

# FONTES ALTERNATIVAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

Priscilla da Abadia Fernandes Coutinho<sup>1</sup>

Cristiene Costa Carneiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmica do curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Goiás

<sup>2</sup> Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Goiás e professora do curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Goiás

## RESUMO

**Introdução:** A Revolução Industrial foi impulsionada pela descoberta do petróleo, o que transformou a produção industrial e tecnológica. No entanto, a crescente demanda por combustíveis fósseis gerou preocupações quanto à sustentabilidade ambiental e à escassez dessas fontes de energia. **Objetivo:** Comparar e mostrar novas fontes alternativas de etanol. **Método:** Este estudo trata-se de uma revisão descritiva da literatura sobre as principais fontes de biomassa alternativas à cana-de-açúcar, quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental. **Resultados e Discussão:** O avanço de tecnologias, como a fermentação de segunda geração e a engenharia genética de microorganismos, tem sido fundamental para aumentar a eficiência da produção de etanol e reduzir os impactos ambientais. Nesse sentido novas alternativas de matérias primas como milho, beterraba, aveia, arroz, cevada, trigo, sorgo e outros, tem sido usada em vários países como matéria prima para a produção de etanol. **Conclusão:** A diversificação das fontes de biomassa é promissora, mas requer investimentos contínuos em pesquisa e políticas públicas que incentivem práticas agrícolas mais sustentáveis. O Brasil possui grande potencial para liderar a produção de etanol sustentável e, assim, contribuir para a redução global de emissões de gases de efeito estufa, consolidando-se como um importante ator no mercado de energias renováveis.

**Palavras-chave:** produção de etanol; biomassa alternativa; bioetanol.

## ABSTRACT

**Introduction:** The Industrial Revolution was driven by the discovery of oil, which transformed industrial and technological production. However, the growing demand for fossil fuels has raised concerns about environmental sustainability and the scarcity of these energy sources. **Objective:** To compare new alternative sources of ethanol. **Method:** This study is a descriptive review of the literature on the main alternative biomass sources to sugarcane, regarding their technical, economic and environmental feasibility. **Results and Discussion:** The advancement

of technologies, such as second-generation fermentation and genetic engineering of microorganisms, has been fundamental to increasing the efficiency of ethanol production and reducing environmental impacts. In this sense, new alternative raw materials such as corn, beet, oats, rice, barley, wheat, sorghum and others, have been used in several countries as raw materials for ethanol production. **Conclusion:** The diversification of biomass sources is promising but requires continuous investment in research and public policies that encourage more sustainable agricultural practices. Brazil has great potential to lead the production of sustainable ethanol and thus contribute to the global reduction of greenhouse gas emissions, consolidating its position as an important player in the renewable energy market.

**Keywords:** ethanol production; alternative biomass; bioethanol.

## 1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial se deu graças em grande parte, à descoberta do petróleo, quando máquinas que até então funcionavam por tração animal ou à vapor, passaram a usar também combustíveis fósseis. Esse novo combustível impulsionou o funcionamento de máquinas, tornando a produção mais eficiente e em maior escala. O impacto do petróleo, porém, não ficou restrito apenas à indústria, mas se estendeu a diversos setores como a medicina, a alimentação, a manufatura, agricultura, os transportes, a indústria bélica e até a produção de utensílios domésticos.<sup>1,2</sup>

O crescimento exponencial do uso do petróleo pressionou as reservas naturais e levou a preocupações sobre a sustentabilidade desse modelo de consumo. A percepção da escassez de petróleo passou a ser vista como uma ameaça ao progresso da humanidade. Nesse contexto, desde a década de 1970, o Brasil tem se destacado pela busca de alternativas aos combustíveis fósseis, com iniciativas como o Proálcool, que marcou a promoção do etanol como uma alternativa viável e sustentável à gasolina.<sup>3</sup>

