a alguns tipos de algas têm atraído os olhares de muitos pesquisadores. Elas são caracterizadas como autotróficas ou heterotróficas. Como subproduto da respiração das algas, tem-se a formação de óleos que podem ser utilizados para a produção, na maioria das vezes, do

biodiesel. A eficiência deste biocombustível vai depender do tipo de alga utilizada para a produção do óleo. Todo esse processo pode acontecer em tanques abertos ou em sistemas denominados biorreatores fechados entre temperaturas de 20 a 30°C, mas um grande problema associado aos biorreatores é seu alto custo (CHENG; TIMILSINA, 2010; SCHENK *et al.*, 2008).

A produção de biocombustíveis gera, como a maioria dos processos químicos, subprodutos, como a glicerina, obtida da produção de biodiesel. Estudos realizados mostram um imenso potencial desse subproduto como matéria-prima para a produção de celulose bacteriana, cuja aplicação no ramo da medicina tem avançado muito. O uso de glicerina como fonte de nutrientes para a produção de celulose bacteriana tem apresentado resultados promissores (CARREIRA *et al.*, 2011).

Um dos principais parâmetros para a determinação da qualidade do biodiesel é a resistência à oxidação. Em vista disso, estudos sugeriram o uso de agentes antioxidantes, como o 2 e 3-terc-butil-4-hidroxianisol - BHA -, para o processo com gorduras animais, do t-butilhidroquinona – TBHQ -, caso seja usado óleos vegetais e de frituras, e do butilhidroxitolueno – BHT -, com utilização semelhante ao BHA (MAIA *et al.*, 2011).

6 ANÁLISES E COMPARATIVOS

Atualmente os problemas concernentes ao crescimento econômico mundial estão relacionados com a capacidade energética de cada país. Cria-se uma dependência do uso de fontes de combustíveis fósseis, das quais 36% correspondem ao petróleo; 23%, ao carvão; e 21%, ao gás natural. Nesse contexto, políticas públicas têm estimulado a produção de energia renovável em diversos países ou então vêm criando leis que exigem que certa porcentagem

de combustíveis renováveis esteja presente na composição final dos combustíveis fósseis comercializados. Em 2004, o governo Federal criou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) que prevê a substituição total ou parcial do óleo diesel derivado do petróleo em motores automotivos (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc) por biodiesel, podendo ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 5% de biodiesel ao diesel é chamada de B5 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100.

Estima-se que as fontes alternativas de energia provenientes da biomassa devem movimentar expressivos volumes de recursos nas transações agrícolas internacionais, nos próximos anos (SALLAR *et al.* 2010; ROSA; GARCIA, 2009). Baseando-se nisso e no fato de que o Brasil tem o melhor sistema de matriz energética de cana de açúcar do mundo, estes investimentos estão sendo bastante empregados em diversas áreas do setor energético brasileiro, com o objetivo de criar modelos energéticos melhores e mais eficientes (RAELE, 2010; SOCCOL *et al.*, 2009; SABONNADIÈRE, 2009; BOYLE, 2004; HINRICHES; KLEINBACK; REIS, 2010).

O desenvolvimento geralmente aparece após uma crise, e dado à dependência da sociedade atual com relação aos combustíveis fósseis e a sua limitação, tecnologias são desenvolvidas, como o álcool combustível, criado para diminuição e uma possível substituição do uso com relação à gasolina. Mesmo com a implementação do álcool, novas tecnologias são estudadas continuamente. Para que essas tecnologias sejam utilizadas, comparativos energético-econômicos devem ser feitos (SORANSO *et al.*, 2008; SOCCOL *et al.*, 2009; MELLO *et al.*, 2010).

Um dos principais focos em estudos comparativos na área de combustíveis é saber qual deles traz melhor custo-benefício energético. Os biocombustíveis têm pequena participação na composição do combustível comercializado nos dias de hoje (CHAVAS, 2008). Atualmente são feitos comparativos com o intuito de conhecer o nível máximo viável de biocombustíveis adicionado aos combustíveis fósseis através do balanço energético. A TAB. 4 relaciona as potências e capacidade de força com relação ao consumo de diferentes composições de biodiesel adicionado ao diesel comum. Na tabela, o número posterior à letra B indica a porcentagem em volume do biocombustível (SORANSO *et al.*, 2008).

