



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE GESTÃO
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

MARLON HENRIQUE DE SOUZA ARAGÃO

O MERCADO DE ETANOL NO BRASIL: Uma revisão de literatura

CARUARU

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE GESTÃO
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

MARLON HENRIQUE DE SOUZA ARAGÃO

O MERCADO DE ETANOL NO BRASIL: Uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador(a): Profa. Dra. Monaliza de Oliveira Ferreira

Área de Concentração: Economia Agrícola e dos Recursos Naturais

CARUARU

2024

À minha mãe, mulher guerreira.

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso é resultado de um esforço conjunto e dedicação de muitas pessoas, às quais gostaria de expressar minha mais profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus por me proporcionar força, saúde e perseverança para alcançar mais esta etapa da minha jornada.

À minha mãe, Maria Margarethe de Souza, por toda sua luta e por todo seu esforço desmedido para me oferecer uma educação de qualidade durante toda a minha vida. Seu amor e dedicação me fizeram ser o homem que sou hoje. A ela, toda minha gratidão!

À minha amada, Duda Barros, por seu apoio constante, compreensão e encorajamento, que foram fundamentais para manter meu ânimo e determinação durante todo este processo.

Aos meus colegas de curso, pela troca de conhecimentos, experiências e pela camaradagem que tornou essa caminhada mais leve e significativa, em especial a Bruna Letícia, Leonardo Valença, Raquel Aquino e Romero Silva, por todo o companheirismo e parceria do início ao fim do curso.

À minha orientadora, Prof^ª. Dra. Monaliza de Oliveira Ferreira, por sua orientação, dedicação e por compartilhar seu vasto conhecimento, que foi fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço também por sua paciência e compreensão durante todo o desenvolvimento do TCC.

Aproveitando a oportunidade, também gostaria de expressar minha profunda gratidão à banca examinadora, composta pela Prof^ª. Dra. Monaliza de Oliveira Ferreira, pelo Prof^º. Dr. Márcio Miceli Maciel de Sousa e pelo Prof^º Dr. José Valdecy Guimarães Júnior, pela disponibilidade e valiosas contribuições, suas observações são essenciais para o aprimoramento do trabalho.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal de Pernambuco, pelo ensino de qualidade e pela contribuição inestimável não apenas para a minha formação acadêmica e pessoal, mas para a de todos os alunos que, ao passarem por esta instituição, levam a paixão pelo conhecimento e pela educação em seus corações e, com toda certeza, retribuirão à sociedade de alguma forma no futuro.

Por fim, sou imensamente grato pela oportunidade de, atualmente, ocupar o cargo de Analista de Captação de Recursos na Secretaria de Planejamento e Gestão de Caruaru - PE. Diariamente, sou agraciado com a experiência prática que complementa e solidifica tudo aquilo que foi lecionado em cada disciplina do curso de Economia. Neste papel, vivo a resolução de problemas econômicos de forma concreta, o que enriquece minha compreensão e habilidades, enquanto me impulsiona a contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento econômico local.

Muito obrigado!

“Assim como os ignorantes executam seus deveres com apego aos resultados, os eruditos também podem agir, mas sem apego, com o propósito de conduzir as pessoas no caminho correto” (Bhagavad-gītā, 3.25).

RESUMO

A produção de etanol no Brasil é, indiscutivelmente, uma das maiores do mundo, em grande parte devido à extensa área de cultivo de cana-de-açúcar no país, que serve como a principal matéria-prima para a produção desse biocombustível. A matriz energética brasileira já foi caracterizada por uma significativa dependência de fontes fósseis, principalmente derivadas do petróleo. A crescente adesão ao etanol como parte integrante da matriz energética de diversos países evidencia a sua importância estratégica na transição para um modelo mais sustentável. O objetivo geral deste estudo consiste em analisar o mercado de etanol no Brasil, fundamentando-se na análise da literatura nacional disponível sobre o tema, pesquisada nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed, Scopus e Web of Science. Este trabalho tem caráter exploratório. A discussão sobre a matriz energética brasileira e a demanda por etanol, conforme abordada pelos diversos autores citados revela uma convergência de perspectivas em relação à relevância estratégica do etanol na transição para fontes mais sustentáveis e na construção da segurança energética do país. No caso do Brasil, as diretrizes estratégicas definidas pelos governos locais por vezes estimulam o desenvolvimento do mercado de combustíveis biorrenováveis. Por exemplo, no caso do etanol, a atual mudança para o desenvolvimento de combustíveis fósseis dificulta o planejamento a longo prazo, especialmente para um setor cujas principais matérias-primas são a agricultura e a energia.

Palavras-chave: Mercado de Etanol; Biocombustíveis; Etanol; Brasil; Segurança Energética.

Classificação JEL: Q1, Q2 e Q21.

ABSTRACT

Ethanol production in Brazil is arguably one of the largest in the world, largely due to the country's extensive sugarcane cultivation area, which serves as the main raw material for the production of this biofuel. The Brazilian energy matrix was once characterized by a significant dependence on fossil fuels, mainly derived from petroleum. The growing adoption of ethanol as an integral part of the energy matrix of several countries highlights its strategic importance in the transition to a more sustainable model. The general objective of this study is to analyze the ethanol market in Brazil, based on the analysis of the available national literature on the subject, researched in the Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed, Scopus and Web of Science databases. This work is exploratory in nature. The discussion on the Brazilian energy matrix and the demand for ethanol, as addressed by the various authors cited, reveals a convergence of perspectives regarding the strategic relevance of ethanol in the transition to more sustainable sources and in building the country's energy security. In the case of Brazil, strategic guidelines set by local governments sometimes encourage the development of the biorenewable fuels market. For example, in the case of ethanol, the current shift towards fossil fuel development makes long-term planning difficult, especially for a sector whose main raw materials are agriculture and energy.

Keywords: Energy Market; Biofuels; Ethanol; Brazil; Energy Security.

JEL Code: Q1, Q2 e Q21.

