INTERFACE TECNOLÓGICA

VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DO ETANOL CELULÓSICO

VIABILITY OF CELLULOSIC ETHANOL PRODUCTION

Gabriel Pinfildi Damasceno – gabriel.pinfildi@gmail.com

Luciano Donizeti Zaneti – ldzaneti@hotmail.com

Daltro Cella - daltro_cella@yahoo.com.br

Faculdade de Tecnologia de Catanduva – Catanduva – São Paulo – Brasil

RESUMO

O aquecimento global causado pela emissão dos gases de efeito estufa aponta uma crise ambiental preocupante, levando países a buscarem alternativas como fontes de energias autossustentáveis e limpas. O etanol é uma fonte de energia renovável que pode substituir os combustíveis fósseis. O governo brasileiro assinou o Acordo de Paris propondo aumentar a produção de etanol em 66% até 2030. Para isso, é necessário aumentar a plantação da cana-de-açúcar e isso provoca grandes discussões quanto ao uso de solo agrícola. Uma alternativa é a produção do etanol de segunda geração, que possibilita aumentar a produção brasileira de etanol em 50% utilizando a mesma quantidade de cana plantada. Este trabalho tem por objetivo apresentar o processo de produção do etanol e comparar o custo de produção entre o etanol de primeira geração (E1G) com o etanol de segunda geração (E2G). Para tanto, realizou-se a descrição de seus processos produtivos e seus respectivos custos de produção. Este estudo baseou-se em pesquisas bibliográficas por meio de artigos, monografias, dissertações, teses e em sites especializados, com o objetivo de produzir informações sobre a produção do etanol celulósico e propiciar novas informações sobre o assunto. Para os especialistas, a produção do E2G será viável até 2020. A dificuldade encontrada na sua produção e o que a encarece é a enzima utilizada no processo de hidrólise. Para baratear esse processo, o governo brasileiro deve investir mais em pesquisa e desenvolvimento, incentivando outros laboratórios a produzirem a enzima, assim como criar novas políticas para utilização do E2G.

Palavras-chave: Fonte de Energia Renovável. Cana-de-Açúcar. Bagaço. Palha.

ABSTRACT

The global warming caused by the emission of greenhouse gases points to a worrisome environmental crisis, leading countries to seek alternatives as self-sustaining and clean sources of energy. Ethanol is a renewable source of energy that can replace fossil fuels. The Brazilian government signed the Paris Agreement proposing to increase the ethanol production in 66% by 2030. Therefore, it is necessary to increase the planting of sugar cane, which causes big issues about the use of agricultural soil. An alternative is the production of second-generation ethanol, which makes it possible to increase the Brazilian ethanol production in 50% using the same amount of sugar cane planted. The objective of this work is to present the ethanol production process and compare the production cost between first-

generation ethanol (E1G) and second-generation ethanol (E2G). For that, a description of its production processes and their respective production costs was carried out. This study was based on bibliographical research through articles, monographs, dissertations, theses and in specialized websites, with the purpose of producing information on the cellulosic ethanol production and providing new information about the subject. For the experts, the production of the E2G will be viable up by 2020. The difficulty found in its production and which makes it expensive is the enzyme used in the hydrolysis process. In order to make this process cheaper, Brazilian Government should be made more investments in research and development, encouraging other laboratories to produce the enzyme, as well as create new policies for the use of E2G.

Keywords: Renewable Source of Energy. Sugar Cane. Bagasse. Straw.

1 INTRODUÇÃO

A busca por combustíveis renováveis é importante, já que as fontes utilizadas atualmente são de origens fósseis, poluentes e suas reservas não são renováveis. Além disso causam o efeito estufa, liberando à atmosfera gases como o gás carbônico (CO_2), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O). Diante desse cenário, há um grande interesse em explorar novas fontes de energias alternativas, tanto para estabilizar os preços dos combustíveis quanto para preservar o meio ambiente (O ECO, 2014).

Segundo Carvalho *et al.* (2013, p. 532) o Brasil tem a cana-de-açúcar como fonte energética desde 1530. Mas somente na década de 1920 que o Brasil teve seu primeiro contato com o etanol. Em 1933, no governo de Getúlio Vargas, foi criado o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA). Segundo o site Infopédia (2010) o país se destaca na produção de etanol por utilizar políticas avançadas nas áreas tecnológicas e por ser o precursor na produção do álcool a partir da cana-de-açúcar.

