

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL OBTIDO A PARTIR DO MILHO (*Zea mays*) E DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum sp.*)

Dandara Chayene Alves Moreira¹
Queren Hapuq Vieira Mauá²
Prof. Osvaldino Brandão Junior³

RESUMO

Após o ano de 2015 o mercado flexibilizou o comércio da gasolina, o que impulsionou o aumento do consumo e conseqüentemente do preço do etanol. Com essa mudança na demanda surgiram no Brasil as chamadas usinas flex que permitem a produção de etanol produzido tanto pela cana-de-açúcar quanto pelo milho. As mudanças que ocorreram principalmente no Centro-Oeste brasileiro levantam o questionamento da viabilidade econômica da produção do etanol produzido através do milho. O objetivo deste artigo é apresentar suporte teórico para realizar análise comparativa da produção de etanol do milho e da cana-de-açúcar. Assim, serão apresentados medida paliativa para o futuro da energia em relação à dependência mundial do uso dos combustíveis fósseis e não renováveis como também a análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de suas produções. Conclui-se por meio deste estudo teórico que, embora o etanol a partir do milho seja de grande importância em relação às questões ambientais, ainda é necessário maiores investimentos nesta área para que se alcance a viabilidade econômica. Porém, é notável que a produção de etanol através do milho de forma combinada, chamadas usinas flex, seja a melhor opção em relação à cana-de-açúcar cuja produção não se dá durante o ano todo devido, pois existem etapas como: o tempo de plantio, a maturação e a colheita, enquanto o milho consegue abastecer as fábricas por todo período do ano.

Palavras-Chaves: biocombustível; milho; usinas *flex*; viabilidade.

SUMMARY

After 2015, the market made the sale of gasoline more flexible, which boosted consumption and, consequently, the price of ethanol. With this change in demand, so-called flex plants emerged in Brazil, allowing the production of ethanol produced by both sugar cane and corn. The changes that occurred mainly in the Brazilian Center-West raise the question of the economic viability of producing ethanol produced through corn. The objective of this article is to present theoretical support to carry out a comparative analysis of ethanol production from corn and sugar cane. Thus, a palliative measure for the future of energy will be presented in relation to the world's dependence on the use of fossil and non-renewable fuels, as well as an analysis of the technical, economic and environmental viability of their production. It is concluded through this theoretical study that, although ethanol from corn is of great importance in relation to environmental issues, greater investments are still necessary in this area to achieve economic viability. However, it is notable that the production of ethanol through corn in a combined way, called flex plants, is the best option in relation to sugar cane, whose production does not take place throughout the year, as there are stages such as: time planting, maturation and harvesting, while corn can supply the factories throughout the year.

Keywords: biofuel; corn; flex plants; feasibility.

¹ Dandara Chayene Alves Moreira- Biocombustíveis- dandara.moreira@fatec.sp.com.br:

² Queren Hapuq Vieira Mauá- Biocombustíveis- queren.maua@fatec.sp.com.br:

³ Prof. Osvaldino Brandão Junior- Biocombustíveis – osvaldino.junior@fatec.sp.com.br

INTRODUÇÃO

Com a Revolução Industrial que ocorreu no século XVIII, passou-se a utilizar em grande escala os combustíveis fósseis, inicialmente o carvão e em seguida o petróleo, o que atualmente tem causado uma preocupação pelo ponto de vista ambiental.

A crescente discussão sobre o meio ambiente gerou questionamentos por parte da população sobre as opções de energias alternativas e consequentemente nas fontes de energias limpas e renováveis, que são classificadas desta forma devido a pouca ou nenhuma emissão de gases que contribuem para mudanças climáticas além de estarem em constante renovação, o que nos permite ter uma fonte inesgotável de energia.

Entre os tipos de energias renováveis estão: a energia solar, eólica, hídrica, os biocombustíveis, entre outros. Inclui-se como biocombustível o etanol que é obtido a partir de vegetais como a cana-de-açúcar e o milho.

A cana-de-açúcar foi trazida ao Brasil pelos portugueses por volta de 1520 e se tornou um item importante para a colocação do país no comércio internacional. (Furtado, 2003). Inicialmente usada para a produção de açúcar devido à grande demanda mundial e o valor de mercado.

No início do século XX alguns países como a Alemanha, África do Sul, França, Inglaterra e Holanda, já eram destaques pelo desenvolvimento de motores de queima a partir do etanol. No ano de 1925, Henry Ford citou ao Jornal *The New York Times* o álcool como o “combustível do futuro”.