Desde então, o etanol tem desempenhado um papel importante na matriz energética brasileira, aproveitando a cana-de-açúcar, um recurso abundante e renovável no país. Seu principal benefício está na redução das emissões de gases de efeito estufa em comparação aos combustíveis fósseis, além de diminuir a dependência de importações de petróleo, fortalecendo a segurança energética nacional.<sup>3</sup>

Entretanto, a produção de etanol enfrenta desafios significativos, como o alto consumo de água e terra, além de questões relacionadas à eficiência energética e aos impactos ambientais da agricultura intensiva. Esses pontos continuam sendo foco de discussão e melhoria para garantir a sustentabilidade do setor.<sup>3</sup>

Nos últimos anos a pesquisa e o desenvolvimento têm se voltado para diversificar as fontes de biomassa para a produção de etanol visando a sustentabilidade e a eficiência econômica. Além da cana-de-açúcar, outras matérias-primas têm sido exploradas, como o milho, a celulose de resíduos agrícolas e até mesmo algas. Cada uma dessas fontes apresentam vantagens e desafios específicos, o que exige uma análise detalhada de suas características e impactos ambientais <sup>4</sup>.

O Brasil tem um grande potencial para se tornar líder global na redução das emissões de gases de efeito estufa por meio do mercado de créditos de carbono. Esse mercado permite que empresas e países compensem suas emissões financiando projetos de redução, ou captura de carbono, como reflorestamento ou uso de energias renováveis. Dada a rica biodiversidade e os vastos recursos naturais do Brasil, há uma oportunidade única de monetizar iniciativas sustentáveis, promovendo o desenvolvimento econômico com baixo impacto ambiental. Portanto, para que o Brasil realmente lidere a agenda global de sustentabilidade é essencial que o desenvolvimento do etanol e de outras energias renováveis seja acompanhado por políticas que minimizem seus impactos ambientais e sociais. Um modelo de produção que combine eficiência com respeito aos ecossistemas<sup>4,5</sup>.

Além da cana-de-açúcar a utilização de resíduos como substratos podem também gerar etanol ( $C_2H_5OH$  ou  $C_2H_6O$ ), chamado nesse caso de etanol de segunda geração. Não sendo encontrado em sua forma pura na natureza, o álcool é produzido através da fermentação alcoólica de vegetais como cana-de-açúcar, beterraba, milho e celulose de resíduos agrícolas e até mesmo algas<sup>5</sup>.

O avanço tecnológico também tem desempenhado um papel fundamental na evolução dos processos de produção de etanol. Tecnologias de fermentação avançadas e a engenharia genética de microorganismos têm possibilitado a produção de etanol de segunda geração, que utiliza resíduos e materiais lignocelulósicos, reduzindo a competição com alimentos e diminuindo o impacto ambiental da produção e podendo ser cultivado durante a entressafra da cana-de-açúcar, aumentando a produção de etanol sem competir com a cana<sup>6,7</sup>.

Este trabalho teve como objetivo abordar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais da produção de etanol a partir de diversas fontes, explorando as inovações recentes e as perspectivas futuras para esse biocombustível. Trata-se de uma revisão descritiva da literatura atual com discussão das melhores práticas e tendências emergentes na produção e uso de etanol como combustível.