O Brasil produz 30 bilhões de litros de etanol por ano, mas conforme compromisso firmado pelo Acordo de Paris[1], no qual o país comprometeu-se a reduzir a emissão de gases de efeito estufa, há a necessidade de aumento da produção de etanol em 66% (em torno de 20 bilhões de litros) até 2030. Para que isto ocorra, duas alternativas são apontadas: a primeira seria o aumento na produção da cana-de-açúcar e a outra seria investir na produção do etanol

[1] Criado em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), o Acordo de Paris é uma iniciativa que estabelece mecanismos para que os países limitem o aumento da temperatura global e fortaleçam a defesa contra os impactos da mudança climática (CARTA EDUCAÇÃO, 2017).

de segunda geração, que utiliza o bagaço e palha da cana, conseguindo assim produzir mais com a mesma área plantada. (O TEMPO, 2016).

A produção do E2G tem que vencer algumas barreiras para tornar-se viável, uma delas é o custo de produção, que no momento é maior do que a produção do E1G. De acordo com dados publicados pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) (2017) estima-se que até 2020 o etanol de segunda geração (E2G) tenha seu custo mais vantajoso em relação ao etanol convencional. Outra questão é a rentabilidade, onde a do E2G consegue gerar 17 mil litros/hectare enquanto o etanol convencional gera 6,9 mil litros/hectare.

Perante o cenário que estamos vivenciando mundialmente, a busca por fontes de energias renováveis é importante, especialmente para a utilização de resíduos agrícolas como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, na produção do etanol celulósico.

Sendo assim, este artigo tem como objetivo central descrever o processo de produção do etanol de primeira e segunda geração e comparar os seus custos de produção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão da literatura tem como objetivo apresentar o material utilizado para a realização desse trabalho. Nessa seção serão descritos os tipos de energia, sendo essas renováveis ou não, e a produção de etanol de primeira e segunda geração.

2.1 Energia de fontes renováveis e não renováveis

A energia pode ser obtida a partir de fontes renováveis e não renováveis. As fontes de energia renováveis contam com recursos inesgotáveis da natureza, ou seja, recursos que se regeneram ou se mantêm ativos permanentemente. Pena (2015) apresenta alguns tipos de fontes de energia renováveis: Hidrelétrica (aproveita o potencial hidráulico de um rio); Eólica (transforma a energia do vento); Geotérmica (obtém a partir do calor que provêm da Terra); Biomassa (deriva de organismos vivos); Ondas e Marés (máquinas que se movem pela força das ondas) e; Solar-Térmica e Fotovoltaica (capta o calor do sol através de placas).

Já as fontes de energia não renováveis são provenientes de recursos naturais que se esgotarão em um futuro próximo e costumam gerar impactos negativos quando se trata da questão ambiental (PENA, 2014). O autor lista algumas fontes de energia não renováveis: Termelétrica (queima de combustíveis fósseis); Nuclear (liberada em uma reação nuclear por

meio da transformação de núcleos atômicos); Petróleo (transforma substâncias oleosas e inflamáveis em energia); Carvão Mineral (libera energia pela queima de rochas sedimentares combustíveis); Gás Natural (produz energia a partir da queima de hidrocarbonetos derivados de combustíveis fósseis) e; Xisto Betuminoso (petróleo não convencional obtido a partir de fragmentos de xisto betuminoso e por meios de pirólise, hidrogenação ou dissolução térmica).

Para Francisco (2007) é importante a busca por combustíveis renováveis, visto que as fontes mais utilizadas atualmente são de origens fósseis, extremamente poluentes e que, um dia, terão suas reservas esgotadas. O CO_2 é um dos grandes responsáveis pelo aquecimento da terra, correspondendo a aproximadamente 78% dos gases emitidos. O maior responsável pela emissão são os combustíveis não renováveis (O ECO, 2014).