No Brasil na década de 1920 após crítica a dependência do país em relação a importação da gasolina, o então presidente, Epitácio Pessoa, sugeriu substituí-la pelo álcool, indicando assim, a possibilidade do crescimento favorável da indústria canavieira (Marcolin, 2008 *apud* BARBOSA *et al.*, 2016). Apesar do comentário presidencial, foi apenas em 1970, com a criação do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), que houve um forte investimento por parte tanto do Governo Federal quanto do setor privado no segmento, e consequentemente melhorou e desenvolveu toda a cadeia de produção, além de serem traçados projetos de médio e longo prazos, o que contribuiu para uma produção mais eficiente.

De acordo com Vidal (2020) a obtenção de etanol no Brasil é predominantemente através da cana-de-açúcar. Os maiores produtores de etanol tanto da cana-de-açúcar como do milho se concentram na região sudeste e centro-oeste, que juntos corresponderam a 90% da produção nos anos de 2019/20.

O milho tem sua origem no México, sendo uma planta pertencente à família Poaceae da espécie *Zea mays L.*, é uma cultura preferencialmente cultivada em locais de clima temperado. (Santos, 2018).

Pela primeira vez, em 2012, na usina Usimat, na cidade de Campos de Júlio, produziu na entressafra da cana-de-açúcar, o etanol de milho. Em 2017 foi inaugurada a usina FS Bioenergia sendo a primeira usina com produção exclusiva a partir do milho. De acordo com a Forbes (2023) no Brasil existiam 20 usinas de etanol de milho em operação.

Segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) a estimativa para a safra de 2023/2024 será a produção de cerca de 33 bilhões de litros de etanol, dos quais aproximadamente 19% obtido a partir do milho, um aumento de 41,39% (6,26 bi L) em relação à safra 2022/2023.

A produção brasileira de etanol de milho cresceu de 520 milhões para 4,5 bilhões de litros em cinco anos, um aumento de 800%. A estimativa é que essa produção alcance dez bilhões de litros até 2030, elevando a participação no mercado nacional de etanol de 15% para 20% (Nova Cana, 2023).

De acordo com a Nova Cana (2021), até 2030 o milho comporá 20% da produção nacional, meta já atingida parcialmente no ano de 2024. Esse aumento da produção levanta o questionamento sobre a viabilidade da substituição da cana-de-açúcar pelo milho.

O objetivo deste artigo é apresentar suporte teórico para realizar análise comparativa da produção de etanol a partir do milho e da cana-de-açúcar, apresentando ambos como medida paliativa para o futuro da energia visto a dependência mundial do uso dos combustíveis fósseis e não renováveis além analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de suas produções.

Este estudo respondeu, à seguinte pergunta: A produção de etanol a partir do milho é viável para o cenário brasileiro?

O tema se justifica pelos benefícios que o uso da energia limpa, neste caso o biocombustível, visa trazer ao meio ambiente em geral, diminuindo a emissão de gases poluentes e trazendo uma opção de energia renovável. Para tanto, optou-se pela pesquisa bibliográfica através de artigos, monografias e revistas recentes.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar suporte teórico para realizar análise comparativa da produção de etanol a partir do milho e da cana-de-açúcar, apresentando ambos como medida paliativa para o futuro da energia visto a dependência mundial do uso dos combustíveis fósseis e não renováveis além analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de suas produções.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este artigo apresenta suporte teórico da possibilidade de uso do biocombustível obtido através do milho como medida paliativa para o futuro da energia. A primeira seção mostra a importância dos biocombustíveis. A segunda seção traz um comparativo da obtenção de etanol a partir da cana-de-açúcar e a partir do milho. A terceira seção mostra os modelos de usinas existentes.

1.1 Biocombustíveis e sua importância

O desenvolvimento econômico mundial, relaciona-se com a capacidade de cada país em produzir energia, e atualmente essa questão enfrenta problemas, como a dependência de fontes de carbono fóssil, como petróleo, carvão e gás natural (Hernandez, 2008 p 01).

Até a década de 1970, cerca 78% da energia consumida no Brasil, eram obtidas através do petróleo e da lenha. Porém segundo o Relatório de Conferência das Nações Unidas para o Comércio de Desenvolvimento, realizado em 2011 o Brasil aparece na quinta colocação dos países que mais investem em energia renovável (Souza; Silva, 2012).

Os biocombustíveis se tornaram um tema de grande relevância no século 21, especialmente no contexto do desenvolvimento sustentável. Eles estão ligados à produção de combustíveis que não prejudicam o meio ambiente, à criação de empregos e à tecnologia (Tavares, 2009).

Além disso, eles são notadamente alternativas promissoras à substituição dos combustíveis derivados do petróleo, onde, conforme Vidal (2019), eles têm grande influência na redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE) que é uma pauta de grande importância nos dias atuais.

A utilização de combustíveis fósseis é prejudicial à camada de ozônio, além de contribuir para o aquecimento global (Franceschini; Cavichioli, 2019).