## **2 METODOLOGIA**

Este estudo baseou-se em uma revisão descritiva da literatura com o intuito de buscar novas fontes alternativas para a produção de etanol excluindo a cana-de-açúcar. Nele foram identificados, analisados e sintetizados os dados disponíveis sobre diferentes fontes de biomassa e suas eficiências na produção de etanol. Os Critérios de Inclusão foram artigos científicos originais e de revisão publicados em revistas e jornais nacionais e internacionais, que abordavam assuntos relacionados ao tema proposto nesse estudo. Foram excluídos artigos que não se enquadraram nos critérios de inclusão. A pesquisa foi conduzida em bases de dados acadêmicas como PubMed, Scopus, Web of Science e Google acadêmico, Lilacs e BVS. As palavras-chave utilizadas incluíram: produção de etanol, Biomassa alternativa, bioetanol e resíduos agrícolas. Foram aplicados filtros para artigos publicados nos últimos 10 anos (2014 a 2024) e que estivessem disponíveis em inglês e português. Os títulos e resumos foram inicialmente triados para relevância. Artigos relevantes foram avaliados em sua totalidade. Estudos duplicados ou que não atendiam aos critérios foram descartados.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O Brasil destaca-se como líder mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, uma fonte renovável amplamente utilizada no país. Essa cultura desempenha um papel central na matriz energética brasileira, complementada por outras matérias-primas, como soja e resíduos da produção animal, que contribuem para a produção de biodiesel e bioeletricidade. Além disso, pesquisas estão sendo realizadas em torno de novas fontes de etanol, como batata-doce, beterraba e mandioca, ampliando as possibilidades de diversificação do setor energético<sup>8</sup>

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado em 1975, impulsionou o Brasil a se tornar um pioneiro na produção de biocombustíveis, especialmente com o uso de cana-de-açúcar para a produção de etanol. Nos Estados Unidos, o etanol é produzido principalmente a partir do milho, que é menos eficiente em comparação com a cana-de-açúcar. Hoje, cerca de 95% da produção mundial de etanol provém dessas duas culturas, com o Brasil sendo o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar, atingindo aproximadamente 27 bilhões de litros na safra de 2010 e 2011<sup>12</sup>. O processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar envolve várias etapas, desde a lavagem da matéria-prima até a fermentação. Após a extração do caldo da cana, ele passa por processos de decantação e esterilização antes de ser fermentado com leveduras, que transformam o açúcar em etanol e gás carbônico. O bagaço resultante do processo de moagem é utilizado para gerar energia nas próprias usinas, evidenciando a eficiência e sustentabilidade da produção de biocombustíveis no Brasil<sup>12</sup>.

Como foi mencionado, a produção de etanol pode ser realizada a partir de várias matérias-primas, como cana-de-açúcar, beterraba, mandioca, milho e sorgo. Embora o processo de obtenção seja semelhante em alguns aspectos, ele apresenta variações importantes devido às características químicas e físicas de cada uma dessas plantas. Apesar das diferenças entre as matérias-primas, todas elas têm algo em comum, contêm carboidratos que podem ser fermentados para gerar etanol. O processo básico de produção envolve três etapas principais, primeiro ocorre a extração dos carboidratos, quer sejam açúcares fermentáveis ou amidos. Em seguida, esses carboidratos passam por um processo de fermentação, no qual microorganismos, principalmente leveduras como a *Saccharomyces cerevisiae*, os transformam em etanol e gás carbônico. Por fim, o etanol é separado do restante da mistura líquida através da destilação.<sup>13</sup>

A Cana de açúcar e beterraba são naturalmente ricas em sacarose, um tipo de açúcar que pode ser fermentado diretamente após a extração, geralmente realizada por moagem ou prensagem. Isso simplifica bastante o processo, pois o açúcar já está disponível para a fermentação sem a necessidade de etapas adicionais.<sup>13,14</sup>

Ao contrário da cana e da beterraba, que são ricos em amido o milho, a mandioca e o sorgo não podem ser fermentados diretamente. Antes da fermentação, o amido precisa ser convertido em açúcares simples, como a glicose, por meio de um processo chamado hidrólise, que utiliza enzimas específicas, como as amilases. Essa conversão representa uma etapa adicional em relação à produção a partir de fontes ricas em açúcar, como a cana-de-açúcar.<sup>13</sup>

O rendimento de etanol depende bastante da matéria-prima utilizada. A cana-de-açúcar, por exemplo, tende a ser mais eficiente em termos de produção por hectare quando comparada a fontes como o milho ou a mandioca, devido à sua maior concentração de açúcares fermentáveis. Já no caso das plantas ricas em amido, como o milho, o processo de conversão do amido em açúcar requer mais energia e a utilização de enzimas, o que pode reduzir a eficiência geral da produção.<sup>13,14</sup>

## **Beterraba**

A beterraba é uma hortaliça pertencente à família *Chenopodiaceae* uma planta originária da Europa, norte da África e oeste da Ásia, e cresce bem em climas moderados, com temperaturas entre 15°C e 18°C. No Brasil, é cultivada principalmente em São Paulo, Minas Gerais e na região sul do país. Além de ser nutritiva, a beterraba tem usos importantes na indústria, como na produção de etanol, especialmente na Europa.