É fato que todos os países emitem na atmosfera gases como o CO_2, mas alguns deles emitem níveis exorbitantes comparados a outros, conforme se observa na Tabela 1. Os dados publicados são do banco de dados de emissão da *Emissions Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR) do Centro de Pesquisa Conjunta da Comissão Europeia.

Tabela 1 – Países que mais contribuíram para o aquecimento global em 2016

Posição	País	CO_2 (Ktons)
1	China	10.432.751,35
2	Estados Unidos	5.011.686,62
3	Índia	2.533.638,05
4	Rússia	1.661.899,32
5	Japão	1.239.592,01
6	Alemanha	775.752,18
7	Canadá	675.918,61
8	Irã	642.560,01
9	Coréia do Sul	604.043,83
10	Indonésia	530.035,65
11	Arábia Saudita	517.079,41
12	Brasil	462.994,92

Fonte: Elaborado a partir de *Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)* - CO2 and GHG emissions by country (2017).

Na sequência, esse trabalho irá descrever o processo de produção do etanol de primeira geração confrontando com o processo de produção do etanol de segunda geração. Essa descrição é necessária para a comparação dos seus respectivos custos de produção.

2.2 O processo de produção do etanol de primeira geração (E1G)

2.2.1 Fermentação alcoólica

Para Dias (2008, p. 16) o processo de fermentação alcoólica incide em uma série de reações químicas catalisadas por um micro-organismo, chamado de levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que se dá em condições de anaerobiose como meio de provisão de energia para manutenção das atividades vitais e crescimento. No Brasil, a fermentação alcoólica para a produção do etanol é realizada por meio de duas formas, a batelada contínua e a batelada alimentada, através de reciclo de células, chamado de processo Melle-Boinot.

2.2.2 Destilação e desidratação

A destilação é o processo que extrai o etanol do vinho delevedurado. Brasil (2005 *apud* DIAS, 2008, p. 23-24) descreve que a concentração de etanol contida no vinho delevedurado está entre 7 e 10% em massa, o que depende muito do processo de fermentação. No processo de destilação obtém-se o álcool etílico hidratado carburante (AEHC) e o álcool etílico anidro carburante (AEAC).

Para que o etanol hidratado possa ser adicionado à gasolina ele tem que passar por um processo de desidratação, para que assim alcance teor alcoólico maior que 99,3% em massa. A desidratação não pode ser feita a partir da destilação convencional por existir azeótropo com concentração de etanol a 95,6% (massa) a 1 atm, por isso são utilizados métodos alternativos para a desidratação como a destilação azeotrópica com ciclohexano, destilação extrativa com mono etileno glicol (MEG) e por absorção em peneiras moleculares.

2.3 O processo de produção do etanol de segunda geração (E2G)

Para Hamelinck *et al.* (2005 *apud* ARAUJO *et al.*, 2013, p. 46) o etanol de segunda geração passa por quatro etapas: tem início no pré-tratamento da biomassa, em seguida a hidrólise com a produção de açúcares simples, que irá passar para o processo de fermentação e em seguida será separado pelo processo de destilação.

2.3.1 Pré-tratamento, hidrólise, fermentação, destilação

Pré-tratamento – para obterem-se maiores rendimentos de glicose, a lignocelulose

deve passar por um pré-tratamento com o objetivo de aumentar a área superficial dos polímeros, reduzir sua cristalinidade e dissociar o complexo celulose-hemicelulose-lignina. (HAMELINCK *et al.*, 2005 *apud* ARAUJO *et al.*, 2013, p. 46).

Hidrólise – de acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) (2012) a hidrólise tem como objetivo quebrar as macromoléculas da celulose e da hemicelulose, liberando os açúcares, por meio da adição de ácido sulfúrico aos resíduos (hidrólise ácida), ou adição de enzimas/catalisadores orgânicos (hidrólise enzimática).

Fermentação – através da ação de microrganismos como leveduras, fungos, bactérias, que são modificados geneticamente, os açúcares obtidos pelo processo de hidrólise se transformam em etanol (HAMELINCK *et al.*, 2005; BALAT *et al.*, 2008 *apud* CORAL, 2009, p. 31).