Tabela 4

Comparativo do desempenho de um trator convencional em diferentes composições percentuais de biodiesel

% de Biodiesel	Desempenho			
	Consumo Volumétrico (L h ⁻¹)	Consumo por Área (L ha ⁻¹)	Força de Tração (kN)	Potência (kW)
B0	12,9	13,9	20,4	35,8
B25	13,5	14,8	20,3	35,0
B50	13,5	14,8	20,5	35,4
B100	14,4	15,8	20,5	35,6

Fonte - SORANSO *et al.*, 2008, p.556.

Observando-se a tabela acima pode-se perceber que a substituição do diesel pelo biodiesel é bastante eficiente. Comparando os dados obtidos entre o B0 e o B100, verifica-se que houve um aumento insignificante no consumo volumétrico de apenas 1,5 L.h⁻¹ e de 1,19 L.ha⁻¹ no consumo por área. Para as demais proporções estudadas e desempenhos avaliados não foram verificadas alterações o que

demonstra a elevada viabilidade dessa substituição, ou seja, no uso desse biocombustível.

7 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS

É necessário encontrar novas rotas de produção de combustíveis que possam atender às demandas energéticas que são, por enquanto, supridas pelos derivados do petróleo, uma fonte esgotável, que ameaça colocar em xeque toda a matriz energética mundial. À medida que os anos se passam, os resultados das pesquisas intensivas e do desenvolvimento tecnológico tornam os biocombustíveis cada vez mais aptos a substituir os combustíveis de origem fóssil, já que são muito mais sustentáveis que estes.

Um exemplo pode ser dado pela FIG. 4, que mostra a matriz energética brasileira no ano de 2008. Com o objetivo de diminuir a dependência de combustíveis fósseis que correspondem a cerca de 53% da energia brasileira, o governo iniciou um programa de produção dos biocombustíveis, que apresenta vários problemas, dentre eles a distribuição de terras (KILLEN *et al.*, 2011; NYKO *et al.*, 2010; MIRANDA; CARMO, 2008; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011).

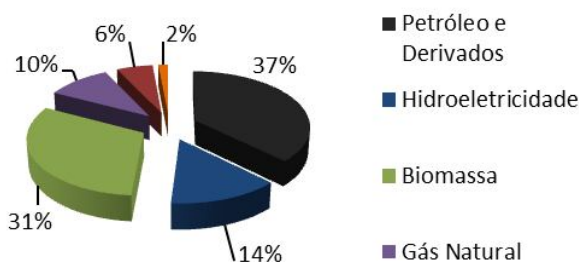


Figura 4 – Composição percentual da matriz energética brasileira em 2008.

Fonte - MIRANDA; CARMO, 2008, p.7.

Já os projetos dos EUA se baseiam no apoio financeiro e incentivo à produção de biomassa para

obtenção de biocombustíveis. A FIG. 5 mostra como este apoio financeiro cresceu nos últimos anos (ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008).

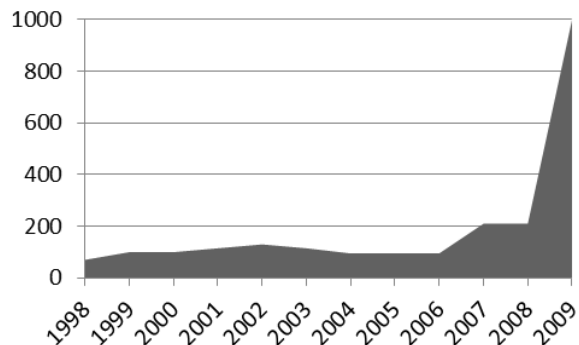


Figura 5 – Evolução ao longo do tempo relativo ao apoio financeiro, em milhões de dólares, do governo federal dos EUA à produção de biocombustíveis.

Fonte - ANTIZAR-LADISLAO; TURRION-GOMEZ, 2008, p. 3156.

Apesar dos grandes aspectos positivos dos biocombustíveis, eles não estão livres de causar impactos negativos sobre a sociedade e o meio-ambiente (SMITH, 2004; HILSDORF *et al.*, 2004). Além de exigir uma grande quantidade de água, o aumento da produção de biocombustíveis exige maior área de cultivo para matéria-prima, que muitas das vezes, vem de terras agricultáveis e áreas com cobertura vegetal. Dessa forma, por um lado a produtividade de biocombustíveis cresce, e por outro, a disponibilidade de alimentos para consumo cai, aumentando assim o preço destes no mercado e, ao mesmo tempo, o consumo de água e a devastação de áreas florestais aumentam, gerando uma grande polêmica em torno dos biocombustíveis (NYKO *et al.*, 2010; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011; SPIRO; STIGLIAM, 2009; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2010).

