

Impactos econômicos e ambientais da produção do etanol de segunda geração no Brasil

Esse artigo tem como objetivo apresentar os possíveis impactos, nas esferas econômica e ambiental, resultantes da produção do etanol de segunda geração (E2G) no Brasil. O álcool convencional (E1G) é conhecido por ser uma energia limpa, proveniente de fontes renováveis e que auxilia na diminuição da emissão de carbono. A descoberta da capacidade de aumentar significativamente a sua produção com a utilização de resíduos agrícolas e urbanos e a viabilidade econômica observada nessa descoberta, aumentaram ainda mais a visibilidade desse biocombustível e o seu potencial no auxílio ao meio ambiente e no aumento da oferta global de energia. Dessa forma, se faz necessário entender os possíveis cenários da sua produção no país que é referência mundial na produção de biocombustíveis e no uso de energia limpa.

Palavras-chave: Etanol no Brasil; Etanol de segunda geração; Impactos econômicos; Impactos ambientais.

Economic and environmental impacts of second generation ethanol production in Brazil

This article aims to present the possible impacts, in the economic and environmental spheres, resulting from the production of second generation ethanol (2GE) in Brazil. Conventional alcohol (1GE) is known to be a clean energy, from renewable sources and that helps to reduce carbon emissions. The discovery of the ability to significantly increase its production with the use of agricultural and urban waste and the economic viability observed in this discovery, further increased the visibility of this biofuel and its potential to help the environment and increase the global supply of energy. Thus, it is necessary to understand the possible scenarios of its production in the country that is a world reference in the production of biofuels and in the use of clean energy.


Keywords: Ethanol in Brazil; Second generation ethanol; Economic impacts; Environmental impacts.


Topic: **Engenharia Química**

Received: **10/06/2022**

Approved: **25/09/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Arthur Breno Luiz da Silva 
Centro Universitário Vale do Ipojuca, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/007505044871886>
<https://orcid.org/0000-0002-8013-6965>
arthurbrenolds@gmail.com

Evandro de Souza Queiroz 
Centro Universitário Vale do Ipojuca, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3686272912938558>
<https://orcid.org/0000-0002-2995-8752>
evandro.queiroz@professores.unifavip.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2022.002.0004

Referencing this:

SILVA, A. B. L.; QUEIROZ, E. S.. Impactos econômicos e ambientais da produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Engineering Sciences**, v.10, n.2, p.31-38, 2022. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2022.002.0004>

INTRODUÇÃO

Em uma tentativa de impulsionar o setor açucareiro e de diminuir a dependência da importação de petróleo, o etanol (C₂H₅OH) foi introduzido no Brasil na década de 1920 e representa hoje uma parte significativa e importante da matriz energética do país (LEITE et al, 2008). Produzido majoritariamente a partir da cana-de-açúcar, esse biocombustível possui diversas aplicações e é um forte aliado na busca por opções de energias renováveis.

Segundo LAL (2004), cerca de 82% das emissões dos gases causadores do efeito estufa são oriundos da queima de combustíveis fósseis (não renováveis). Dados como esse tem levado os países ao redor do mundo a priorizar o desenvolvimento de tecnologias que diminuam a dependência desse tipo de material. Atualmente, o etanol se apresenta como o único combustível com capacidade de suprir a demanda mundial por energia com baixo índice de poluição e baixo custo de produção.

Entre os anos de 1970 e 1990, o governo federal do Brasil disponibilizou ferramentas e conduziu ações de fomento ao álcool de forma direta, fazendo com que hoje o etanol brasileiro tenha a vantagem de apresentar uma trajetória estabelecida. O processo tecnológico de sua produção, a partir do caldo resultante da moagem da cana-de-açúcar, é chamado de Etanol de Primeira Geração ou de E1G (ABARCA, 2005).