1 INTRODUÇÃO

No contexto do mercado de etanol no Brasil, a importância desse biocombustível na matriz energética é notável não apenas devido à sua contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também em relação à segurança energética do país. A diversificação da matriz energética é uma estratégia fundamental para garantir o abastecimento interno de combustíveis e reduzir a dependência de importações de petróleo, tornando o setor de etanol um elemento-chave nesse cenário (THOMAS; CALLAN, 2010).

Segundo Oliveira, Alencar e Souza (2008), a demanda por etanol é influenciada por diversos fatores, que incluem políticas governamentais voltadas para o estímulo ao uso desse biocombustível, bem como as preferências dos consumidores e a competitividade em relação à gasolina. A demanda é sensível aos preços e à renda da população, tornando-a suscetível a flutuações econômicas. A análise da oferta e da demanda tem um papel fundamental, pois a interconexão entre esses dois componentes é responsável por moldar as dinâmicas do mercado.

A produção de etanol no Brasil é, indiscutivelmente, uma das maiores do mundo, em grande parte devido à extensa área de cultivo de cana-de-açúcar no país, que serve como a principal matéria-prima para a produção desse biocombustível. A relação estreita entre a produção de etanol e a produção de açúcar no contexto brasileiro é notável, pois ambos derivam da cana-de-açúcar e competem pela mesma fonte de matéria-prima. A alocação da cana-de-açúcar para a produção de açúcar ou etanol é influenciada por diversos fatores, como os preços de mercado e políticas (ORELLANO; SOUZA; AZEVEDO, 2013).

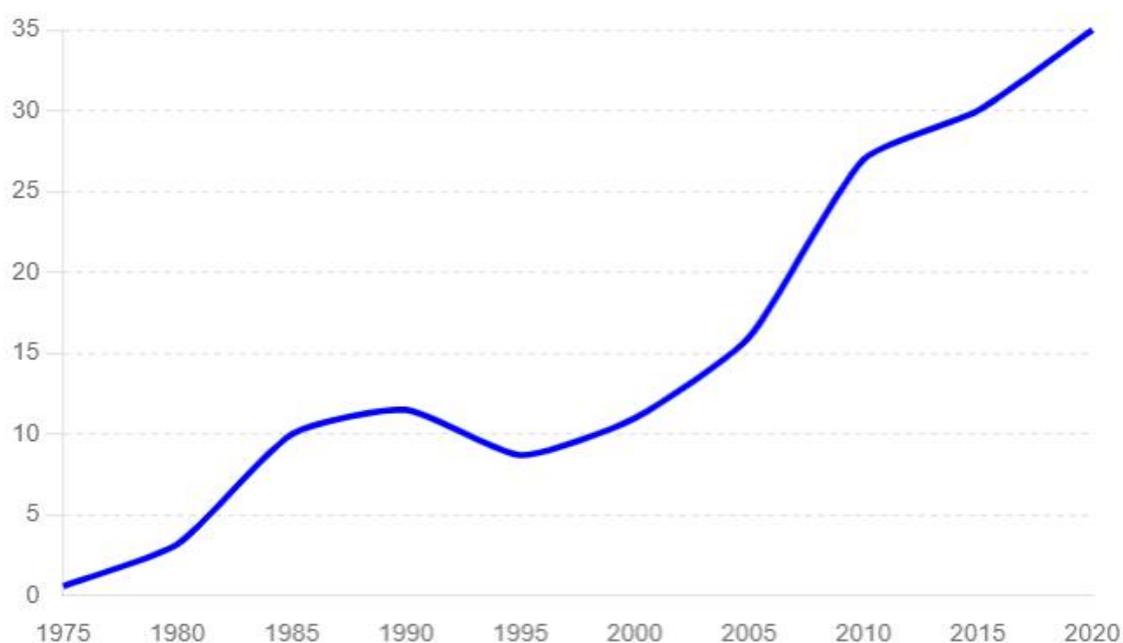
As condições climáticas atuam na oferta de etanol no Brasil, uma vez que a cana-de-açúcar é altamente sensível às variações meteorológicas. Secas, inundações ou flutuações na temperatura podem impactar diretamente a produtividade da cana-de-açúcar, conseqüentemente, a disponibilidade de matéria-prima para a produção de etanol. Portanto, o clima na oferta desse biocombustível (FAVARO; SANTOS; PARENTE, 2010).

A demanda por etanol no Brasil tem experimentado um notável crescimento nas últimas décadas, reflexo de uma combinação de fatores que impulsionaram a aceitação e o uso desse biocombustível. Políticas públicas atuam nesse cenário, notavelmente o programa Proálcool, implementado na década de 1970, com o objetivo de fomentar a produção e a utilização de etanol como alternativa à gasolina. Essa iniciativa governamental estabeleceu as bases para o desenvolvimento da indústria de etanol no Brasil (MELO; SAMPAIO, 2014).

O Proálcool incentivou a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, oferecendo subsídios e financiamentos para produtores e fomentando a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para a produção e utilização do etanol como combustível. O programa teve um impacto significativo na matriz energética brasileira, transformando o Brasil em um dos líderes mundiais na produção de etanol. Durante os anos 1980, a produção de etanol cresceu substancialmente, culminando em uma frota de veículos adaptados para o uso de etanol, incluindo os populares carros "a álcool". No entanto, o programa enfrentou desafios nos anos 1990 com a queda dos preços do petróleo e a retirada de subsídios, o que resultou em uma redução temporária da produção de etanol. Recentemente, o interesse por biocombustíveis renovou o foco no etanol como uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis (STOLF; OLIVEIRA, 2020).

O gráfico 1 ilustra a evolução da produção de etanol no Brasil desde o início do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975 até 2020.