Análises mostram que outro preocupante impacto ambiental seria a contaminação da água, através de resíduos provenientes da produção de biocombustível, como acontece na produção de óleo de palma, que além de gerar cerca de 2,5 toneladas de efluentes, contaminando grandes extensões de rios e córregos, ainda faz o uso de pesticidas para o controle de pragas das lavouras de matéria-prima (HWANG; STEWART, 2007).

Outro impacto, agora na esfera social, que pode ser abordado no que diz respeito aos processos de obtenção dos biocombustíveis é a exploração de trabalho em alguns setores produtivos. No Brasil, por exemplo, foram detectados mais de 1000 casos de exploração no trabalho em lavouras de cana de açúcar no ano de 2008, já que os trabalhadores recebiam valores de pagamento abaixo do que era determinado pela lei, caracterizando o trabalho como escravo (HWANG; STEWART, 2007).

Neste âmbito, uma comparação surge entre os diferentes biocombustíveis utilizados. No Brasil, o etanol é produzido a partir da cana de açúcar, matéria-prima que garante a liberação de 30g de gás carbônico por megajoule de energia gerada. Nos Estados Unidos, onde o etanol é produzido a partir de milho, há a liberação de 140 g de gás carbônico por megajoule de energia gerada. Não só este tipo de comparação pode ser feita entre os biocombustíveis, mas, análises mais profundas mostram que para a substituição dos combustíveis fósseis, um planejamento grandioso deve ser realizado em todo o mundo, verificando os países com maior e menor potencial para o cultivo de cada matéria-prima (TRIANA, 2011; MIRANDA; CARMO, 2008).

Com relação às microalgas, pode-se dizer que elas possibilitam um ótimo meio alternativo de obtenção de biocombustível, sem grandes impactos ambientais. Destaque para as espécies autotróficas que são

consideradas as mais sustentáveis, já que, por realizarem o processo da fotossíntese, elas capturam CO₂ da atmosfera. Quando é realizada a queima do biodiesel para geração de energia, a quantidade de CO₂ emitida à atmosfera é a mesma que foi retirada durante a execução da fotossíntese. Dessa forma, não há emissão de cargas adicionais de CO₂ à atmosfera (CHENG; TIMILSINA, 2010; SCHENK *et al.*, 2008).

A produção de biocombustíveis traz algumas características negativas, como o altíssimo consumo de energia, a necessidade de utilizar grandes estabelecimentos agropecuários, a concentração de terras, o uso intensivo de tecnologias avançadas, os danos ambientais ainda em grande escala e a alta concentração de capitais. O que compensa a produção é o grande poder econômico dos biocombustíveis que está relacionado a gama de matérias-primas que podem ser utilizadas na sua produção, assim como a sua viabilidade e competitividade econômica; e as vantagens ambientais, como é o caso do biodiesel que apresenta características atrativas como a não-toxicidade, produto biodegradável, não inflamável e tecnicamente viável (MIRANDA; CARMO, 2008; SERNA; BARRERA; MONTIEL, 2011).

O uso de terras para a produção de biocombustíveis encontra ainda outro obstáculo: as políticas da ONU em prol da diminuição do desmatamento. Estudos foram realizados em diferentes regiões do planeta para verificar a disponibilidade de cultivo de matérias-primas sem o avanço das fronteiras agrícolas. O estado do Pará foi uma das áreas avaliadas, que permite a implementação do cultivo de oleaginosas sem que haja novos desflorestamentos. Nesse estado é possível cultivar matérias-primas sem que uma concorrência por terra, entre a produção de alimentos e biocombustíveis, seja estabelecida, uma vez que essas áreas não estão sendo usadas para nenhum

cultivo (TRIANA, 2011; KILLEN *et al.*, 2011; SUAREZ *et al.*, 2009; ROSA; GARCIA, 2009).