O Etanol de Segunda Geração (E2G), também conhecido como Etanol Celulósico, é um biocombustível produzido a partir de resíduos agrícolas e urbanos, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. A busca do combustível extraído da celulose está mobilizando um número crescente de pesquisadores ao redor do mundo, estimulados por políticas de pesquisa voltadas para ampliar a produtividade no setor bioenergético (NOGUEIRA et al., 2008).

Calcula-se que o custo de produção do etanol de segunda geração será consideravelmente reduzido até o ano de 2030, a ponto de tornar-se economicamente mais atraente a sua fabricação, em escala industrial, frente ao etanol convencional, deixando-o ainda mais competitivo frente à outras opções de combustíveis do mercado, principalmente àqueles provenientes de fontes não renováveis (MILANEZ et al., 2015).

Maior produtor de cana-de-açúcar do mundo segundo NACHILUK (2021), com base em dados da CONAB, o Brasil possui potencial para ser líder em E2G e ampliar ainda mais a participação das energias renováveis dentro da sua matriz energética. Nesse contexto, esse artigo de revisão tem como objetivos apontar, a partir da análise de estudos prévios sobre o etanol de segunda geração, os principais impactos ambientais e econômicos esperados com a produção em larga escala desse biocombustível no Brasil.

METODOLOGIA

Esse estudo tem por finalidade realizar uma pesquisa de natureza básica. Para alcançar os objetivos propostos e para proporcionar uma melhor apresentação dos estudos realizados, foi utilizada uma abordagem quali-quantitativa. Com intuito de conhecer a problemática sobre a área de estudo, foi realizada uma pesquisa de caráter descritiva, fazendo então uma revisão da literatura disponível.

A pesquisa foi realizada através do estudo de diferentes literaturas, por método de revisão e correlação de dados e análises, entre julho e outubro de 2022. Como plataforma de pesquisa, utilizou-se do Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Science Direct, considerando os seguintes descritores: etanol no Brasil, etanol de segunda geração, etanol celulósico, economia do setor sucroenergético brasileiro, sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro.

O trabalho contou com um acervo de artigos originais, artigos de revisão, dissertações, estudos de casos e livros, sendo eles nos idiomas português e inglês, dos últimos quinze anos, com exceções para materiais mais antigos de grande relevância. A partir do critério de exclusão estabelecido, ocorreu descarte de artigos pagos, artigos de opinião, monografias, teses e materiais com poucas referências bibliográficas.

Para obtenção dos dados necessários, também foram utilizadas informações fornecidas em portais digitais de órgãos de governos estaduais e do governo federal, sendo eles o BNDS, CONAB, EPE e EMBRAPA, além de dados da União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA). Após o período de seleção das literaturas, realizou-se uma triagem para seleção das pesquisas em função do enquadramento do tema. Fez-se correlação de dados entre pesquisas e tratamento de dados para desenvolvimento da discussão teórica.

Impactos ambientais da produção de E2G no Brasil

As preocupações com os impactos negativos da ação humana no meio ambiente são destaque nos debates internacionais acerca do desenvolvimento em todos os setores, principalmente no energético. Consequentemente, a busca por novas fontes de energias renováveis tem se tornado cada vez maior, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias para aumentar a produtividade daquelas fontes já conhecidas.

Nesse contexto, o etanol de segunda geração se mostra bastante promissor no Brasil, principalmente pela quantidade de biomassa, matéria prima desse biocombustível, gerada pelo setor sucroenergético brasileiro. Com a utilização dessa matéria, é possível aumentar significativamente a produção de álcool sem a necessidade de aumentar a área plantada, diminuindo assim os impactos nos solos, o desmatamento para plantio e a necessidade de substituição de outras culturas

Segundo Nogueira (2008), além desse material, o processo de produção do etanol celulósico também pode utilizar de resíduos agrícolas de outras culturas, como o milho, a beterraba e o sorgo, ou até mesmo de resíduos urbanos. A reinserção desses materiais no processo produtivo ajuda na redução de desperdícios, na diminuição de impactos ambientais e na redução da extração de recursos naturais.