Ainda conforme Urquiaga, Alves e Boodey (2005) a utilização de biocombustíveis traz vantagens ambientais como a redução da emissão de gases poluentes geradas por veículos, entre

eles, o monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, óxido de enxofre e nitrogênio.

O etanol (álcool etílico) trata-se de um biocombustível que vem crescendo em larga escala e que de acordo com o Sebrae (2013) vem se tornando relevante tanto em questões ambientais, como na redução de GEE, mas também por se tratar de um combustível de fonte renovável que contribui com as questões econômicas como a geração de empregos e novas oportunidades de negócio.

Conforme Filho e Pessanha (2012) o etanol pode ser obtido a partir de diversas fontes vegetais, como a cana-de-açúcar, a beterraba, o trigo, a mandioca e o milho.

1.2 Obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar *versus* o etanol obtido através do milho

A produção mundial de etanol é liderada pelos EUA (52%) e Brasil (25%), sendo o milho a principal matéria-prima, representando 67% da produção. A cana-de-açúcar é a segunda fonte mais utilizada, contribuindo significativamente para o restante da produção (OCDE, 2016).

A cana-de-açúcar, além de alta produtividade de etanol por área, possui grande potencial energético. Seus resíduos podem ser integrados na produção de energia ou utilizados como fertilizantes no campo, demonstrando sua versatilidade e sustentabilidade (Perlingeiro, 2014).

Em relação ao plantio, a cana-de-açúcar demora cerca de um ano e meio até alcançar o ponto de colheita. De acordo com Marques (2019) após a primeira colheita, a cana-de-açúcar rebrota, permitindo colheitas subsequentes anualmente. No entanto, a cada ciclo de colheita, há uma queda gradual de rendimento, exigindo portanto a renovação do canavial após um certo número de ciclos para manter a produtividade.

O cultivo da cana-de-açúcar oferece a vantagem de reduzir a exposição do solo à erosão, devido ao rápido crescimento e fechamento da cobertura vegetal. Mesmo após a colheita, o solo continua protegido da erosão se a palha permanecer no campo (Perlingeiro, 2014).

O etanol de milho tem vantagens sobre o da cana-de-açúcar. De acordo Nova Cana (2022) o milho pode ser armazenado e usado após a colheita, além de ser uma opção durante a entressafra da cana-de-açúcar, aumentando a disponibilidade de matéria-prima e a estabilidade do fornecimento de etanol.

Devido à sua estrutura amilácea mais complexa, o milho pode ser armazenado por períodos mais longos como grãos, ao contrário da cana, que se degrada rapidamente e requer processamento imediato após a colheita para evitar perdas (Perlingeiro, 2014).

Para a obtenção do etanol do milho é necessária uma etapa a mais na fabricação dele comparado a cana-de-açúcar. Esta etapa consiste na hidrólise enzimática, um processo que encarece o produto final.

Segundo Oliveira (2022), é necessário a utilização de enzimas amilolíticas, que têm a capacidade de desdobrar o amido encontrado no milho em suas unidades básicas de glicose. Assim, uma vez que a glicose é liberada, ela será submetida à fermentação para a produção de etanol.

O etanol do milho, devido a um processo de fabricação diferente, não consegue atingir a pureza do caldo necessária para a produção de açúcar. Ele é utilizado exclusivamente para a fabricação de etanol, além de gerar subprodutos como óleo de milho e farelo de milho. (Marques, 2019).

Ao contrário da cana-de-açúcar, a produção de etanol a partir do milho requer uma fonte adicional de energia. Conforme Perlingeiro (2014) “é utilizado gás natural ou outra biomassa enquanto a cana-de-açúcar é autossustentável em energia devido à queima do bagaço residual nas caldeiras das usinas, tornando seu processo de produção mais eficiente e sustentável”.

Em 2024 é esperado uma produção de 6,86 bilhões de litros de etanol oriundos a partir do milho. Isso é resultado de um crescente investimento e planejamento na região centro-oeste e outras regiões com modernas unidades de produção (CONAB, 2024).

Em termos de rendimento de produção de etanol, de acordo com Marques (2019) “o milho apresenta um desempenho médio de 400 litros por tonelada, cerca de quatro vezes maior que a cana-de-açúcar, que produz em torno de 90 litros por tonelada. Porém, a cana-de-açúcar supera o milho em rendimento por hectare, devido à sua maior produtividade por área cultivada”.

Em relação a produtividade para o ano de 2024, segundo a Conab (2024), o etanol oriundo do milho apresenta um crescimento estimado de 16% enquanto o etanol obtido através da cana-de-açúcar deverá reduzir 4% em relação à safra anterior.

De acordo com Bernardes (2023), várias são as vantagens de se produzir etanol a partir do milho, entre elas pode-se citar a abundância, a disponibilidade, a redução do consumo de petróleo e incentivo a economia rural através da geração de empregos.