Os biocombustíveis mais importantes são o etanol e o biodiesel. O primeiro tem participação de 90% no mercado mundial com a principal finalidade de suprir a demanda energética do setor de transportes. Essa importância reflete na economia de forma a criar várias metas voluntárias e obrigatórias de utilização dos biocombustíveis, principalmente no setor de transportes. Por exemplo, até 2010 na Alemanha, 6,75% de etanol anidro deveriam ser adicionados à gasolina com uma previsão de aumento para 8% em 2015. No Brasil, obrigatoriamente a gasolina deve conter uma mistura de 20 a 25% de etanol anidro e uma mistura mínima de 5% de biodiesel no diesel a partir de 2010. No Canadá, a partir de 2010 a gasolina deveria conter 5% de etanol e o diesel, 2% de biodiesel a partir de 2012. Na China, foi proposta uma meta voluntária de que 15% da energia gasta nos transportes fossem provenientes de biocombustíveis. Nos Estados Unidos, seriam produzidos 34 bilhões de litros de etanol em 2008, passando para 136 bilhões de litros em 2022, sendo que desta quantidade, 79 bilhões de litros deverão ser provenientes de biocombustíveis avançados, com 60 bilhões de litros de biocombustíveis celulósicos. Apesar das metas propostas pelos governos de vários países, o uso de biocombustíveis no setor transportes ainda é muito pequeno, correspondendo a menos de 20% para o etanol e 1% para o biodiesel. Estima-se que até 2030 entre 4 e 8% dos combustíveis consumidos pelo setor de transportes sejam biocombustíveis (ROSA; GARCIA, 2009).

A indústria brasileira de etanol encontra-se completamente consolidada. Atualmente, nenhum incentivo ao consumo de etanol é dado por parte do governo e mesmo sob estas condições, o volume de etanol utilizado no Brasil por dia é responsável por substituir cerca de 3% de toda a gasolina gasta no

mundo (MIRANDA; CARMO, 2008; LEITE; LEAL, 2007). Em contra partida, o mercado para o biodiesel deve percorrer, ainda, um longo caminho, apesar de mostrar grande evolução ao longo dos anos, como pode ser visto na FIG. 6. Esta elevação se dará, principalmente, pela taxaço imposta pelo governo da quantidade de biodiesel que deve ser adicionada ao diesel convencional, que em 2013 deve ser de 5% (B5) (ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011; GOLDEMBERG; GUARDABASI, 2009).

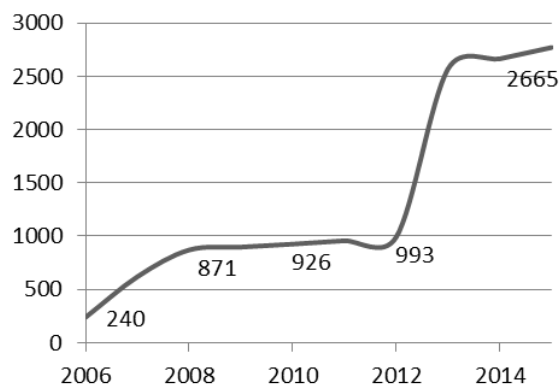


Figura 6 – Demanda brasileira de biodiesel no período de 2006 a 2014.

Fonte - ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011, p. 1034.

No contexto de expansão das áreas e matérias-primas para a produção de biocombustíveis, grandes empresas globais de cultivos transgênicos, tais como Syngenta®, Monsanto®, Dupont®, Dow® e Bayer®, estão buscando parcerias visando associarem seus nomes à produção de energia limpa com grandes empresas do agronegócio, como a Bunge® e as próprias Bayer® e Dupont®, com petrolíferas, como a Shell®, a TOTAL® e a British Petroleum®, e, também, com montadoras, como a Volkswagen®, a Peugeot®, Citroën® e a Renault®. Em consequência, poderá surgir um conglomerado que dominará os setores de produção agroindustrial de combustíveis e seu mercado para carros (MIRANDA; CARMO, 2008).

A produção de biocombustíveis aumentou exponencialmente entre 2000 e 2009, como apresentado nas figuras 7 e 8 (LAMERS *et al.*, 2011).

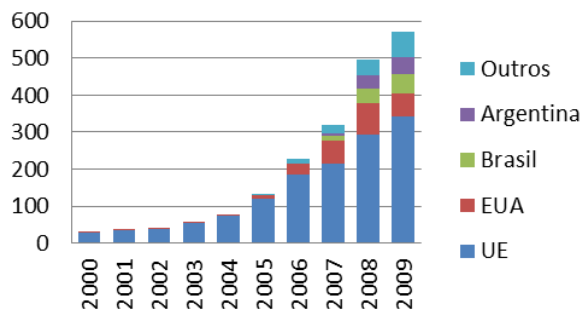


Figura 7 – Crescimento mundial anual da produção de etanol entre 2000 e 2009.