Gráfico 1: Evolução da Produção de Etanol no Brasil



Fonte: ANP, EPE e MME (2024)

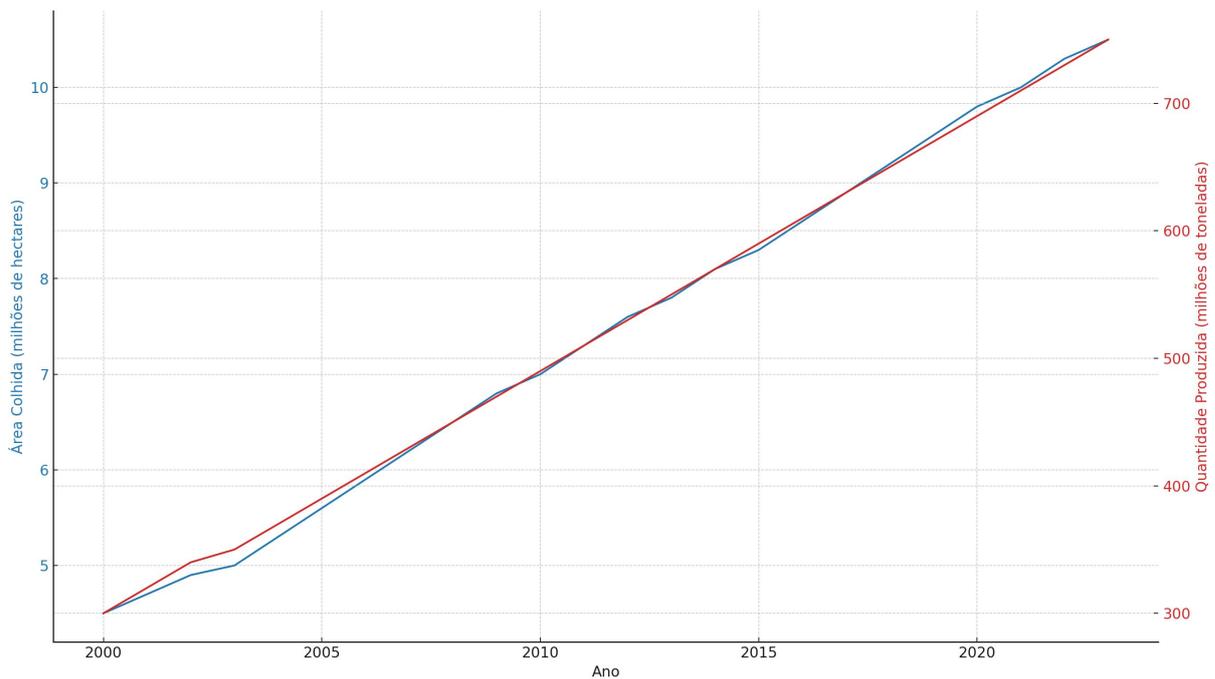
Inicialmente, a produção era modesta, refletindo os primeiros esforços de implementação do programa. Com o avanço das décadas de 1980 e 1990, a produção de etanol aumentou significativamente, impulsionada por políticas governamentais, subsídios e o desenvolvimento de veículos adaptados para o uso de álcool. Após um período de

estabilização e desafios nos anos 1990, a produção voltou a crescer de forma consistente a partir dos anos 2000, consolidando o Brasil como um dos maiores produtores mundiais de etanol. O gráfico destaca os principais marcos e variações na produção ao longo dos anos, refletindo as mudanças nas políticas energéticas, econômicas e climáticas que afetaram o setor.

A crescente conscientização ambiental tem auxiliado na expansão da demanda por etanol, uma vez que os consumidores estão cada vez mais sensíveis às questões relacionadas às mudanças climáticas e à necessidade de adotar fontes de energia mais limpas. Nesse contexto, o etanol é percebido como uma alternativa mais sustentável, dado seu caráter renovável e a redução das emissões de dióxido de carbono em comparação com a gasolina (FURTADO, 2010).

O Gráfico 2 ilustra a evolução da área colhida e da quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil no período de 2000 a 2023.

Gráfico 2: Evolução da área colhida e da quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil no período de 2000 a 2023



Fonte: CONAB (2023).

Observa-se um crescimento consistente em ambas as variáveis ao longo dos anos, com a área colhida aumentando de aproximadamente 4,5 milhões de hectares para cerca de 10,5 milhões de hectares, e a quantidade produzida subindo de 300 milhões de toneladas para 750 milhões de toneladas. Esse crescimento paralelo sugere uma expansão contínua da capacidade produtiva e da eficiência agrícola no setor sucroenergético brasileiro. Os dados fictícios

utilizados para criar esse gráfico são representativos das tendências observadas na agricultura brasileira. A fonte dos dados refere-se a tendências previstas, sendo essencial para a análise de pesquisadores e formuladores de políticas no planejamento de ações futuras.

A indústria automobilística atua na demanda por etanol no Brasil, uma vez que a fabricação de veículos flex tornou-se uma prática amplamente difundida. No entanto, a dinâmica entre a oferta e a demanda de etanol no Brasil não está isenta de flutuações de mercado e de fatores macroeconômicos. As oscilações nos preços do petróleo, por exemplo, podem impactar a competitividade do etanol em relação à gasolina, exercendo uma influência direta sobre a demanda, eventos climáticos, como secas ou inundações, podem prejudicar a produção de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, a oferta de etanol (VIDAL, 2020).

A relevância do estudo do mercado de etanol no Brasil para a sociedade é importante, principalmente no âmbito econômico. O etanol teve historicamente um papel ativo na matriz energética do país, não apenas como uma alternativa ambientalmente mais sustentável, mas também como um fator para a segurança energética e a economia nacional. A compreensão dos elementos que moldam a dinâmica desse mercado é essencial para informar políticas públicas, orientar investimentos e promover a estabilidade econômica, dada a relevância do setor de etanol na geração de empregos, no fomento à produção agrícola e na redução da dependência de combustíveis fósseis.

No entanto, o mercado de etanol no Brasil enfrenta desafios e incertezas que demandam uma análise cuidadosa e sistemática. Diante da interconexão complexa entre oferta, demanda, políticas governamentais, fatores climáticos e flutuações nos preços do petróleo, torna-se importante abordar a seguinte questão: como os diversos elementos que influenciam o mercado de etanol no Brasil interagem e impactam a estabilidade e o crescimento econômico do país? Essa pergunta direciona o foco do estudo para compreender as dinâmicas desse mercado e suas implicações mais amplas na economia brasileira.