Além disso, o milho é cultivado em larga escala em grande parte do mundo pela sua facilidade de adaptação às condições climáticas e ao solo, sendo o Brasil um dos seus maiores produtores (Marchetti, 2023).

O uso do milho na produção de etanol oferece outra vantagem de acordo com Vidal (2019) que é permitir ao produtor garantir o preço da matéria-prima através de transações no mercado futuro, devido ao status do milho como commodity. Esta possibilidade não está disponível para a cana-de-açúcar, tornando o milho uma opção mais atrativa.

Embora os benefícios sejam atrativos, não podemos também deixar de mencionar outras desvantagens. Segundo Bernardes (2023) a competição entre a produção de milho para fins alimentícios e para produção de etanol pode elevar os custos do produto, além disso o alto consumo de água e espaço agrícola utilizado pode gerar riscos ambientais.

1.3 Modelos de usinas

Usinas *flex* são instalações industriais versáteis que têm a capacidade de transformar tanto cana-de-açúcar quanto milho em etanol. Elas podem ser categorizadas como integradas-compartilhadas (*flex*) ou integradas-dedicadas (*flex full*), dependendo de como são operadas e gerenciadas (Silva *et al.*, 2020).

O conceito de "Usinas *Flex*" deriva da ideia de flexibilização, que possibilita a alternância entre duas fontes de matéria-prima. Na região centro-sul, a safra da cana-de-açúcar se estende de maio a novembro, deixando as fábricas de etanol ociosas ou em manutenção durante os meses restantes do ano (Fernandes, 2019).

As usinas integradas-dedicadas têm a capacidade de produzir etanol a partir de ambas as matérias-primas ao mesmo tempo.

De acordo com Silva *et al.* (2020) durante a safra, as instalações de fermentação e destilação para cada matéria-prima são mantidas separadas, compartilhando apenas os recursos essenciais. Durante a entressafra, as instalações anteriormente dedicadas à produção de etanol a partir da cana-de-açúcar podem ser redirecionadas para o processamento do milho.

METODOLOGIA

A natureza desse estudo é multidisciplinar, envolvendo aspectos técnicos, ambientais e econômicos. Ele visa avaliar a viabilidade e sustentabilidade da produção de etanol a partir do milho, contribuindo para o desenvolvimento desse setor.

Quanto à abordagem do problema foi classificado como qualitativo, pois a pesquisa será direcionada a análise da viabilidade econômica, energética e ambiental através de dados contidos em documentos.

Para o alcance de seus objetivos optou-se pela pesquisa bibliográfica.

RESULTADOS

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, produzindo no ano de 2023 8,260 milhões de galões (28% da produção mundial), ficando atrás apenas dos Estados Unidos que produziu no mesmo ano 15,620 milhões de galões (53% da produção mundial) como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Produção mundial anual de etanol combustível (Mil. Gal.)

Região	2019	2020	2021	2022	2023	% da produção mundial
Estados Unidos	15,778	13,941	15,016	15,361	15,620	53%
Brasil	8,860	8,100	7,320	7,400	8,260	28%
União Europeia	1,380	1,330	1,410	1,460	1,440	5%
Índia	500	520	870	1,230	1,430	5%
China	1,020	940	900	920	950	3%
Canadá	497	429	434	447	460	2%
Tailândia	430	390	350	370	370	1%
Argentina	290	210	270	310	300	1%
Resto do mundo	645	620	680	722	760	3%
Total	29,400	26,480	27,250	28,220	29,590	

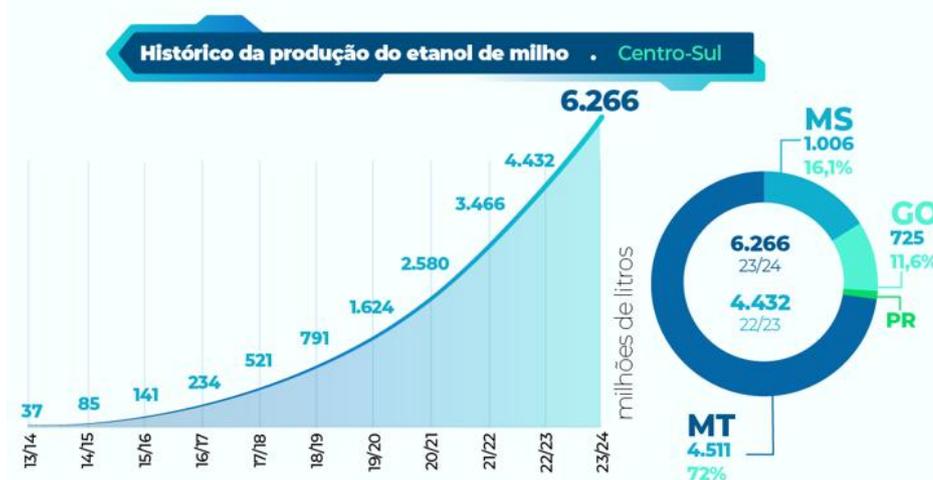
Fonte: RFA (2023).