Fonte - LAMERS *et al.*, 2011, p. 2660.

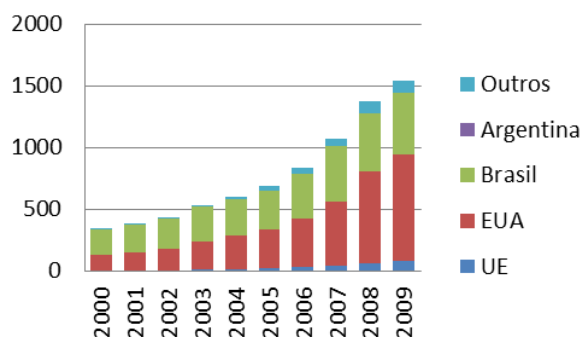


Figura 8 – Crescimento mundial anual da produção de biodiesel entre 2000 e 2009.

Fonte - LAMERS *et al.*, 2011, p. 2660.

No Brasil, tanto o biodiesel quanto o etanol obtiveram avanços consideráveis nas suas produtividades mais recentemente. Segundo o governo federal, a produção brasileira de etanol pode chegar a 28 bilhões de litros na safra 2013/2014. O volume representa crescimento de 21% em relação à safra anterior. A estimativa foi feita após a confirmação de incentivos do governo federal de R\$ 1 bilhão em desonerações fiscais para o setor. Em janeiro de 2013 foi verificado um

crescimento de 17,4% na produção de biodiesel em relação a 2012. Mundialmente, a produção de biocombustíveis, depois de um crescimento acelerado, em 2012 se manteve praticamente estável em relação a 2011. Foram produzidos aproximadamente 110 bilhões de litros de biocombustíveis, sendo 80 bilhões de litros de etanol e 30 de biodiesel. (SANTOS, NOGUEIRA, 2013)

Quanto aos custos inclusos na produção do etanol, estima-se que cerca de 10% correspondem às matérias-primas, 40% aos investimentos e 50% às transformações industriais propriamente ditas. No total, em 2004, o preço do litro de etanol de biomassa estava entre €0,82 a €1,08 com projeções em curto prazo de €0,53, em médio prazo de €0,34 e em longo prazo de €0,22. Na atualidade (2013), o preço do litro de etanol no Brasil tem média de US\$0,90. Estima-se que o etanol produzido pelo Brasil com a tecnologia que se tem hoje, seja potencialmente competitivo com etanol conseguido pela hidrólise da lignocelulose até 2030 (ROSA; GARCIA, 2009).

A produção de biocombustíveis de segunda geração ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Porém, são feitas várias estimativas e previsões sobre como esses produtos impactariam social, econômica e ambientalmente se fossem produzidos em escala industrial (EISENTRAUT, 2010). Esses combustíveis multiplicariam sua produção aumentando consideravelmente os lucros e diminuindo a forte dependência ainda existente em relação aos combustíveis fósseis, por exemplo, suprimindo parte da demanda para o setor de transportes. Assim, haveria um fortalecimento e uma valorização econômica da região onde fossem instaladas as unidades de produção dos biocombustíveis e enfraquecimento dos setores de produção de derivados de petróleo (EISENTRAUT, 2010).

A questão da competitividade por terras entre a produção de biocombustíveis e a de alimentos para consumo seria amenizada, já que a fabricação dos biocombustíveis de segunda geração pode ser feita a partir de restos de produção, como é o caso da cana de açúcar, em que se pode produzir etanol a partir do bagaço gerado. Desta forma não necessitaria de grandes extensões de área para o cultivo de matérias-primas, já que os biocombustíveis de segunda geração podem ser obtidos a partir de restos de produção (EISENTRAUT, 2010).

Além dos aspectos positivos, é necessário considerar os negativos. A produção de biocombustíveis de segunda geração demanda alta tecnologia, de custo elevadíssimo, que a torna inviável no momento. Também gera uma quantidade considerável de resíduos que, se não tratados, podem afetar os ecossistemas ao redor da unidade produtora, além de promover a erosão dos solos, já que são produzidos a partir dos restos de produção que muitas vezes servem de cobertura e proteção destes (EISENTRAUT, 2010).