A produção de etanol a partir da beterraba é muito semelhante ao processo da cana-de-açúcar, porque em ambos os casos o etanol é extraído da sacarose. As etapas principais

envolvem a preparação da beterraba, esterilização do caldo fermentado, fermentação, destilação e se necessário, a desidratação para produzir etanol anidro (aquele sem água, mais puro). Para que a beterraba cresça bem, o solo precisa ser profundo bem drenado e rico em matéria orgânica, ou seja, com muitos nutrientes. Outro ponto importante é que a beterraba é sensível à acidez do solo. Para se desenvolver de forma saudável o solo deve ter um pH entre 6 e 7, o que significa que não pode ser nem muito ácido nem muito alcalino.<sup>15</sup>

Na Europa, a beterraba é uma importante fonte de açúcar, contribuindo com cerca de 30% da produção mundial. Em 2008, a União Europeia (UE) produziu mais de 101 milhões de toneladas de beterraba<sup>15</sup>. A alta produção é favorecida pelo fato de a cultura se adaptar bem ao clima temperado europeu. A França é o maior produtor com 29 milhões de toneladas, seguida pela Alemanha e os Estados Unidos, ambos com 25 milhões de toneladas, e a Rússia, com 22 milhões de toneladas. Os outros principais produtores de beterraba em 2005 também foram todos países europeus<sup>15</sup>.

### **Batata-doce**

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma planta que pertence à família das convolvuláceas. Ela é originária da América Central e do Sul, sendo encontrada desde a Península de Yucatán, no México, até a Colômbia. No Brasil a batata-doce é muito consumida e apreciada porque é fácil de cultivar. Ela se adapta bem a diferentes tipos de solo e clima, é resistente à seca e tem um custo de produção baixo. Por isso, é uma excelente opção para pequenos agricultores e é bastante cultivada em pequenas propriedades familiares, o que ajuda a sustentar muitas comunidades rurais.<sup>16</sup>

É uma planta de uso múltiplo, em que todas as partes são aproveitáveis, além de seu uso na alimentação humana e animal, pode-se constituir importante alternativa para a produção de biocombustível (álcool). Embora seja pouco utilizada para essa última finalidade, a espécie apresenta grande potencial para produção de etanol.<sup>17</sup>

A produção de etanol a partir de matérias-primas como a batata-doce segue um processo industrial com várias etapas, incluindo a moagem, hidratação, fermentação e destilação. Nos Estados Unidos, o milho é bastante utilizado para esse fim, embora apresente algumas limitações, como menor adaptação climática e concorrência com a produção de alimentos. Apesar de ser popular na produção de biocombustíveis, o milho levanta questões sobre sua sustentabilidade. Por isso, a batata-doce surge como uma alternativa interessante, oferecendo maior rendimento energético e menos impacto na cadeia alimentar.<sup>17</sup>

A batata-doce se destaca como uma boa alternativa para a produção de etanol, graças a várias características favoráveis. Ela se adapta bem a solos de baixa fertilidade e é resistente a pragas e doenças. Outro ponto positivo é que seu ciclo de cultivo é relativamente curto, com colheitas que acontecem em cerca de 4 a 6 meses. Esses fatores tornam a batata-doce uma opção interessante para a produção de biocombustíveis, ajudando os agricultores <sup>17</sup>.