Apesar do etanol obtido através da cana-de-açúcar dominar este cenário no Brasil, com o passar dos anos a produção de etanol a partir do milho vem crescendo consideravelmente como podemos ver abaixo (Figura 1).

A produção de etanol a partir do milho saltou de 37 milhões de litros (13/14) para 6,266 milhões de litros (23/24), sendo que na safra de 22/23 a 23/24 houve um aumento de aproximadamente 42%.

Além disso esses dados revelam que o estado de Mato Grosso é o maior produtor de etanol de milho do centro-sul, produzindo 72% do total de etanol fabricado nessa região, seguido pelo Mato Grosso do Sul (16,1%) e Goiás (11,6%).

Figura 1 – Produção de etanol de milho do Centro-Sul do Brasil



Fonte: Unica (2024)

Quando comparamos as características das matérias-primas e do processo de fabricação do etanol a partir do milho e da cana-de-açúcar, podemos observar que a cana-de-açúcar é vantajosa em relação a produtividade agrícola, rendimento e tempo de fermentação e o milho é mais favorável em relação ao rendimento industrial, à concentração de etanol no vinho produzido e aos dias de operação da planta (Tabela 2).

Tabela 2 – Principais características das matérias-primas e do processo de etanol a partir da cana-de-açúcar e milho

Parâmetro	Unidade	Cana-de-açúcar	Milho	Referência
Produtividade agrícola	t/ha.	68,8	5,6	CONAB (2021b); CONAB (2021c)
Colheita	-	Mecanizada/ manual	Mecanizada	
Tipo de processo para produção de etanol	-	Com reciclo de células	Sem reciclo de células	Lopes et al. (2016)
Sólidos em suspensão	%	<1	>30	
Rendimento industrial	L/t	77	360	Donke et al. (2017)
Rendimento de fermentação	%	90-92	85-90	Lopes et al. (2016)
Tempo de fermentação	h	6-12	45-60	
Concentração de etanol no vinho produzido	% (v/v)	7-12	12-18	
Dias de operação da planta	d	200-240	345	Lopes et al. (2016)
Principal subproduto	-	Bagaço e vinhaça	DDGS para ração animal	

Fonte: Oliveira (2022)

DISCUSSÃO

Este cultivo tem uma excelente taxa de produtividade, além de ter em sua composição alto teor de amido, a presença de amilose e amilopectina, todos importantes para uma eficiente conversão do milho em etanol (Santos, 2018).

Com a crescente busca por soluções de energias alternativas observamos crescer as pesquisas em relação à produção do biocombustível produzido a partir do milho (*Zea mays*). E estudos buscam relacionar o balanço energético total da produção de biocombustíveis, incluindo o processo agrícola e industrial, e quantidade de energia necessária para a obtenção de energia fóssil (Urquiaga; Alves; Boodey, 2005).

Salla (2009) cita em seus estudos que o custo total energético é de 19,7 MJ L⁻¹, levando-se em consideração o consumo nas etapas de produção e processamento. Define-se este valor pela razão entre a energia contida no etanol (23,6MJ) e todas as entradas no sistema de produção e industrial (19,7MJ).

Segundo Salla (2009) o balanço energético observado no cultivo e na industrialização do milho foi positivo.

Segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) na safra 2023/2024 a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar será acima de 78 mil quilos por hectare, com projeção total de 652,9 milhões de toneladas na safra 2023/24. Já o milho tem produção estimada em 3.586 quilos por hectare, sendo sua projeção final de 162 milhões de toneladas, no mesmo período.

É importante salientar que o rendimento da produção de etanol a partir do milho (360 litros por tonelada) é maior do que o da cana-de-açúcar (77 litros por tonelada) devido ao teor mais elevado de açúcares no milho em comparação com a cana (Oliveira, 2022).

Embora a eficiência na transformação do milho em etanol seja alta, a quantidade de milho produzida por hectare é insuficiente para maximizar o rendimento de etanol por área cultivada,

limitando o rendimento geral do grão para a produção de etanol em cerca de 2,5 metros cúbicos por hectare (Silva *et al.*, 2020).

Segundo dados divulgados pela Conab, em cidades do estado de São Paulo, a produção da tonelada de cana-de-açúcar custa aproximadamente 174,00 reais e o milho 1800,00 reais.

Estudos tem demonstrado que com o aumento de investimento em tecnologias é possível otimizar área e ganhar eficiência. Segundo a Revista Agrofy (2024), um produtor rural chamado Adalberto Ceretta produziu aproximadamente 14 toneladas por hectare em 2023, tornando-se o campeão nacional do concurso de produtividade de milho do Getap (Grupo Tático de Aumento de produtividade).