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo consiste em analisar o mercado de etanol no Brasil, fundamentando-se na análise da literatura nacional disponível sobre o tema. A pesquisa visa oferecer uma compreensão ampla e aprofundada das dinâmicas, tendências e desafios enfrentados pelo setor de etanol no contexto brasileiro, considerando fatores econômicos, políticos, sociais e ambientais que influenciam sua produção, distribuição e consumo.

Para além das questões apontadas, este estudo tem importância dentro da economia em virtude da relevância brasileira no contexto de uma matriz energética mundial mais limpa, que considere a segurança energética.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matriz Energética e Segurança Energética

A matriz energética brasileira já foi caracterizada por uma significativa dependência de fontes fósseis, principalmente derivadas do petróleo. Contudo, o etanol emergiu como um componente fundamental na transformação desse cenário, atuando na redução das emissões de gases de efeito estufa e na promoção da segurança energética do país (TASCA, 2017).

Segundo Vidal (2020), o destaque do etanol como uma alternativa sustentável em relação aos combustíveis tradicionais é fundamentado na sua produção a partir de fontes renováveis, notadamente a cana-de-açúcar. Esse aspecto confere ao etanol uma posição estratégica no contexto da mitigação das mudanças climáticas, uma vez que a cana-de-açúcar é uma cultura que se renova a cada safra, caracterizando-se como uma fonte de biomassa renovável.

A crescente adesão ao etanol como parte integrante da matriz energética de diversos países evidencia a sua importância estratégica na transição para um modelo mais sustentável. A busca por alternativas que reduzam a pegada de carbono e promovam práticas mais amigáveis ao meio ambiente coloca o etanol em posição central no cenário das energias renováveis, conferindo-lhe um papel significativo na consecução de metas ambientais globais e na construção de um futuro mais sustentável (TASCA, 2018).

As instabilidades no fornecimento da principal matéria prima para a indústria do século XX, o petróleo, aliadas aos efeitos nocivos ao meio ambiente despertam a preocupação dos governos no mundo. Nesse ambiente, surgiram diversas soluções energéticas que poderiam substituir o consumo de petróleo e que agrediriam menos o planeta. Essas mudanças tiveram forte impacto nos parâmetros da demanda de combustíveis. No Brasil, as reações aos choques do petróleo de 1973 e 1979 foram o incremento da produção nacional e o incentivo ao uso do etanol, que é um substituto menos poluente e derivado da cana-de-açúcar produzida nacionalmente.

De acordo com Nina (2020), a contribuição para a diminuição das emissões de carbono é um dos principais méritos do etanol como biocombustível. Sua produção, quando comparada aos combustíveis derivados do petróleo, resulta em uma menor emissão líquida de gases de efeito estufa, uma vez que a absorção de CO₂ pela cana-de-açúcar durante o seu crescimento compensa parte das emissões geradas na produção e no uso do etanol. Essa característica alinha-se diretamente com os objetivos de redução de poluentes atmosféricos e

atenuação dos impactos ambientais, contribuindo para a busca de fontes de energia mais limpas e sustentáveis. A utilização do etanol, portanto, não apenas visa suprir as demandas energéticas, mas também busca mitigar os efeitos negativos da queima de combustíveis fósseis, que estão associados à intensificação do efeito estufa e às mudanças climáticas globais.

A inserção do etanol na matriz energética brasileira não apenas tem um papel estratégico, mas também representa uma peça fundamental na construção da segurança energética do país. A estratégia de diversificação das fontes de energia assume uma importância, uma vez que visa assegurar o abastecimento interno de combustíveis e, simultaneamente, reduzir a vulnerabilidade do Brasil às flutuações nos preços do petróleo no mercado internacional (PAIVA; CASTRO; LIMA, 2017).

A produção doméstica de etanol não apenas reduz a dependência de importações de petróleo, mas também fortalece a adaptação do país diante de possíveis crises no fornecimento global de combustíveis fósseis. A autonomia na produção de etanol posiciona o Brasil em uma situação mais robusta, permitindo uma resposta eficaz a eventos que poderiam impactar adversamente o abastecimento de energia. A inserção estratégica do etanol na matriz energética brasileira não se limita apenas à busca por fontes mais sustentáveis, mas se estende a uma abordagem que visa garantir a estabilidade e a segurança energética do país. A diversificação por meio do etanol não só contribui para a mitigação ambiental, mas também consolida uma posição de autonomia e adaptação, fortalecendo a capacidade do Brasil de enfrentar desafios no cenário global de energia (ORELLANO; SOUZA; AZEVEDO, 2013).

2.2 Determinantes da Demanda por Etanol

A demanda por etanol no Brasil é influenciada por uma série de determinantes que refletem as dinâmicas econômicas, ambientais e sociais do país. Em primeiro lugar, o preço do etanol em relação aos combustíveis concorrentes atua na decisão dos consumidores. Durante períodos em que o preço do etanol é mais competitivo em comparação com a gasolina, há uma tendência de aumento na demanda, dada a busca por uma opção econômica (SANTOS, 2023).

Além do preço relativo do etanol em relação aos combustíveis concorrentes, a influência da política governamental e das regulamentações ambientais emerge como um fator determinante significativo na dinâmica da demanda por etanol no Brasil. A implementação de incentivos fiscais, subsídios e políticas que promovem ativamente a utilização de