A produção em escala industrial do etanol de segunda geração pode ser responsável por aumentar significativamente a oferta interna de energia limpa e por trazer ainda mais competitividade frente aos combustíveis derivados de fontes não renováveis, como a gasolina. Esse cenário é ainda mais favorável quando se leva em consideração a grande quantidade de plantas sucroenergéticas existentes no território nacional.

O Brasil é um dos assinantes do Acordo de Paris, um acordo internacional que estabeleceu metas para a redução de gases do efeito estufa em quantidade suficiente para controlar o aquecimento global. Para

alcançar as metas estabelecidas, o país conta com os combustíveis de origem biológica como grandes aliados. De acordo com Morais et al. (2017), a emissão desses gases do pode ser reduzida em pelo menos 60% ao utilizar etanol como alternativa aos combustíveis fósseis.

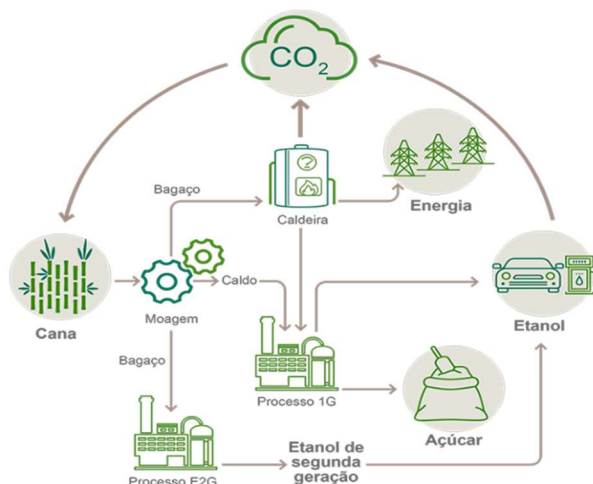


Figura 1: Ciclo de carbono no processo produtivo do etanol 1G e 2G. **Fonte:** Raízen (2016).

Segundo estudo da EPE (2008), ressalta-se que:

A contribuição do uso do etanol na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) é extremamente dependente da fonte de biomassa e das rotas tecnológicas. Diversas pesquisas existentes no mundo sinalizam que o uso do etanol brasileiro, oriundo da cana-de-açúcar, é o que resulta em maior redução de emissões de GEEs.

Estima-se que o E2G pode reduzir os impactos negativos ao meio ambiental em até 90% quando comparado com o E1G. Ele gera impactos ambientais expressivamente menores principalmente quando comparado a seus substitutos de origem fóssil. A produção em larga escala e o uso do E2G podem representar um passo importante na luta contra as mudanças climáticas e outras categorias de impacto ambiental relevantes, como o uso da terra e de recursos fósseis (LUO et al., 2009).

O bagaço, principal resíduo do processamento da cana-de-açúcar e uma das matérias primas do etanol celulósico, pode ser utilizado tanto para a produção do etanol (51%) quanto para a geração de energia (44%), permitindo que as usinas possam se tornar autossuficientes em termos energéticos. Em relação ao consumo de água, a produção do E2G representa apenas 45% do consumo total e o índice de reuso é de aproximadamente 84% (MOREIRA et al., 2014).

Sendo o maior gerador de biomassa para utilização no processo produtivo do bioetanol, o cultivo da cana-de-açúcar se beneficiou de diversos avanços tecnológicos, como a colheita mecanizada, que conseguiu reduzir em pelo menos 65% as emissões de gases do efeito estufa (CH₄ e N₂O) gerados pelas queimadas de canaviais, método utilizado anteriormente para facilitar o processo de colheita manual (GARCIA et al., 2010).