Na China, a batata-doce é uma cultura muito importante para a fermentação do bioetanol, sendo responsável por cerca de 85% da produção mundial dessa raiz. Isso mostra que a batata-doce não serve apenas como alimento, mas também como uma fonte valiosa de etanol, contribuindo para diversificar as fontes de biocombustíveis e promovendo a sustentabilidade energética. <sup>18</sup>

O processo de produção de etanol a partir do amido da batata-doce na China está em constante desenvolvimento. Um dos principais motivos para isso é que o país possui a maior área de plantação de batata-doce do mundo, com colheitas geralmente programadas para o mês de outono. Além disso, o número de clientes locais que consomem esse produto está crescendo a cada ano, o que impulsiona ainda mais o interesse e a viabilidade do etanol de batata-doce como fonte de biocombustível. Essa tendência não apenas fortalece a economia agrícola local, mas também contribui para a busca por alternativas sustentáveis de energia no país. <sup>18</sup>

## **Mandioca**

No Brasil, a mandioca foi vista como matéria-prima para a produção de álcool em dois períodos: de 1932 a 1945 e de 1970 a 1980. No entanto, após esses períodos, o uso da mandioca para essa finalidade não teve seguimento. Atualmente, a produção de álcool a partir da mandioca é considerada inviável, especialmente em comparação ao processo de produção a partir da cana-de-açúcar, que também permite um uso eficiente do bagaço gerado. Todavia, a possibilidade de se produzir álcool refinado a partir de mandioca despertando o interesse de algumas indústrias. Isso se deve ao fato de que o álcool refinado apresenta um valor de mercado maior do que o álcool carburante, tornando essa alternativa mais atraente para os produtores. Assim, embora a mandioca não seja mais uma opção viável para a produção de álcool carburante, sua utilização para gerar álcool refinado pode oferecer novas oportunidades no mercado. <sup>18,19</sup>

Há crescente necessidade de ampliar de modo sustentável o uso de fontes renováveis de energia, para proporcionar maior segurança ao suprimento energético e reduzir os impactos ambientais associados. Os primeiros trabalhos sobre produção de etanol a partir da mandioca foram publicados no Brasil na década de 40. Até este período, encontravam-se experiências e

estudos isolados. Já um estudo mais técnico, comparou as produções de etanol a partir da cana de açúcar, preconizando esta última à necessidade de um maior desenvolvimento de tecnologia para tornar-se competitiva.<sup>19</sup>

Na década de 80, aumentou consideravelmente a quantidade de estudos visando um melhor conhecimento do processo para produção de etanol a partir de mandioca, e um aprimoramento tecnológico que viabilizasse a sua aplicação.<sup>19</sup> Apesar destes estudos, o número de instalações industriais foi muito influenciado por questões políticas. No entanto, ao final desta década a maioria das usinas instaladas encontrava-se inoperantes ou dedicadas à produção de álcool de amiláceos em pequena escala e para fins farmacêuticos, devido à falta de catalisadores baratos o que acarretava alto custo de produção<sup>20</sup>.

Existem fatores que têm dificultado o uso da mandioca para a produção de etanol: a baixa produtividade agrícola e o alto consumo de energia necessário para a hidrólise do amido no preparo do mosto. Na China, o governo vê o etanol de mandioca como uma alternativa energética segura e renovável, além de não poluente. A mandioca é um recurso abundante no país, que importa cerca de 25% do petróleo que consome. Com a expectativa de que esse número aumente para mais de 50% em 2025, o governo está incentivando a produção de etanol a partir da mandioca como uma solução energética. Em termos químicos, o álcool etílico hidratado produzido de diferentes matérias-primas, como cana-de-açúcar, cereais, beterraba e mandioca, não tem diferenças significativas. As variações ocorrem principalmente nas impurezas que cada tipo de matéria-prima pode trazer e no nível de purificação do produto final.<sup>20</sup>