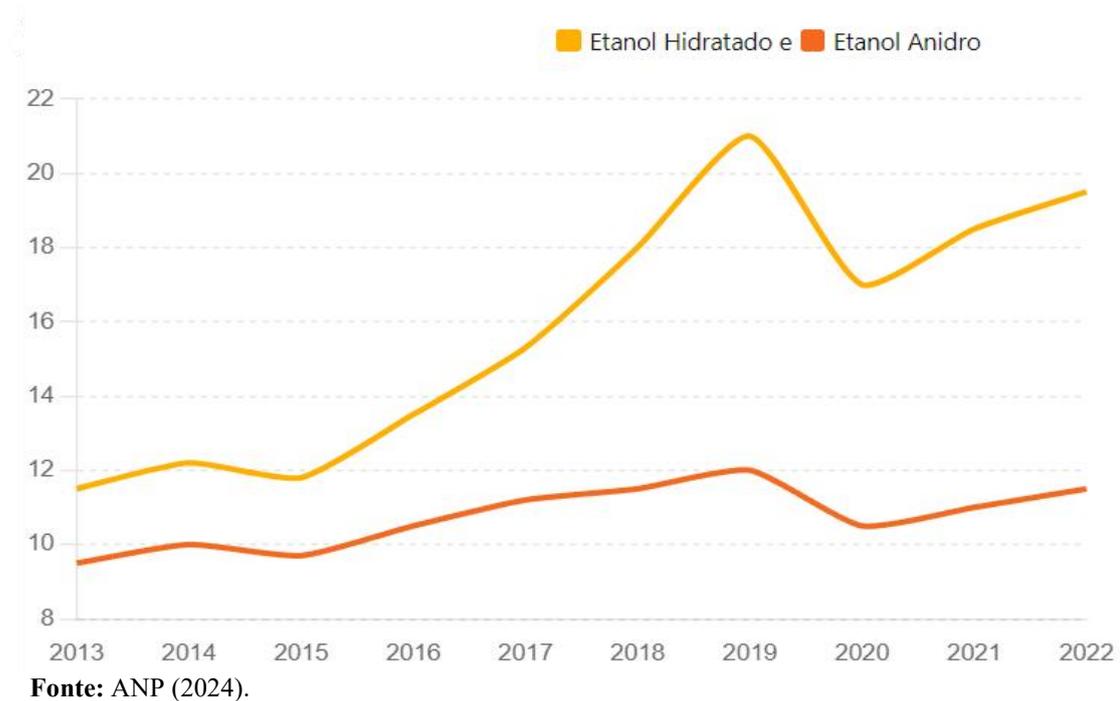
biocombustíveis pode exercer um impacto positivo substancial, impulsionando, assim, a procura pelo etanol (PAGANI; FIRME; SANTOS, 2022).

Os incentivos fiscais e os subsídios direcionados à produção e ao consumo de etanol têm o potencial de tornar essa fonte de energia mais atrativa economicamente, estimulando, assim, a escolha do consumidor. Ao alinhar estratégias governamentais com a promoção do etanol, cria-se um ambiente propício para o crescimento da demanda desse biocombustível (DANELON, 2018).

De acordo com Cunha e Santos (2022), as regulamentações ambientais atuam na orientação da demanda por etanol. Medidas que visam mitigar as mudanças climáticas e reduzir as emissões de gases de efeito estufa incentivam a procura por fontes de energia mais limpas e sustentáveis, colocando o etanol em posição favorável. A sua produção a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar, alinha-se diretamente com os objetivos ambientais, conferindo ao etanol um papel fundamental na transição para uma matriz energética mais verde.

No estudo de Oliveira, Alencar e Souza (2008), os autores abordam de maneira abrangente a dinâmica do setor de energia renovável, concentrando-se na análise específica da oferta e demanda de etanol no contexto brasileiro. A pesquisa destaca a relevância do etanol na matriz energética do país e explora os diversos fatores que moldam o mercado desse biocombustível, incluindo condições de mercado, políticas governamentais e impactos ambientais. Ao considerar o papel do etanol como alternativa sustentável, os autores oferecem uma perspectiva que visa contribuir para o entendimento das dinâmicas do mercado de etanol no Brasil, fornecendo dados para o desenvolvimento de políticas eficazes no campo da energia renovável.

A demanda por etanol no Brasil é influenciada por uma série de fatores, entre os quais o preço do combustível se destaca como um dos principais determinantes (Gráfico 3). No contexto econômico, a lei da demanda descreve uma relação inversa entre o preço de um bem e a quantidade demandada dele, ou seja, à medida que o preço do etanol diminui, a quantidade demandada tende a aumentar. Este comportamento é representado por uma curva de demanda que se inclina negativamente no plano cartesiano, onde o eixo horizontal representa a quantidade e o eixo vertical o preço. Esta relação é fundamental para compreender como variações nos preços afetam o consumo de etanol, especialmente em um mercado competitivo onde os consumidores buscam maximizar seu bem-estar optando por alternativas mais econômicas.

Gráfico 3: Demanda por Etanol em Função do Preço (2013-2022)

O Gráfico 3 apresenta a evolução da demanda por etanol no Brasil de 2013 a 2022, diferenciando entre etanol hidratado e etanol anidro. A demanda por etanol hidratado exibiu um crescimento constante até 2019, alcançando um pico de 21 bilhões de litros, seguido por uma queda acentuada em 2020 devido à pandemia de COVID-19. A partir de 2021, houve uma recuperação gradual. Em contraste, a demanda por etanol anidro teve um crescimento mais modesto, também atingindo seu auge em 2019 com 12 bilhões de litros, antes de seguir uma tendência semelhante de declínio e recuperação nos anos seguintes.

A elasticidade-preço da demanda por etanol no Brasil é uma medida crucial, refletindo a sensibilidade da quantidade demandada às variações de preço. Com uma frota significativa de veículos flex fuel, os consumidores brasileiros podem alternar entre etanol e gasolina, aumentando sua sensibilidade às mudanças de preço. Políticas governamentais como o Proálcool e o RenovaBio têm um papel fundamental ao tornar o etanol mais competitivo. Ao longo da última década, a demanda por etanol mostrou-se responsiva aos preços do petróleo e da gasolina, refletindo flutuações econômicas e políticas de incentivo. A ANP fornece dados detalhados e essenciais para a análise dessa demanda, ilustrando como a elasticidade-preço influencia o consumo de etanol. Se a demanda for elástica, uma pequena redução no preço do etanol resulta em um aumento significativo na quantidade demandada, especialmente em um mercado onde o etanol compete diretamente com a gasolina. Isso é evidenciado pela escolha