8 CONCLUSÃO

A substituição dos combustíveis fósseis será inevitável, uma vez que as atuais reservas já apontam

sintomas de esgotamento. Nesse cenário, os biocombustíveis se mostram como a alternativa bastante viável, uma vez que já existe tecnologia suficiente para sua produção em larga escala, os chamados biocombustíveis de primeira geração – aqueles produzidos a partir de componentes vegetais, como a cana de açúcar e o óleo de soja. Porém, para que toda a demanda de combustível fóssil seja substituída por combustível renovável, a quantidade de matéria-prima que deverá ser cultivada se torna muito maior e, pode, em alguns casos, levar a sérios problemas socioambientais tais como: a exploração da mão de obra no campo e a disputa por terras agráveis entre alimentação e produção de combustíveis, o que pode inflacionar o preço dos alimentos.

Os chamados biocombustíveis de segunda geração, uma vez que são produzidos a partir dos restos de vegetais que já foram processados pela indústria alimentícia, não estabelecem a concorrência entre estas duas demandas e, ao mesmo tempo, diminui a necessidade de terras agráveis. Esta alternativa é viável e promissora, porém não existe tecnologia vigente, capaz de produzir tais combustíveis em escala industrial para suprir a demanda do produto. Portanto, se faz necessário o investimento em pesquisas e capacitação de profissionais na área de tecnologias de produção de biocombustíveis de segunda geração, visando seu rápido e amplo desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. R.; LIMA, D. G.; HAMU, E. H.; WOLF, C.; SUAREZ, P. A. Z.; Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of Brazilian vegetable oils with different alcohols. *Bioresource Technology*, 29, abr 2011. Department of Chemistry, University of Aveiro, CICECO, Campus de Santiago, 7354-7360.

AMORIM, H. V.; LOPES, M. L.; OLIVEIRA, J. V. C.; BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H.; Scientific

challenges of bioethanol production in Brazil. *Biofuels*, 7, jul 2011. Appl Microbiol Biotechnol, Brazil, 1267-1275.

ANTIZAR-LADISLAO, B.; TURRION-GOMEZ, J. L.; Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels*, 23, jul 2008. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd, 455-469.