Outro aspecto bastante importante é a sazonalidade da cana-de-açúcar, disponível por cerca de oito meses, exige processamento imediato após a colheita, enquanto o milho pode ser armazenado por até três anos, permitindo flexibilidade no processamento (Nova Cana, 2023). Essa característica do milho confere vantagem logística e operacional em relação à produção de etanol, contribuindo para sua crescente relevância no mercado.

O milho reduz a flutuação sazonal na oferta de matéria-prima para a produção de etanol. De acordo com Silva *et al.* (2020), esta redução possibilita a negociação e aquisição antecipada pelas usinas em mercados futuros, o que pode resultar na combinação do custo mais baixo de obtenção do milho com os preços mais altos de venda do etanol.

Embora seja rentável e vantajoso produzir etanol a partir da cana-de-açúcar, durante os períodos de entressafra dessa cultura, as instalações industriais podem ficar ociosas. No entanto, essa inatividade pode ser contornada ao flexibilizar a operação, utilizando o milho como matéria-prima para a produção de etanol (Fernandes, 2019).

Outro ponto importante são os subprodutos gerados na fabricação de etanol do milho. De acordo com Nova Cana (2023) as primeiras usinas de etanol de milho surgiram no Centro-Oeste, especialmente em Mato Grosso e Goiás, regiões de grande produção. Além de ser uma das regiões com maior plantação de milho no Brasil, reúne os três principais fatores para a eficiência de produção deste tipo de etanol conforme Silva *et al.* (2020): a disponibilidade abundante de milho a preços competitivos, a existência de um mercado onde o etanol possa ser vendido a preços competitivos em relação à gasolina, e a presença de demanda por subprodutos como DDG/DDGS/WDG/WDGS (fonte de proteína animal).

Entre os subprodutos do etanol de milho, o DDGS (grãos secos de destilaria com solúveis) destaca-se pelo alto valor comercial, e é comumente vendido para composição de rações animais além de compor a dieta nutricional nas cadeias de aves, peixes, bovinas e suínas. Segundo a Unem (2024) apenas no primeiro trimestre de 2024 as exportações deste produto cresceram 24,5% e movimentaram cerca de US\$ 48 milhões, sendo enviado ao exterior 185 mil toneladas de produto.

Quando relacionamos os efeitos no meio ambiente, é crucial destacar que toda prática agrícola inevitavelmente causa algum impacto ambiental. Isso se deve à intervenção humana necessária no ambiente natural, resultando em mudanças na biodiversidade. Contudo, é de suma importância adotar cuidados meticulosos ao planejar as atividades agrícolas (Souza; Queiroz, 2023).

De acordo com Yacobucci e Bracmort (2009) o etanol derivado do milho diminui as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 20%. Por outro lado, o etanol proveniente da cana-de-açúcar reduz essas emissões em 60%, sendo assim classificado como biocombustível avançado.

Segundo a Unem (2018), técnicos constataram que a produção de etanol de milho é vista como uma alternativa industrial com impacto ambiental reduzido. Embora existam alguns impactos, como em qualquer atividade agrícola, os benefícios superam as desvantagens. A eficiência do uso da terra é maior, e há uma redução significativa na emissão de CO².

Segundo Milanez *et al.* (2014) apesar de ter emissões de gases de efeito estufa (GEE) superiores ao etanol exclusivamente de cana-de-açúcar, o etanol produzido pela usina *flex* ainda é classificado como avançado. Isso o torna uma opção promissora como alternativa aos combustíveis fósseis em várias nações.

Além disso, o etanol do milho quando comparado à gasolina traz um saldo positivo, pois com o aumento da produção de etanol, a tendência é diminuir a oferta de combustíveis fósseis.

A integração do milho na produção (*flex*) se beneficiaria da energia excedente disponível nas usinas de cana-de-açúcar, da infraestrutura industrial já estabelecida e dos consideráveis volumes de biomassa processados por essas usinas. Isso resultaria em economias de escala e melhor aproveitamento da capacidade já instalada (Milanez *et al.*, 2014).

CONCLUSÃO

Embora haja uma progressão na fabricação de etanol a nível mundial e o milho seja a principal fonte de extração em outros países, no Brasil ainda não é viável que o milho seja a matéria-prima dominante para a extração do etanol. Um dos principais fatores que fazem com que a maior parte do etanol no Brasil seja produzido a partir da cana-de-açúcar está na alta produtividade agrícola dessa cultura, nos subprodutos gerados, no valor agregado ao processo e, especialmente, nas condições climáticas favoráveis.