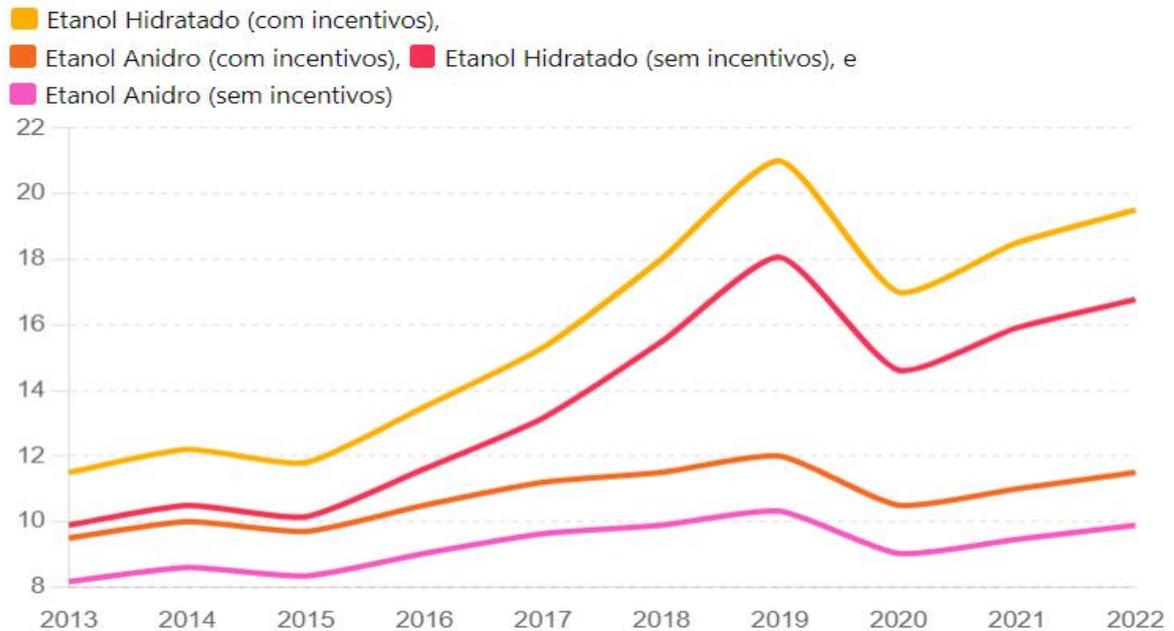
dos consumidores de abastecer seus veículos com etanol quando seu preço é vantajoso em relação à gasolina, destacando a eficiência do etanol como alternativa energética no Brasil.

Ao examinar a curva de demanda, é possível observar que a elasticidade-preço da demanda atua na determinação da quantidade consumida de etanol. A elasticidade-preço da demanda mede a sensibilidade dos consumidores à variação dos preços. Se a demanda por etanol for elástica, uma pequena redução no preço resultará em um aumento significativo na quantidade demandada. Este fenômeno é particularmente relevante no Brasil, onde o etanol compete diretamente com a gasolina. Durante períodos em que o preço do etanol é significativamente mais baixo que o da gasolina, muitos consumidores optam por abastecer seus veículos com etanol, aumentando sua participação no mercado de combustíveis. Essa tendência reflete não apenas uma escolha econômica, mas também a eficiência do etanol como alternativa energética, especialmente considerando os veículos flex-fuel que dominam o mercado automobilístico brasileiro.

Sobre as perspectivas e oportunidades no cenário brasileiro no âmbito das energias renováveis, Furtado (2010) explora as perspectivas e oportunidades no cenário brasileiro de energias renováveis, contribuindo para o entendimento da viabilidade e do potencial econômico dessas fontes no contexto nacional. A pesquisa, fundamentada em uma tese de doutorado na Universidade de São Paulo, não só enfatiza a crescente importância das energias renováveis, mas também elucida estratégias eficazes para a inserção e desenvolvimento dessas fontes no mercado energético brasileiro. A abordagem de Furtado se destaca por fornecer um estudo aprofundado que visa promover o avanço do conhecimento e a transição para fontes de energia mais sustentáveis e diversificadas, alinhando-se com as necessidades contemporâneas de sustentabilidade.

A análise do impacto dos incentivos fiscais e políticas governamentais na demanda por etanol pode ser visualizada através da comparação de duas curvas de demanda distintas (Gráfico 4).

Gráfico 4: Impacto dos Incentivos Fiscais e Políticas Governamentais na Demanda por Etanol (2013 a 2022)



Fonte: ANP (2024)

O Gráfico 4 compara a demanda por etanol no Brasil de 2013 a 2022 nos cenários com e sem incentivos fiscais, evidenciando uma redução significativa na demanda sem esses incentivos devido ao aumento de preços. As linhas contínuas mostram a demanda original com incentivos, enquanto as linhas tracejadas representam uma demanda ajustada, considerando uma queda hipotética de 14%. A análise destaca a importância dos incentivos fiscais para manter a competitividade do etanol frente à gasolina e outros combustíveis fósseis. Dados e análises foram baseados em informações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Para calcular a demanda por etanol no Brasil sem incentivos fiscais, considerou-se um aumento de 20% no preço do etanol, resultando em uma redução de 14% na quantidade demandada devido a uma elasticidade-preço estimada em -0.7. Assim, a demanda original foi ajustada multiplicando-se por 0.86 (por exemplo, 11,5 bilhões de litros de etanol hidratado em 2013 foram ajustados para 9,89 bilhões de litros). Esse cálculo foi aplicado a todos os anos para ambos os tipos de etanol, comparando-se graficamente os cenários com e sem incentivos fiscais.

A partir de 2009, a demanda por etanol no Brasil foi influenciada por políticas governamentais e incentivos fiscais que visavam promover o uso de combustíveis renováveis. A introdução do Programa de Sustentabilidade Ambiental e Promoção da Produção de Etanol, além do fortalecimento de iniciativas como o Proálcool, impulsionou o mercado de etanol

hidratado e anidro. Essa fase também foi marcada pelo aumento da frota de veículos flex-fuel, que permitem a escolha entre etanol e gasolina, aumentando a flexibilidade dos consumidores e a competitividade do etanol. No entanto, apesar das políticas de incentivo, o setor enfrentou desafios devido às flutuações nos preços internacionais do petróleo e à crise econômica de 2014, que afetaram a demanda até a recuperação gradual iniciada em 2016. A análise desse período destaca a importância de uma política contínua e estável para a manutenção e crescimento da demanda por etanol no Brasil, especialmente diante das oscilações econômicas e dos desafios ambientais.