Algumas regiões do Brasil, principalmente no Nordeste, possuem canaviais em regiões muito acidentadas e com planaltos, o que dificulta a utilização de máquinas para a colheita da cana-de-açúcar, fazendo com que os produtores ainda tenham que recorrer às queimadas e ao corte manual. Esse obstáculo pode inviabilizar a produção do E2G nessas áreas, já que a cana-de-açúcar queimada diminui a eficiência produtiva da sua biomassa no processo produtivo da segunda geração.

De acordo com Milanez et al. (2017), a produção do etanol celulósico ajuda também a superar a polêmica de biocombustíveis versus alimentos, pois o combustível produzido através de resíduos agrícolas e urbanos não impossibilita ou diminui a produção de alimentos com a matéria-prima inicial, fazendo com que os recursos naturais sejam mais bem aproveitados e, conseqüentemente, diminuindo a necessidade de maior extração deles.

Impactos econômicos da produção de E2G no Brasil

Com a chegada dos carros flex ao Brasil, no início dos anos 2000, o consumo de biocombustíveis no país aumentou significativamente, suprido principalmente pela produção interna de etanol. Porém, o pouco investimento em novas tecnologias e em novas plantas para o setor sucroenergético fez com que a competitividade caísse de forma brusca com o passar dos anos, tornando a gasolina novamente o principal combustível utilizado.

Historicamente, no Brasil, os produtores de etanol têm recebido apoio governamental de diversas maneiras como, por exemplo, com a criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Esses incentivos facilitam a alocação de recursos financeiros para o desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias nesse setor de produção.

O potencial econômico dessas novas tecnologias é um dos fatores mais importantes para garantir o investimento e os recursos necessários para o desenvolvimento dela. É necessário que exista uma clara viabilidade econômica para que uma ideia avance até que seja realmente implementada no mercado. A partir do recente aumento na procura por fontes renováveis de energia, o E2G mostrou-se bastante promissor.

O etanol é a segunda maior fonte de energia do país, com cerca de 400 unidades produtoras desse biocombustível espalhadas pelo território nacional, segundo Eduardo Leitão de Sousa, diretor executivo da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA). Isso o coloca atrás apenas das hidrelétricas na geração e, conseqüentemente, na oferta interna de energia (AGÊNCIA SENADO, 2017).



Figura 2: Oferta Interna de Energia no Brasil – Ano base 2021.

Como visto na Figura 2, aproximadamente 16% da oferta interna de energia do Brasil está associada a derivados da cana-de-açúcar. Nesse contexto, entende-se que a introdução do etanol de segunda geração na produção industrial em larga escala irá aumentar significativamente a participação dessa categoria na oferta interna, ocupando principalmente o espaço de fontes de energia não renováveis.

Entre suas principais vantagens está a possibilidade de um aumento significativo de produção sem geração de novos custos com expansão de área plantada, despertando grande interesse por parte dos empresários do setor e do governo federal. Segundo dados fornecidos pela EMBRAPA, o rendimento médio da cana-de-açúcar no Brasil foi de 74 toneladas por hectare no ano de 2021. A cada tonelada de cana-de-açúcar processada são gerados, em média, 280 kg de biomassa (SOUZA, 2010).

Levando essas informações em consideração junto a estimativa, de acordo com Pacheco (2011), de que o aproveitamento do bagaço e parte das palhas e pontas da cana-de-açúcar eleve a produção de álcool em 30 a 40%, para uma mesma área plantada, o Brasil tem enorme potencial para aumentar significativamente a utilização desse combustível limpo. Além disso, a produção pode contar ainda com resíduos agrícolas de outras culturas, assim como resíduos urbanos.

O processo de produção do álcool de segunda geração difere do processo de produção do etanol convencional apenas em suas etapas iniciais (pré-tratamento e hidrólise), permitindo aos produtores o aproveitamento de boa parte do que já possuem em suas indústrias para a fabricação desse novo produto. Dessa forma, entende-se que não será necessário a realização de investimentos altíssimos quando a tecnologia esteja em seus estágios finais de desenvolvimento.