Ferreira (2012, p. 34) pontua que:

> Embora o processo de fermentação seja bem conhecido, apenas a fermentação dos açúcares C-6 (hexoses) é bem desenvolvida, sendo que a dos açúcares C-5 (pentose) necessita ainda de avanços e de pesquisas para a obtenção de um método mais eficaz.

Destilação – conforme citado anteriormente, o processo de destilação do E2G é idêntico ao do etanol convencional. Este processo purifica o etanol, tornando-o ao final, pronto para o uso, sendo o etanol celulósico idêntico ao etanol comum (hidratado).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo é uma pesquisa bibliográfica desenvolvida a partir de material publicado ou editado. Segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica se dá por uma investigação em revistas, livros, imprensa escrita, sites e publicações avulsas. Ou seja, em material já publicado sobre o tema pesquisado.

Portanto, o referencial teórico tem o objetivo de produzir informações sobre a produção do etanol celulósico a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar e com isso proporcionar soluções e alternativas que possam ser aplicadas a situações reais. Utilizou-se também de pesquisas exploratória e bibliográfica, com o intuito de coletar dados a partir de referências teóricas já analisadas e publicadas, dando assim um maior embasamento ao artigo.

4 APONTAMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL CELULÓSICO

Nas últimas décadas a emissão de CO_2 na atmosfera vem gerando discussões e preocupações no mundo todo. Os setores de transporte e industrial são uns dos principais agentes emissores, pois utilizam como fonte de energia derivados de petróleo. O etanol é um combustível de fonte renovável, limpo e autossustentável, consegue reduzir aproximadamente 89% dos gases emitidos na atmosfera, quando comparado à gasolina (NOVA CANA, 2013).

Para reduzir a emissão desses gases teríamos que consumir mais energia de fontes renováveis. O Brasil está fazendo a sua parte, segundo os dados publicados em 2016 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), o governo brasileiro assinou o Acordo de Paris, com o objetivo de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável. Para alcançar esses objetivos os governos se envolveram em seus próprios compromissos, a partir das chamadas *Intended Nationally Determined Contributions*[2] (INDC). Por meio das INDCs cada nação apresentou suas contribuições.

O Brasil se comprometeu em reduzir suas emissões de gases do efeito estufa em 37% em 2025 e 43% em 2030, esses valores são comparados com o índice emitido em 2005. Para alcançar essas metas, o governo brasileiro adotará políticas em diversas áreas, dentre elas, aumentar a produção do etanol para 50 bilhões de litros por ano até 2030. Atualmente o Brasil produz anualmente 30 bilhões de litros e para alcançar esse objetivo é necessário aumentar a produção de cana-de-açúcar, investir em pesquisas, tecnologias e aumentar a produtividade.

Quando se trata em aumentar a produção do plantio da cana surgem várias discussões entre pesquisadores e agentes, pois alguns relatam que o aumento do plantio da cana pode vir a prejudicar a produção de outras culturas, como por exemplo, a de grãos e, também, atingir os biomas da Amazônia e do Pantanal. Já outros pesquisadores defendem que o território brasileiro é amplo e capaz de suportar o aumento do plantio da cana sem prejudicar outras culturas.

Diante desse cenário, surge como alternativa a produção do etanol de segunda geração (E2G), que é produzido a partir da biomassa lignocelulósica originária de materiais orgânicos. Toda a palha proveniente da colheita, bem como o excedente de bagaço das usinas podem ser utilizados para a produção do E2G, podendo aumentar a produção de etanol em até 50% utilizando a mesma quantidade de cana-de-açúcar plantada.

Atualmente seis empresas se destacam na produção do E2G no mundo, são elas: Raizen, GranBio, Poet-DSM, DuPont, Abengoa Bioenergy e Beta Renewables.

Mas como toda alternativa tem seus pontos positivos e negativos, o custo da produção

[2] Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas

do E2G ainda não é viável, por ser um processo novo e que exige muita pesquisa para desenvolver as tecnologias necessárias, principalmente o processo de hidrólise enzimática. Todas as empresas produtoras do E2G utilizam a hidrólise enzimática para quebrar e converter a celulose e hemicelulose da matéria-prima no processo de fermentação. Esse método exige enzimas que ainda estão em processo de aperfeiçoamento e, portanto, há necessidade de mais investimento nas áreas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O investimento em P&D proporciona avanços tecnológicos em muitas áreas e quanto maior o investimento, menor será o custo de produção, devido às novas alternativas encontradas pelas pesquisas.