## **Sorgo**

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) surge como uma promissora cultura energética industrial. Ele tem a capacidade de ser cultivado em regiões de clima temperado e tropical, o que o torna uma opção altamente versátil. Sua principal vantagem em relação a outras culturas é a sua baixa demanda por água e fertilizantes, fatores que são críticos em tempos de mudanças climáticas. Além disso, o sorgo tem ampla adaptabilidade ao solo e clima, sendo resistente a condições adversas, o que o torna uma alternativa atraente para países que não possuem as condições ideais para o cultivo de milho ou cana. Outro ponto de destaque é o curto ciclo de crescimento do sorgo, que varia de 3 a 4 meses, permitindo múltiplas colheitas por ano em regiões apropriadas. Isso aumenta a produtividade anual da planta e a viabilidade econômica da sua utilização como matéria-prima para a produção de bioetanol.<sup>21,22</sup>

O sorgo sacarino é uma alternativa promissora para a produção de etanol, pois ajuda a diversificar as fontes de biomassa e reduz a pressão sobre culturas alimentares. Ele é eficiente na conversão de biomassa em energia, apresentando alto teor de açúcares fermentáveis em seu suco, o que facilita a fermentação. O sorgo pode render entre 2000 e 3000 toneladas de biomassa seca por quilômetro quadrado, e sua capacidade de produção de etanol pode alcançar até 610.000 litros por quilômetro quadrado, superando a do milho.<sup>22</sup>

A qualidade da matéria-prima é fundamental, especialmente no que diz respeito aos açúcares. O sorgo pode ter de 15% a 21% de açúcares solúveis, mas sua composição, com maior quantidade de glicose e frutose, o torna mais adequado para a produção de etanol do que de açúcar. Contudo, essa maior quantidade de glicose também aumenta o risco de contaminação por bactérias, exigindo cuidado durante a fermentação.<sup>22</sup>

### **Etanol de Segunda Geração no Brasil**

O etanol de segunda geração é um tipo de biocombustível que se destaca por ser produzido a partir de resíduos e materiais que não são destinados à alimentação, como o bagaço da cana-de-açúcar e a palha de milho. Isso o torna diferente do etanol de primeira geração, que é feito de culturas alimentares. De acordo com os estudos as matérias-primas para o bioetanol podem ser divididas em três categorias: açúcares (como cana-de-açúcar e beterraba), amiláceas (como milho e mandioca) e celulósicas (como madeira e palha).<sup>23</sup>

A produção de bioetanol pode ser dividida em dois tipos principais: a de primeira geração, que usa matérias-primas fermentáveis ou grãos (necessitando converter amido em açúcar), e a de segunda geração, que utiliza resíduos lignocelulósicos para criar etanol por métodos químicos ou bioquímicos. A segunda geração é mais sustentável e eficiente no uso de recursos, pois aproveita materiais descartados e reduz o impacto ambiental. Além disso, o uso de resíduos agroindustriais, como palhas e restos de madeira, ajuda a evitar a poluição e a competição com a produção de alimentos, embora ainda existem desafios econômicos no processo.<sup>24</sup>

### **Palha e bagaço da cana-de-açúcar, palha de trigo e palha de arroz**

A palha e o bagaço da cana-de-açúcar têm um papel importante na produção de etanol no Brasil. Para cada tonelada de cana, são gerados cerca de 140 kg de cada um desses resíduos. A palha, que possui uma composição parecida com o bagaço, representa cerca de um terço da energia da cana, mas seu uso ainda é limitado, sendo frequentemente queimada, o que libera

gases prejudiciais ao meio ambiente. A colheita mecanizada, que deixa a palha no solo, está se tornando mais comum, pois ajuda na qualidade do solo. <sup>23,24</sup>

Entretanto, alguns estudos apontam que esse método pode liberar mais óxido nitroso, levantando dúvidas sobre o melhor modo de manejar esses resíduos para minimizar os impactos ambientais e otimizar a produção de biocombustíveis. <sup>24</sup> O bagaço de cana, que sobra após a extração do caldo da cana-de-açúcar, é amplamente produzido no Brasil e tem várias utilidades, como a geração de energia elétrica e a produção de etanol de segunda geração. Isso não só ajuda a evitar o desperdício, mas também torna o processo mais sustentável. <sup>24</sup>