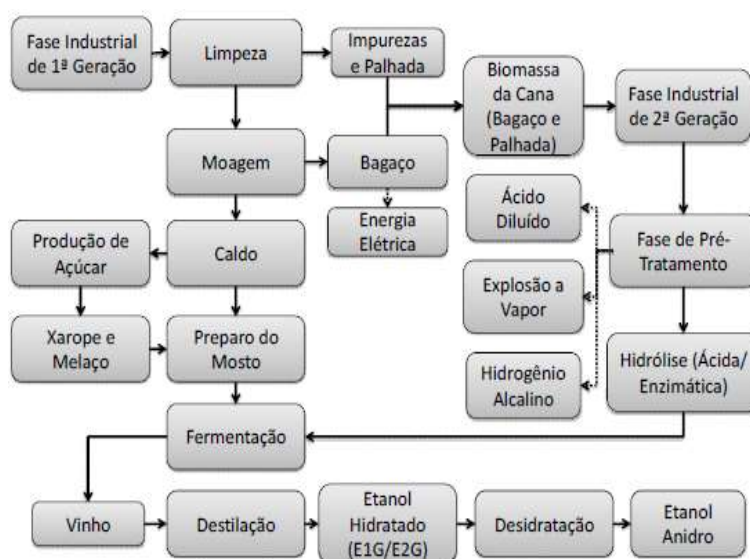


Figura 3: O Etanol de 2ª Geração (E2G) no Ciclo Produtivo Integrado Etanol-Açúcar. **Fonte:** Ansanelli et al. (2017).

A partir das projeções de crescimento e de viabilidade na produção do E2G, novos meios para o aumento da produtividade entram no radar dos produtores e pesquisadores, possibilitando a criação de novas tecnologias, como é o caso da cana-energia. Essa variedade possui maior quantidade de fibras e é capaz de aumentar a produção de etanol por hectare em mais de 250% quando comparado com o álcool produzido pela cana de açúcar, de primeira geração (MORAIS, 2017).

O contexto atual e todas as perspectivas acerca do potencial do etanol celulósico, indicam uma clara viabilidade econômica a médio e longo prazo, visto que é estimado um custo produtivo a níveis competitivos quando confrontado com o custo do etanol de primeira geração. Espera-se que, até o ano de 2030, o etanol

2G chegue a custar R\$0,50 por litro aos produtores, enquanto o etanol 1G deve chegar à faixa de R\$0,75 o litro.

Tabela 1: Perspectiva do custo de produção do bioetanol a longo prazo.

Biocombustível	Preço a médio prazo (R\$/L) entre 2021-2025	Preço a longo prazo (R\$/L) entre 2026-2030	Referência
Etanol 1G	0,80	0,75	Milanez et al. (2015)
Etanol 2G	0,75	0,50	

A redução desse custo produtivo permite que o produto chegue ao mercado com preço mais atrativo ao público consumidor, o que implica em uma maior preferência desse combustível frente a outros do mercado. Nesse cenário, a produção e o consumo em larga escala do bioetanol pode ser responsável por alterar o balanço de oferta interna de energia do país e a dinâmica do mercado.

CONCLUSÕES

As crescentes preocupações como o meio ambiente e com o esgotamento das fontes de energia não renováveis, deixam claro necessidade de investir em novas tecnologias que intensifiquem a utilização das fontes renováveis, visando principalmente a desaceleração da degradação ambiental, o bem-estar social e a viabilidade econômica. A produção do etanol de segunda geração apresenta um futuro promissor para o setor energético brasileiro.

As projeções para a produção em larga escala desse biocombustível mostram também a importância e a necessidade de investimentos em inovações tecnológicas e em novos métodos de aproveitamento das fontes renováveis existentes para a geração de energia, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas e de preservar o meio ambiente. Por esses e outros motivos, essa deve ser uma preocupação tanto da iniciativa privada quanto dos governos.