Segundo o site do Senado Federal (2015), quando comparamos o Brasil com outros países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), países da América Latina e do BRICS[3], percebemos que o Brasil fica apenas na frente do México, Chile, Argentina, África do Sul e Rússia em termos de investimento P&D, ficando distante de países como China e Coreia do Sul, nações que iniciaram recentemente o salto para o desenvolvimento industrial. A China tornou-se em 2011 a segunda maior investidora mundial de P&D. As empresas brasileiras aplicam em P&D 0,55% do Produto Interno Bruto (PIB), enquanto o setor privado da Coreia do Sul investe 2,68% e o da China 1,22%.

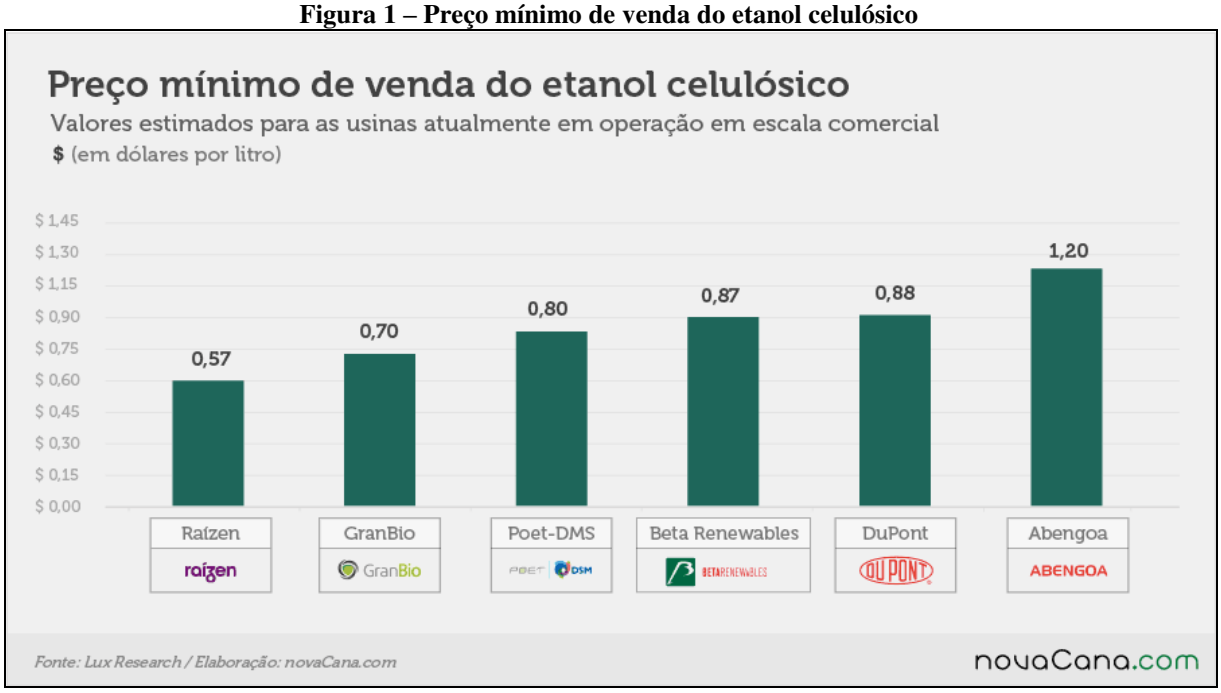
Como já relatado, a pesquisa de novas tecnologias favorece a redução do custo de qualquer tipo de produção, mas apenas isso não basta. O governo, além de incentivar os setores, deve reduzir a taxa tributária que se alastra no país, só assim conseguiremos insumos a preços mais acessíveis. Para a produção do E2G não é diferente, como já relatado a enzima é um dos fatores significativos na produção e representa de 20% a 25% do custo final. O Laboratório Nacional de Ciência Tecnológica do Bioetanol (CTBE) de Campinas/SP é um dos únicos laboratórios do país com pesquisas voltadas para os coquetéis de enzimas e já conseguiram reduzir o custo para US$ 0,10 por litro de etanol produzido. Apesar de todos os empecilhos que elevam o custo para produzir o E2G, pesquisadores têm a perspectiva de que até 2020 o E2G se torne viável, chegando até a ficar com o custo de produção abaixo do E1G.