- ARRENDONDO, H.I.V.; O. JUNIOR, S.; BENJUMEA, P.; Exergy efficiency analysis of chemical and biochemical stages involved in liquid biofuels production processes. *Energy*, São Paulo, 11, jun 2011. Departamento de Engenharia Mecânica - Escola Politécnica de São Paulo - Universidade de São Paulo, 1-8.
- BOYLE G.; *Renewable Energy: Power for a sustainable future*. 2ªed. Cambridge: Oxford University Press, 2004. 452 p. ISBN 0-19-926178-4.
- BUCKERIDGE, M., Etanol: Pesquisa & Desenvolvimento. 1ª Ed. São Paulo: Blücher 2010. 135 p. ISBN 986 -84-213-02314-3.
- CARREIRA P.; MENDES J. A. S.; TROVATTI E.; SERAFIM L. S.; FREIRE C. R. S.; SILVESTRE A. J. D.; Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 29, abr 2011. Department of Chemistry University of Aveiro, Campus de Santiago, 7354-7360.
- CHAVAS, D.; Standardization and comparative analysis of four recent studies on the energy balance of corn ethanol. *Biofuel*, 8, dez 2008. 2, MIT Department of Earth, Atmosphere, and Planetary Sciences, 1-16.
- CHENG, J. J.; TIMILSINA, J. R.; Advanced Biofuel Technologies: Status and Barriers. *Policy Research Working Paper*, set 2010. 5411, The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team, 1-47.
- CHENG J. J.; TIMILSINA J. R.; Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. *Renewable Energy*, 25 mai 2011. Biological & Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, 3541-3549.
- CORTEZ L. A. B.; *Etanol da cana de açúcar*. 1ª ed. São Paulo: Blicher, 2010. 954 p. ISBN 978-85-212-0531-9.
- EISENTRAUT, A.; Sustainable Production of Second-Generation Biofuels: Potential and perspectives in major economies and developing countries. *Information Paper*, Paris, fev 2010. IEA Renewable Energy Division, 1-221.
- FREITAS, L. C.; KANEKO, S.; Ethanol demand in Brazil: Regional approach. *Energy Policy*, 1, mar 2011. 39, Graduate School for International Development and Cooperation, Development Policy, Hiroshima Universit. 2289-2298.
- GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P.; The potential for first-generation ethanol production from sugarcane. *Biofuels*, São Paulo, 9, dez 2009. 4, Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd, 17-24.
- HILSDORF J. W.; DE BARROS N. D.; TASSINARI C. A.; COSTA I.; *Química Tecnológica*. 1ª Ed. São Paulo: Thomsom, 2004. 340 p. ISBN 85-221-0352-6.
- HINRICHES R. A.; KLEINBACH M.; REIS L. B.; *Energia e meio ambiente*. 4ª ed. São Paulo: Cengage Reanning, 2010. 708 p. ISBN 85-212-0714-9.
- HWANG, L.; STEWART, E.; Biofuels for Transportation: The Next Energy Revolution or a Fix That Fails?. *Business for Social Responsibility*, dez 2007. 1-29.
- KILLEN, T. J.; G. SCHROUT, G.; TURNER, W.; HARVEY, C. A.; STEININGER, M. K.; DRAGISIC, C.; MITTERMEIER, R. A.; Stabilizing the agricultural frontier: Leveraging REDD with biofuels for sustainable development. *Biomass & Bioenergy*, 14, jun 2011. 1, Conservation International, 1-9.
- KNOTHE G.; GERPEN J.; KRAHL J.; RAMOS L.; *Manual do Biodiesel*. 1ªEd. São Paulo: Blincher, 2006. 340 p. ISBN 978-85-212-0405-3.
- LAMERS, P.; HAMELINCK, C.; JUNGINGER, M.; FAAJI, M.; International bioenergy rade: A review of past developments in the liquid biofuel Market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, jan 2011. Ecofys Germany, Stralauer Platz, 2655-2676.
- LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; BOM, E. P. S.; DE MORAES, L. M. P.; ARAÚJO, J. A.; TORRES, F. A. G.; Bioethanol from lignocelluloses: Status and perspectives in Brazil. *Bioresource Technology*, 16, nov 2009. 101, 4820-4825.
- LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V.; O Biocombustível no Brasil. *Novos Estudos*, jul 2007. 78, CEBRAP, 15-21.
- LIMA M.; MOTA M.; *Biotecnologia: Fundamentos e Aplicações*. 1ª Ed. Lisboa: Lidcal, 2003. 505 p. ISBN 972-757-197-2.
- LIMA U. A.; AQUARONE E.; BORZANI W.; SCHMIDELL W.; *Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica*. 1ª Ed. Lisboa: Blicher, vol. 2, 2001. 541 p. ISBN 85-212-0279-2.
- LIMA U. A.; AQUARONE E.; BORZANI W.; SCHMIDELL W.; *Biotecnologia Industrial: Fundamentos*. 1ª Ed. Lisboa: Blicher, vol. 1, 2001. 254 p. ISBN 978-85-212-0278-3.