A palha de trigo, por sua vez, é uma boa opção para a produção de biocombustíveis, além de ser utilizada na fabricação de papel e na bioenergia. Deixar a palha no solo também melhora a qualidade da terra e ajuda na retenção de umidade. Já a palha de arroz, gerada no beneficiamento do grão, tem aplicações que vão desde a remoção de metais pesados da água até o uso como substrato na agricultura. O pseudocaule da bananeira é outra fonte potencial, sendo explorado para a produção de papel e etanol. Esses resíduos agrícolas são exemplos de como o reaproveitamento pode transformar o que seria descartado em recursos úteis, contribuindo para práticas mais sustentáveis. <sup>23</sup>

A engenharia genética veio sendo usada para melhorar organismos, como leveduras, para que realizem tarefas específicas de forma mais eficiente. No caso da produção de etanol de segunda geração (2G), cientistas modificam o DNA das leveduras para que elas consigam transformar a **xilose**, um açúcar presente em resíduos como o bagaço de cana, em etanol. Essa tecnologia é importante porque aproveita resíduos agrícolas, tornando a produção de etanol mais sustentável e eficiente. Além disso, ajuda a reduzir o uso de combustíveis fósseis, contribuindo para o combate ao aquecimento global.

#### **4 CONCLUSÃO**

A diversificação das fontes de biomassa para a produção de etanol é uma abordagem eficaz para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar impactos ambientais. Os avanços em tecnologias como a fermentação de segunda geração e a engenharia genética, têm melhorado a eficiência na produção de etanol. O uso de matérias-primas alternativas, como milho e sorgo, também vem sendo bem-sucedido em diferentes países. Para que esse potencial se concretize é essencial investir em pesquisa e implementar políticas públicas que incentivem práticas agrícolas sustentáveis. O Brasil tem um grande potencial para se tornar líder global na redução das emissões de gases de efeito estufa.

## 5 REFERÊNCIAS

- 1 LIMA, E. C.; NETO, C. R., O. **Revolução Industrial: considerações sobre pioneirismo Industrial inglês.** Revista Espaço Acadêmico, n. 194, julho, 2017.p.30-32
- 2 SOUSA, Rafaela. **"Segunda Revolução Industrial" Brasil Escola.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>. Acesso em 03 de setembro de 2024
3. RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. **A agroindústria sucroalcooleira e o Proálcool.** In: A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental [online]. Uberlândia: EDUFU, 2020, p. 151-194. ISBN: 978-65-86084-00-9. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/EDUFU/978-65-86084-00-9>.
- 4 GONÇALVES, F. O. **Análise da produção de etanol visando soluções para melhorar a eficiência econômica e ambiental.** Tese de mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas/MG 2020.p.11-18.  
<https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1728>
- 5 ABDALA, T. O. **Análise comparativa dos processos de produção de etanol anidro.** Monografia curso de graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia. 2017. p.11-13
- 6 FERREIRA FILHO, B.S., HORRIDGE J. M. **Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil.** Centre of Policy Studies (CoPS), 2011.
- 7 LEITE, R. C. C. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2009.p. 29-34.Disponível <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5211>.
- 8 BRUNO ROSSI L. **O etanol de segunda geração no Brasil.** Artigo original Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos – SP, Brasil. 23 Set 2019 publicado [Etanolde2geraoatualproduoeperspectivas2017 \(1\).pdf](#)

**9 MDIC, Ministério Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, “Álcool combustível”.** Disponível em <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=999>. Acessado em 1 agosto de 2014.

**10 PENA, R. F. A. Produção de etanol no Brasil.** 2017. Disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/geografia/producao-etanol-no-brasil.html>. Acesso em: 03 Nov.2017

**11 NASTARI, P.M., “Biocombustíveis: Produção Sustentável”,** Revista Agro Analysis, Disponível em [http://www.agroanalysis.com.br/materia\\_detalhe.php?idMateria=1088](http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=1088). Acessado em 05 julho de 2012.