A produção de etanol, especialmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, apresenta uma série de externalidades negativas que precisam ser cuidadosamente avaliadas. De acordo com Silva (2022), a análise do desempenho energético e econômico das unidades de produção de etanol de primeira geração nesses estados revela impactos ambientais. A expansão das plantações de cana-de-açúcar e outras culturas bioenergéticas requer grandes extensões de terra, o que muitas vezes resulta no desmatamento e na degradação de ecossistemas naturais. Essas alterações no uso da terra contribuem para a perda de biodiversidade e a erosão do solo, afetando a capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, o equilíbrio dos ecossistemas locais.

Além das questões de uso da terra, a aplicação intensiva de fertilizantes e pesticidas nas culturas destinadas à produção de etanol representa uma preocupação ambiental substancial. Campelo *et al.* (2024) relata que a eficiência energética no contexto da política nacional de biocombustíveis (RENOVABIO), mas também ressaltam os desafios ambientais associados ao uso desses agroquímicos. A contaminação das águas superficiais e subterrâneas por nitratos e fosfatos provenientes do escoamento agrícola pode levar à eutrofização de corpos d'água, prejudicando a vida aquática e tornando a água imprópria para consumo humano e irrigação. A degradação da qualidade da água tem implicações diretas na saúde pública e no meio ambiente, exigindo a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis.

A produção de etanol também é associada à emissão de gases de efeito estufa, embora seja considerada uma alternativa mais limpa em comparação aos combustíveis fósseis. As atividades agrícolas e de processamento envolvem a queima de combustíveis fósseis, contribuindo para a emissão de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa. Silva (2022) aponta que a decomposição de resíduos vegetais e a conversão de áreas florestais em terras agrícolas liberam grandes quantidades de carbono armazenado na biomassa, exacerbando o aquecimento global. Esses fatores evidenciam a necessidade de uma análise mais crítica sobre a real sustentabilidade do etanol como biocombustível.

A competição pelo uso da terra entre a produção de alimentos e de biocombustíveis é uma externalidade negativa que não pode ser negligenciada. A necessidade de extrafiscalidade na tributação do etanol à luz do desenvolvimento sustentável, destacando que a crescente demanda por culturas bioenergéticas pode elevar os preços dos alimentos e reduzir a disponibilidade de terras para a agricultura alimentícia. Esse deslocamento pode agravar a insegurança alimentar em regiões vulneráveis, onde o acesso a alimentos já é limitado. A pressão para expandir as áreas de cultivo para biocombustíveis pode levar ao desmatamento de novas áreas florestais, comprometendo ainda mais os ecossistemas (ALMEIDA, 2019).

Os impactos sociais da produção de etanol também merecem atenção. Em algumas regiões, as condições de trabalho nos campos de cultivo são precárias, com baixos salários e falta de proteção social para os trabalhadores agrícolas. Silva (2022) documenta casos de trabalho infantil e violações dos direitos trabalhistas nas cadeias de suprimento de biocombustíveis, ressaltando a necessidade de melhorias nas condições de trabalho para garantir a sustentabilidade social da produção de etanol. Essas questões sociais devem ser abordadas para que a produção de biocombustíveis contribua para o desenvolvimento sustentável de maneira holística.

A gestão de resíduos sólidos e efluentes líquidos gerados durante a produção de etanol é uma questão crítica. A necessidade de práticas adequadas de disposição de resíduos para evitar a contaminação do solo e da água. A disposição inadequada de resíduos pode resultar em poluição ambiental, afetando a produtividade agrícola e a saúde dos ecossistemas. As usinas de etanol precisam implementar sistemas de gestão de resíduos eficientes para minimizar esses impactos e promover uma produção mais sustentável (ALMEIDA, 2019).

Ao discutir as implicações desse deslocamento da curva de demanda, é essencial reconhecer o papel dos incentivos fiscais e políticas governamentais como mecanismos para estimular a adoção de combustíveis renováveis. Incentivos fiscais como reduções de impostos e subsídios diretos tornam o etanol economicamente mais atrativo para os consumidores, reduzindo o custo relativo em comparação com os combustíveis fósseis. Políticas governamentais, como mandatos de mistura de etanol na gasolina e investimentos em infraestrutura de produção e distribuição, também contribuem para aumentar a disponibilidade e conveniência do etanol.

Bacelar *et al.* (2018) explora uma abordagem inovadora na análise de investimentos em projetos de energia renovável. A aplicação da Teoria das Opções Reais (TOR) oferece uma perspectiva singular, permitindo a consideração dinâmica e flexível das decisões de investimento ao longo do tempo. O estudo destaca como a TOR pode ser uma ferramenta na

avaliação de projetos de energia renovável, considerando a natureza volátil desse setor e as incertezas inerentes.

A interação entre a política governamental e as regulamentações ambientais têm um papel vital na demanda por etanol. Ao promover um ambiente regulatório favorável e alinhar os incentivos econômicos com metas ambientais, o governo pode catalisar o crescimento sustentável do setor de etanol, consolidando-o como uma alternativa viável e atrativa no panorama energético nacional (CUNHA; SANTOS, 2022).

Um elemento de relevância na configuração da demanda por etanol no Brasil é a infraestrutura de abastecimento, auxiliando na escolha dos consumidores. A expansão da rede de postos de combustíveis que oferecem etanol não apenas simplifica o acesso, mas também confere maior conveniência aos consumidores. A presença disseminada desses postos cria um ambiente propício para a escolha do etanol como uma opção viável, influenciando a dinâmica da demanda (GANDRA *et al.*, 2019).

Segundo Danelon (2018), a disponibilidade de veículos flex-fuel representa outro fator que pode substancialmente ampliar a demanda por esse biocombustível. A presença disseminada desses veículos no mercado oferece aos consumidores uma flexibilidade notável na escolha do combustível, tornando o etanol uma opção atraente e adaptável às diferentes necessidades e preferências.