Porém é notável que a produção de etanol através do milho de forma combinada, chamada usinas *flex*, é a melhor opção visto que a cana-de-açúcar não mantém produtividade o ano todo, devido ao tempo de plantio, maturação e colheita, enquanto o milho consegue abastecer as fábricas por todo período do ano.

Este setor requer investimentos por parte das autoridades responsáveis para que o Brasil continue avançando na produção de etanol através do milho, uma vez que isso não reflete somente na economia do país, mas principalmente no meio ambiente, através da redução do consumo de combustíveis fósseis e consequente diminuição da emissão de gases do efeito estufa.

REFERÊNCIAS

AGROFY. Produtor marca novo recorde mundial de produtividade de milho com 651,7 sacas por hectare. 2024. Disponível em:

<https://news.agrofy.com.br/noticia/203363/produtor-marca-novo-recorde-mundial-produtividade-milho-com-6517-sacas-hectare>. Acesso em: 28 abr. 2024.

BARBOSA, B. S. et al.. Manejo socioambiental da cana-de-açúcar e produção de rapadura na comunidade de Varginha, em Santo Antônio de Leverger, MT, Brasil.

Interações, v.17, n.3, p. 384-397. Campo Grande, 2016. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/inter/a/FHTZQGNVHz7Kh7HFDhZhvnh/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 abr. 2024.

BERNARDES, V. H. X. Etanol a partir do milho: Processo produtivo e questões ambientais. Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39691>. Acesso em: 28 abr. 2024.

CONAB. Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Brasília, 2024. Disponível em:
<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 28 abr. 2024.

FERNANDES, R. **Avaliação da produção de etanol empregando milho como matéria-prima.** Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em:

[https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27653/1/Avalia%
a7%c3%a3oProdu%
a7%c3%a3oEtanol.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27653/1/Avalia%c3%a7%c3%a3oProdu%c3%a7%c3%a3oEtanol.pdf). Acesso em: 4 maio 2024.

FORBES. **Como o etanol de milho faz a economia circular girar mais rápido.** 2023.

Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2023/11/como-o-etanol-de-milho-faz-a-economia-circular-girar-mais-rapido/> Acesso em: 4 maio 2024.

FRANCESCHINI, G. M. CAVICHIOLI, F. A. Viabilidade do etanol de milho em relação ao etanol da cana-de-açúcar. **VI Simtec - Simpósio de Tecnologia**, Taquaritinga, 2019.

Disponível em: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/474/298>. Acesso em: 1 maio 2024.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil.** 32° ed. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2003.

HERNANDEZ, D.I.M. **Efeitos da produção de etanol e biodiesel na produção agropecuária do Brasil.** 2008. 163f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Curso de Pós-graduação em Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Brasília, DF.

Disponível em: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/344264>. Acesso em 1 maio 2024.

MARCHETTI, L. S. **Análise comparativa de uma planta de etanol de milho e de cana-de-açúcar.** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18131>. Acesso em: 3 maio 2024.

MARCOLIN, N. **Era quase aguardente.** Pesquisa Fapesp, 2008. Disponível em:

<https://agencia.fapesp.br/era-quase-aguardente/8575>. Acesso em: 3 maio 2024.

MARQUES, D. S. M. **Avaliação Técnico-Econômica da Produção de Eteno via Etanol obtido em uma usina flex de cana-de-açúcar e milho.** Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:

https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/20375/1/DSMMarques_compressed.pdf. Acesso em: 1 maio 2024.

MILANEZ, A. Y. *et al.* A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, n. 41, p. 147-208, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2496>. Acesso em: 28 abr. 2024.

NOVACANA. **Etanol de milho pode conquistar 20% do mercado até 2030.** Curitiba, 2021. Disponível em:

<https://www.novacana.com/noticias/etanol-de-milho-pode-conquistar-20-do-mercado-ate-2030-aposta-unem-060721>. Acesso em: 28 abr. 2024.

NOVACANA. **Produção de etanol de milho avança 34% em meio à quebra histórica da cana.** Curitiba, 2022. Disponível em:

<https://www.novacana.com/noticias/producao-etanol-milho-avanca-34-quebra-historica-cana-260422>. Acesso em: 1 maio 2024.

NOVA CANA. **Produção de etanol de milho cresce 800% em cinco anos e atrai empresas.** Curitiba, 2023. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/producao-etanol-milho-cresce-800-cinco-anos-atrai-empresas-270123>. Acesso em: 28 abr. 2024.

OCDE/FAO - Organização para a cooperação e desenvolvimento econômico. **Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação.** Perspectivas Agrícolas 2016-2025, OECD Publishing, Paris. 2016. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2016-2025_agr_outlook-2016-es. Acesso em: 1 maio 2024.

OLIVEIRA, L. S. B. L. **Produção integrada de etanol de cana-de-açúcar e milho em usinas flex:** simulação e análises tecno-econômica e ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15745/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o%20Me%20strado%20Luiza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 maio 2024.