Ao final desse estudo, é possível identificar que os possíveis impactos econômicos e ambientais acarretados pela produção do Etanol de Segunda Geração no Brasil são, em sua maioria positivos. Entre esses, a previsão de uma significativa redução do custo de produção a médio e longo prazo e de diminuição de impactos negativos ao meio ambiente. Porém, é necessário considerar ainda que existem cenários que não foram explorados e variáveis que podem influenciar nesses impactos, mas que ainda não foram identificadas.

O E2G representa uma grande oportunidade de aumentar significativamente a participação de energias limpas na matriz energética do país, que já é a mais verde do planeta entre os países industrializados (EPE, 2021). Além disso, a partir desse estudo, é possível concluir também que existe clara viabilidade econômica nesse tipo de investimento, mostrando que os benefícios podem alcançar as mais diferentes esferas.

REFERÊNCIAS

ABARCA, C. D. G.. **Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

AGÊNCIA SENADO. **Biocombustíveis reduzem emissão de carbono, dizem participantes de audiência**. 2017.

ANSANELLI, S.; SENNA, P. P.; CAMPOS, D. A. C.; SILVA, G. R.. Sistemas de Inovação Ambiental em Países em Desenvolvimento: uma discussão a partir do desenvolvimento do Etanol de Segunda Geração no Brasil. **Revista Pesquisa & Debate**, São Paulo, v.28, n.1, 2017.

ARAUJO, G. J. F.; NAVARRO, L. F. S.; SANTOS, B. A. S.. O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo. **Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, v.9, n.5, p.01-11, 2013. DOI: <http://doi.org/10.17271/19800827952013492>

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Série Histórica das Safras**. Brasília: 2021.

EPE. Empresa de pesquisa energética. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME, 2022.

EPE. Empresa de pesquisa energética. **Perspectivas para o Etanol no Brasil**. Brasília: MME, 2008.

GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. V.. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.3, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000300003>

LAL, R.. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v.304, n.5677, p.1623-1627, 2004.

LUO, L.; VOET, E. V. D.; HUPPES, G.. An energy analysis of ethanol from cellulosic feedstock—Corn stover. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n.8, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.016>

LUO, L.; VOET, E. V. D.; HUPPES, G.. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, p.1613-1619, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.024>

MILANEZ, A. Y.; MANCUSO, R. V.; GODINHO, R. D.; POPPE, M. K.. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.45, p.285-340, 2017.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A.; JESUS, C. D. F.; WATANABE, M. D. B.; CHAGAS, M. F.; REZENDE, M. C. A. F.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L.; GOUVÊIA, V. L. R.. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.41, p.237-294, 2015.

MORAIS, P. P.; PASCOAL, P. V.; ROCHA, E. S.; MARTINS, E. C. A.. Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v.7, n.1, p.45- 57, 2017.

MOREIRA, R. F.; ALMEIDA, O.; MACHADO, N. T.; RODRIGUES, E.; NETO, A. M. J. C.; CORDEIRO, M. A.; CHAGAS, B. R.; TEIXEIRA, M. L. T.; VEIGA, S. P. R.; TENORO, E. L. G.. Produção de Bioetanol a partir da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20. **Anais**. Florianópolis: 2014.

NACHILUK, K.. Alta na Produção e Exportações de Acúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v.16, n.6, p.1-5, 2021.

NOGUEIRA, L. A. H.; SEABRA, J. E. A.; BEST, G.; LEAL, M. R. L. V.; POPPE, M. K.. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

RAÍZEN. **Relatório Anual 2015/2016**. São Paulo, 2016.

SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. C.. Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar na Matriz Energética Brasileira. In: FARINA, E.; VIEGAS, C.; PEREDA, P.; GARCIA, C.. **Mercado e concorrência do etanol**. São Paulo: UNICA, 2010. p.226-259.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.