- LIMA U. A.; AQUARONE E.; BORZANI W.; SCHMIDELL W.; *Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos*. 1ª Ed. Lisboa: Blicher, vol. 3, 2007. 593 p. ISBN 85-212-0280-6.
- LIMA U. A.; AQUARONE E.; BORZANI W.; SCHMIDELL W.; *Biotecnologia Industrial: Produção de alimentos*. 1ª Ed. Lisboa: Blicher, vol. 4, 2007. 523 p. ISBN 85-212-0281-4.
- MAIA, E. C. R.; BORSATO, D.; MOREIRA, I.; SPACINO, K. R.; RODRIGUES, P. R. P.; GALLINA, A. R.; Study of the biodiesel B100 oxidative stability in mixture with antioxidants. *Fuel Processing Technology*, 12, mai 2011. 92, Chemistry Department State University of Londrina, 1750-1755.
- MELLO, V. M.; POUSA, G. P. A. G.; PEREIRA, M. S. C.; DIAS, I. M.; SUAREZ, P. A. Z.; Metal oxides as heterogeneous catalysts for esterification of fatty acids obtained from soybean oil. *Fuel Processing Technology*, 29, aug 2010. 92, Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, Universidade de Brasília, 53-57.
- MIRANDA, H. P.; CARMO, G. E.; Agro e Biocombustíveis: O Cenário Brasileiro Atual e as Perspectivas Futuras. Dez 2008. Universidade Federal de Viçosa, 1-16.
- NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; MILANEZ, A. Y.; DUNHAM, F. B.; A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *Biocombustíveis*, jun 2010. 32, Departamento de Biocombustíveis da Area Industrial do BNDES, 5-48.
- RAELE, R.; A Aplicação de um Modelo de Construção de Cenários no Setor Produtivo de Etanol: Um Estudo de Etanol de Segunda Geração. 2010. 140 f. Administração estratégica e Etanol - Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração, São Paulo, 2010.
- RATHMANN, R.; BENEDETTI, O.; PLÁ, J. A.; PADULA, A. D.; Biodiesel: Uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?. mai 2008. Departamento de Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1-13.
- RIANA, C. A. R.; Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches. *Energy Policy*, fev 2011. 39, Faculty of Business Administration Economics and Accounting Polytechnic Grancolombiano, 4605-4613.
- ROCHA J. C.; ROSA A. H.; CARDOSO A. A.; *Introdução à Química Ambiental*. 2ª Ed. São Paulo: Bookman, 2010. 256 p. ISBN 978-85-7780-469-6.
- ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F.; O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES* 32, dez 2009. 117-156.
- ROSILLO-CALLE F.; BAJAY S.V.; ROTHMAN H.; *Uso da biomassa para a produção de Energia na Indústria Brasileira*. 1ª Ed. Campinas: Unicamp, 2008. 277 p. ISBN 0-7484-0884-3.
- ROVERE, E. L.; PERREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F.; Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. *World Development*, v. 39, n.6, 1026-1036, jan 2010. 0305-750.
- SABONNADIÈRE J. C.; *Renewable Energy Technologies*. 1ª Ed. London: ISTE, 2009. 477 p. ISBN 978-1-84821-135-3.
- SALEMI, L. F.; Biocombustíveis de segunda geração: o futuro passa por aqui. *Revista Brasileira de Bioenergia*, v. 3, n.7, 1-1, mar 2009.
- SALLAR, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D.; Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.9, 2017-2022, set 2010. ISSN: 0103-8478.
- SANTOS, A.; NOGUEIRA, V.; *Produção Nacional e Global de Biocombustíveis*. www.biodiesel.com.br acessado em 13/05/13.
- SCHENK, P. M.; THOMAS-HALL, S. R.; STEPHENS, E.; MARX, T. C.; MUSSGUG, J. H.; POSTEN, C.; KRUSE, O.; HANKAMER, B.; Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenergy Res.*, mar 2008. 1, 20-43.
- SERNA, F.; BARRERA, L.; MONTIEL, H.; Impacto Social y Económico en el Uso de Biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 6, n.1, 100-114, jan 2011. ISSN: 0718-2724.
- SHREVE R. N.; BRINK Jr. J. A.; *Indústria de Processos Químicos*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kesgen, 2008. 717 p. ISBN 978-85-277-1419-8.
- SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S.; Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.3, 843-851, mai 2008. ISSN: 0103-8478.
- SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; Mitigação das missões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana de açúcar

produzido no Brasil. *Circular Técnica*, v.1, n.1, 1-14, abr 2009. ISSN 1519-7328.

SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MEDEIROS, A. B. P.; KARP, A. G.; BUCKERIDGE, M.; RAMOS, L. P.; PITARELO, A. P.; FERREIRA-SMITH J. E.; *Biotechnology*. 5ª Ed. New Yor: Cambridge University Press, 2004. 266 p. ISBN 978-0-521-88494-5.

SORANSO, A. M.; G. FILHO, A.; LOPES, A.; DE SOUZA, E. G.; DABDOUB, M. J.; FURLANI, C. E. A.; DA CAMARA, F. T.; Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.5, 553–559, fev 2008.

SPIRO, T. G.; STIGLIAM, W. M.; *Química Ambiental*. 2ª Ed. São Paulo: Pearson, 2009. 334 p. ISBN 978-85-7605-196-1.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; 70º Aniversário do Biodiesel em 2007: Evolução Histórica e Situação Atual no Brasil. *Assuntos Gerais*, v. 30, n. 8, 2068-2071, nov 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVEZ, M. B.; Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. *Assuntos Gerais*, v. 32, n.3, 768-775, mar 2009.

VASCONCELLOS G. F.; *Biomassa: A eterna energia do futuro*. 1ª Ed. São Paulo: Senac, 2002. 142 p. ISBN 85-7359-236-2.

VAZ, C. E. M.; MAIA, J. L. P.; SANTOS, W. G.; *Tecnologia da Indústria do Gás Natural*. 1ª Ed. São Paulo: Blicher, 2011. 416 p. ISBN 978-85-212-0421-3.

WONGTSCHOWSKI P.; *Indústria Química: Riscos e Oportunidades*. 2ª Ed. São Paulo: Blücher, 2009. 306 p. ISBN 978-85-212-0312-4.