PERLINGEIRO, C. A. G. Biocombustíveis no Brasil: Fundamentos, Aplicações e Perspectivas. **Synergia Editora**, Rio de Janeiro, 2014.

FILHO, J. C. A.; PESSANHA, F. S. A. Otimização dos métodos tradicionais e busca de novas alternativas de obtenção de etanol visando a sua viabilidade. **Bolsista de valor**, v.2, n.1, p. 245-251, 2012. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/2423>. Acesso em: 4 maio 2024.

RFA (Renewable Fuels Association). **Annual Ethanol Production.** Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>. Acesso em: 5 maio 2024.

RIBEIRO, L. M. L. **Etanol de milho:** Processo produtivo e contexto atual do mesmo no Brasil. Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37913/1/EtanoldeMilhoProcesso.pdf>. Acesso em: 2 maio 2024.

SALLA, D. M. *et al.*. Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v.47, n.1, p.183-210, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v47n1/v47n1a07.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2024.

SANTOS, R. F. Matérias-primas para a produção de etanol. In: VILELA, A. L. Etanol de milho: fundamentos, tecnologia e inovação. **Blücher**, p.43-66, São Paulo, 2018.

SEBRAE. **O que é etanol?** 2013. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-etanol,ac3d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=Sebrae%20nos%20estados&text=O%20etanol%20nada%20mais%20%C3%A9,como%20cerveja%2C%20vinho%20e%20aguardente>. Acesso em: 1 maio 2024.

SILVA, H. J. T. *et al.* Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de política agrícola**, v.29, n.4, 2020. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1567/pdf>. Acesso em: 2 maio 2024.

SOUZA, A. de; SILVA, C. L. da. ENERGIA E MEIO AMBIENTE: O TRADE OFF ENTRE AS MATRIZES ENERGÉTICAS DE FONTES RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO BRASIL. **Revista Terceiro Incluído**, Goiânia, v. 2, n. 2, p. 63–84, 2012. DOI: 10.5216/teri.v2i2.23290. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/teri/article/view/23290>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SOUZA, J. C. S.; QUEIROZ, E. S. Análise dos efeitos econômicos e ambientais da produção de etanol de milho. **Engineering Sciences**, v.11, n.1, p.18-27, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0003>. Acesso em: 29 abr. 2024.

TAVARES, M.F. Etanol como uma nova matriz energética? **Central de Cases ESPM**, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://acervo-digital.espm.br/Central%20de%20Cases%20ESPM/etanol.pdf>. Acesso em: 1 maio 2024.

UNEM. **Exportações de ddg e ddgs batem recorde no primeiro trimestre**. 2024. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/2024/04/22/exportacoes-de-ddg-ddgs-batem-recorde-no-primeiro-trimestre-de-2024/>. Acesso em 27 maio 2023.

UNEM. **Produção de etanol de milho tem baixo impacto ambiental**. 2018. <https://etanoldemilho.com.br/2018/10/29/producao-de-etanol-de-milho-tem-baixo-impacto-ambiental/#:~:text=%E2%80%99CH%C3%A1%20impactos%20ambientais%2C%20mas%20as,resultados%20s%C3%A3o%20positivos%E2%80%9D%2C%20analizou>. Acesso em 27 maio 2023.

ÚNICA. **Safra 2023/2024 termina como a maior da história**. 2024. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/safra-2023-2024-termina-como-a-maior-da-historia/>. Acesso em: 2 maio 2024.

URQUIAGA, S; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Política Agrícola**, Brasília, v.14, n.1, p.42-46, 2005. Disponível em: http://www.agronegocios.com.br/agr/down/artigos/Pol_Agr_1_2005_Art06.pdf. Acesso em: 04 abr. 2023.

VIDAL, F. Etanol de milho: perspectivas para o nordeste diante da crescente produção nacional. **Banco do Nordeste do Brasil**, ano 5, n.123, 2020. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/256/1/2020_CDS_123.pdf. Acesso em: 3 maio 2024.

VIDAL, M. F. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. **Banco do Nordeste do Brasil**, ano 4, n.79, Fortaleza, 2019. Disponível em: <s1dspp01.dmz.bnb:8443/s482-dspace/handle/123456789/630>. Acesso em: 1 maio 2024.

VILELA, D.; ARAÚJO, P.M.M. **Contribuições das câmaras setoriais e temáticas à formulação de políticas públicas e privadas para o agronegócio**. Brasília, DF: MAPA/SE/CGAC, 2006. 496p.

YACOBUCCI, B. D.; BRACMORT, K. S. Calculation of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions for the Renewable Fuel Standard. **Congressional Research Service**, Estados Unidos, 2009. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/17287>. Acesso em: 9 maio 2024.