**12 Targino A. F. Pedro M. G. J. Emília F. L. Produção de etano a partir da cana de açúcar** UAB-UFSCar Universidade Federal de São Carlos Rodovia Washington Luís, km 235 13565-905 - São Carlos, SP, Brasi Acesso em: 11 abr. 2011  
[TS Claudio ProducaoEtanol.pdf \(ufscar.br\)](#)

**13 OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J.C.V.; MAGALHÃES, K. B. Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol.** Revista eletrônica do curso de Geografia – Campos Jatai – UFG. Nº 19. 2012.p. 3-20. DOI:10.5216/revgeoamb.v•0i19.26058

**14 MARTINS, Rhodiney Vaz1 ETANOL DE BETERRABA .** Revista científica do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do ABC [https://uniesp.edu.br/sites/\\_biblioteca/revistas/20170531134652.pdf](https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170531134652.pdf)

**15 El BASSAM, N., 2010, Handbook of Bioenergy Crops – A Complete Reference to Species, Development and Applications, Reino Unido: Earthscan**  
FUSER, IGOR. Energia e Relações Internacionais, São Paulo : Saraiva, 2013

**16 MÁRCIA V, ELISA S , LUIS ANTONIO S Mineral composition of sweet potato genotypes with coloured pulps and their consumption** Received: Dec. 01, 2016; Accepted: Aug. 29, 2017 [1981-6723-bjft-21-e2016175 \(1\).pdf](#)

**17 SILVEIRA, M. A. (2008). A cultura de batata-doce como fonte de matéria prima para etanol.** (Boletim Técnico - UFT). 38p.

**18 ZHANG, L. ZHAO, H. GAN, M. JIN, Y. GAO, X. CHEN, Q. GUAN, J. E WANG, Z. Application of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from viscosity reducing of raw sweet potato for bioethanol production at laboratory, pilot and industrial scales.** Bioresource Technology. Volume 102, número 6, Pág. 4573-4579, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852411000083>.

**19 LEONEL, M. CABELLO, C. Hidrólise enzimática do farelo de mandioca: glicose e álcool.** In: CEREDA, M.P. (Coord.). Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v. 4, cap. 22, p. 280-290. (Série Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas)

**20 PAULO EICHLER FERNANDO S. MARCILIO T. Produção do biometanol via gaseificação de biomassa lignocelulóstica** Revisão. Quím. Nova 38 (06). Jul 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/xjXZS9LJSCPn6Z9P5q3NP8P/>.

**21 DIONES A. S, FERNANDA P. CLAUDIO C. RICARDO A. D. K. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (Manihot esculenta Crantz).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Volume: 14, Número: 4, Publicado: 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FkzVsMcZ6qHtMMcZZY6rZCv/>.

**22 CYRO G. T. JOSÉ G. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria.** Food Science and Technology, Volume: 17, Número:3, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/LRJTX4mMgzFzV7wXSGgfB3g/>.

**23 BRUNO R. L. THALES H. N. O etanol de segunda geração no Brasil: POLÍTICAS E REDES SOCIOTÉCNICAS.** Revista Brasileira de Ciências Sociais, Volume: 34, Número: 100, Publicado: 2019.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/j5wbmgNHJcNh8YDM7L98Gzx/>.

**24 24 MORAIS, P. Etanol de 2 geração: atual produção e perspectiva.** Bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p.4557, 2017. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/229/141>

**25.Leandro V. S. ENGENHARIA GENÉTICA RACIONAL**  
<https://pages.cnpem.br/pibic/wp-content/uploads/sites/52/2016/05/ENGENHARIA-GENÉTICA-RACIONAL-DE-Saccharomyces-cerevisiae-VISANDO-A-PRODUÇÃO-DE-ETANOL-DE-SEGUNDA-GERAÇÃO.pdf>