O Canal Bioenergia (2016) destaca que a atual produção do E1G tem o custo de R$ 1,24 por litro. Em se tratando do etanol celulósico, o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) realizou em 2015 uma pesquisa que mostra que o E2G tem o custo de produção atual em torno de R$ 1,50 por litro e enfatiza ainda que em médio prazo esse valor vai ter uma queda significante ficando em torno de R$ 0,75 por litro.

[3] Grupo BRICS: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

De acordo com estudos da empresa americana de consultoria, a Lux Research, publicado no site Nova Cana (2016), a Raizen possui o menor custo de produção, US$ 0,26 (R$ 0,81) por litro e o preço de venda de US$ 0,57 (R$ 1,78). Na Figura 1 está demonstrado o preço de venda do E2G praticado pelas principais empresas produtoras do etanol.

Figura 1 – Preço mínimo de venda do etanol celulósico



Fonte: Nova Cana (2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste artigo proporcionou conhecer-se o processo produtivo do etanol de primeira e segunda geração, onde foi possível comparar seus custos de produção, analisar suas características próprias, as vantagens e desvantagens de cada produção e entender um pouco mais a respeito do assunto.

Um dos problemas enfrentados atualmente resulta do uso de fontes de energia não renováveis, dispersando na atmosfera grande quantidade de gases poluentes, causando uma série de modificações ambientais. No cenário mundial em que vivemos, percebe-se a grande preocupação com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente, fazendo com que haja a busca por soluções que assegurem uma maior eficiência operacional, através do uso de fontes de energia renováveis, tendo o etanol como alternativa mais barata e limpa. Entretanto, a matéria-prima utilizada para sua obtenção gera discussões, pois o uso sem o devido planejamento pode causar vários transtornos. A cana-de-açúcar vem tomando espaço de

alguns tipos de cultivos, principalmente os de grãos, podendo causar o aumento de valores de alguns gêneros alimentícios. Muitos analistas preocupam-se até com o avanço dos canaviais sob os biomas brasileiros.

Dessa forma o contexto se complica, pois ao mesmo tempo em que há a preocupação com a emissão de gás carbono na atmosfera, também há a preocupação com o aumento do plantio da cana-de-açúcar, visto que o governo brasileiro assinou o Acordo de Paris propondo-se a aumentar a produção do etanol em 66% até o ano de 2030. Atualmente o Brasil produz 30 bilhões de litros por ano de etanol e precisaria aumentar essa produção para 50 bilhões até 2030.

Para aumentar a produção do etanol sem que outras culturas sejam destruídas, propomos um maior investimento por parte do governo na produção do E2G, pois essa produção consegue aumentar em até 50% a produção de etanol utilizando a mesma quantidade de cana-de-açúcar plantada, através do processamento de resíduos agrícolas como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar.

O custo de produção do E1G está próximo do valor de R$ 1,24 por litro produzido e segundo o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) em 2015 a produção do E2G ficou próximo de R$ 1,50 por litro e; a estimativa é que em médio prazo este valor fique em torno de R$ 0,75 por litro.

Pode-se concluir que o E2G se tornará viável e que em um futuro bem próximo se tornará competitivo até com o E1G. Com isso, teremos maior produção por hectare de cana plantada a custo competitivo. Para que o E2G se torne competitivo, fica sob responsabilidade do governo aplicar recursos em P&D para alavancar essa nova produção, que até o momento carece de muitas pesquisas a fim de baratear o custo de produção, além de aumentar os incentivos, tanto na questão de novas políticas para a utilização do E2G como injetar recursos para que as usinas possam aderir a essa nova produção.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). **Árvore do conhecimento:** Agroenergia. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj07rcuq02wyiv802hvm3j2838bue.html>. Acesso em: 21 fev. 2017.

ARAÚJO, C. R. *et al.* **Estudo das rotas de hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos.** 2013. Disponível em: <www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/2815/2043>. Acesso em: 1 nov.

2016.

CANAL BIOENERGIA. **Retrospectiva canal:** cenários da produção de etanol de milho no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.canalbioenergia.com.br/etanol-de-cana-e-de-milho-diferencas-importantes-mas-convergencia-parece-ser-uma-tendencia/>. Acesso em: 16 dez. 2016.

CARTA EDUCAÇÃO. **Entenda o Acordo de Paris.** 2017. Disponível em: < http://www.cartaeducacao.com.br/carta-explica/me-explica/entenda-o-acordo-de-paris/>. Acesso em: 03 maio 2017.

CARVALHO, L. C. *et al.* Cana-de-Açúcar e Álcool Combustível: Histórico, Sustentabilidade e Segurança Energética. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Cientifico Conhecer, Goiânia, v. 9, n.16, p. 530-542, jul. 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/cana-de-acucar.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2016.

CENTRO DE PESQUISA CONJUNTA DA COMISSÃO EUROPEIA. **Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) - CO2 and GHG emissions by country.** 2017. Disponível em: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2andGHG1970-2016&sort=des9>. Acesso em: 23 out. 2017.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). **Etanol de segunda geração tem menor custo.** 2017. Disponível em: <http://cnpem.br/etanol-de-segunda-geracao-tem-menor-custo/>. Acesso em: 25 set. 2017.

CORAL, D. D. S. O. **Indicadores técnicos - econômicos das rotas termoquímica e bioquímica para a obtenção de biocombustíveis utilizando bagaço de cana para as condições brasileiras.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Disponível em: <saturno.unifei.edu.br/bim/0034586.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2016.

DIAS, M. O. S. **Simulação do Processo de Produção de Etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. 2008. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000448321>. Acesso em: 10 jun. 2016.

FERREIRA, L. C. C. **Caracterização do potencial energético entre a produção de etanol celulósico e a cogeração a partir do bagaço de cana.** 2012. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <bdm.unb.br/bitstream/10483/4175/1/2012_LuizClaudioCostaFerreira.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2016.

FRANCISCO, W. C. **Fontes de energia.** 2007. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/fontes-energia-1.htm>. Acesso em: 15 nov. 2016.

INFOPÉDIA. **Crise do petróleo (anos 70 do séc. XX).** 2010. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/$crise-do-petroleo-(anos-70-do-sec.-xx)>. Acesso em: 7 mar. 2017.

LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL (CTBE). **Etanol celulósico deve ser economicamente viável em 2020**. 2015. Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/etanol-celulosico-deve-ser-viavel-2020/>. Acesso em: 06 abr. 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Acordo de Paris**. 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 28 mar. 2017.

NOVA CANA. **A experiência da Raizen com o etanol de segunda geração**. 2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/eventos/a-experiencia-da-raizen-com-o-etanol-de-segunda-geracao-130616/>. Acesso em: 06 abr. 2017.

_____. **Benefícios em suar etanol.** 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/beneficios/>. Acesso em: 29 dez. 2016.

O ECO. **Gases do efeito estufa: Dióxido de carbono (CO2) e metano (CH4)**. 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/>. Acesso em: 4 nov. 2016.

O TEMPO. **Para exportar, Brasil ampliará em 66% a produção de etanol**. 2016. Disponível em: <http://www.otempo.com.br/capa/economia/para-exportar-brasil-ampliar%C3%A1-em-66-a-produ%C3%A7%C3%A3o-de-etanol-1.1289686>. Acesso em: 14 dez. 2016.

PENA, R. F. A. **Fontes não renováveis de energia.** 2014. Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/geografia/fontes-nao-renovaveis-energia.htm>. Acesso em: 23 fev. 2017.

_____. **Fontes renováveis de energia.** 2015. Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>. Acesso em: 23 fev. 2017.

SENADO FEDERAL. **Investimento em pesquisa e desenvolvimento no Brasil e em outros países:** o setor privado. 2015. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/inovacao/ciencia-tecnologia-e-inovacao-no-brasil/investimento-em-pesquisa-e-desenvolvimento-no-brasil-e-em-outros-paises-o-setor-privado.aspx>. Acesso em: 28 mar. 2017.