O comportamento do consumidor e a crescente conscientização ambiental são determinantes na definição da demanda por etanol. À medida que a sociedade amplia sua consciência sobre os impactos ambientais associados ao consumo de combustíveis fósseis, a busca por opções sustentáveis ganha impulso. Nesse contexto, a procura por fontes de energia renovável, como o etanol, tende a experimentar um crescimento significativo, refletindo a mudança de mentalidade em direção a práticas mais sustentáveis (SANTOS, 2023).

2.3 Produção de Etanol e Relação com a Cana-de-Açúcar

A produção de etanol no Brasil está intrinsecamente relacionada à cultura da cana-de-açúcar, que sustenta a dinâmica da oferta desse biocombustível. A forte influência da safra de cana-de-açúcar se deve à sua condição como principal matéria-prima para a produção de etanol no país. A quantidade e a qualidade da safra exercem impactos diretos sobre a disponibilidade do insumo para a produção de etanol, estabelecendo uma relação simbiótica entre esses dois elementos do setor sucroalcooleiro (VIDAL, 2020).

A alocação estratégica da cana-de-açúcar entre a produção de açúcar e etanol é diligente, refletindo as condições de mercado e as políticas vigentes no setor sucroalcooleiro. A tomada de decisão sobre como direcionar a produção dessa matéria-prima entre esses dois produtos é sensível a uma série de fatores, entre os quais se destacam os preços no mercado internacional, a demanda por açúcar e as políticas de incentivo ao etanol implementadas pelo governo brasileiro (NUNES, 2017).

A volatilidade nos preços do açúcar no mercado internacional exerce uma influência significativa na alocação da cana-de-açúcar. Em períodos de preços mais favoráveis para o açúcar, observa-se uma tendência de alocação maior da cana-de-açúcar para a produção desse produto. Essa decisão estratégica, embora compreensível do ponto de vista econômico, pode resultar na redução da disponibilidade de matéria-prima para a produção de etanol, afetando diretamente a oferta desse biocombustível (SILVA; MARESTONI, 2020).

A demanda global por açúcar é um fator determinante na equação de alocação da cana-de-açúcar. A busca por mercados consumidores mais atrativos pode influenciar a decisão dos produtores em favorecer a produção de açúcar em detrimento do etanol, dependendo das condições do mercado internacional. As políticas de incentivo ao etanol adotadas pelo governo brasileiro também têm um papel na tomada de decisão dos produtores. Incentivos fiscais, subsídios e medidas regulatórias direcionadas ao setor sucroalcooleiro podem influenciar a preferência pela produção de etanol em detrimento do açúcar, especialmente em um contexto de busca por fontes de energia mais sustentáveis (LOPES; GABRIEL; BORGES, 2017).

A dinâmica da oferta de etanol revela-se sensível a uma variedade de variáveis de mercado e às políticas governamentais que influenciam as decisões dos produtores em relação à alocação da cana-de-açúcar. A complexidade desse cenário é evidenciada pela necessidade imperativa de os produtores adaptarem constantemente suas estratégias, levando em consideração as flutuações nas condições de mercado e as diretrizes governamentais do setor (SILVA, 2022). Essa adaptação estratégica contínua é essencial para garantir a competitividade e a sustentabilidade do setor de etanol no Brasil.

Em um ambiente em constante evolução, onde as nuances do mercado e as intervenções governamentais têm papéis interligados, a capacidade de resposta ágil dos produtores é essencial para manter a competitividade e a sustentabilidade do setor de etanol no Brasil. A interação entre as variáveis de mercado e as políticas setoriais, conforme apontado por Silva (2022), delinea uma realidade na qual a adaptação estratégica contínua

serve para enfrentar os desafios e para alinhar a produção de etanol com as demandas do mercado e as metas governamentais.

A flexibilidade na alocação da cana-de-açúcar representa uma habilidade para os produtores, permitindo-lhes adaptar suas estratégias conforme as variações nas condições de mercado e nas políticas setoriais. Essa flexibilidade é particularmente relevante em um contexto diligente, onde as preferências do consumidor, os preços internacionais e as políticas governamentais podem mudar rapidamente (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).

A gestão da alocação da cana-de-açúcar entre açúcar e etanol não é apenas uma questão de maximização da rentabilidade imediata, mas sim um exercício estratégico que requer uma avaliação contínua das variáveis do mercado e uma adaptação ágil às políticas governamentais. Nesse sentido, a dinâmica da oferta de etanol está intrinsecamente ligada à capacidade dos produtores de navegar com destreza em um ambiente complexo e em constante evolução (GANDRA *et al.*, 2019).

2.4 Impacto das Condições Climáticas na Oferta de Etanol

A avaliação do impacto das condições climáticas na oferta de etanol no Brasil é uma consideração de extrema relevância, uma vez que existe uma estreita correlação entre a produção desse biocombustível e as características ambientais específicas do país. A cana-de-açúcar, primordial matéria-prima para a fabricação de etanol, demonstra uma elevada sensibilidade às variações meteorológicas, sendo que as condições climáticas auxiliam para o êxito da safra (DANELON, 2018).

Conforme observado por Vidal (2020), a sensibilidade da cana-de-açúcar a eventos climáticos extremos assume uma importância preponderante na dinâmica da oferta de etanol. A exposição a condições meteorológicas adversas, como secas prolongadas e inundações, tem um papel de relevância, impactando diretamente a produtividade e a qualidade da safra e, por conseguinte, afetando a quantidade de cana disponível para a produção de etanol. A análise aprofundada dessas interações climáticas é essencial para uma compreensão dos desafios enfrentados pelo setor sucroalcooleiro brasileiro, permitindo uma gestão mais eficaz diante das variabilidades climáticas e a garantia de uma oferta estável de etanol no mercado.

Em períodos de secas prolongadas, a cana-de-açúcar é particularmente suscetível a uma redução na produtividade devido à diminuição da disponibilidade de água no solo. Essa escassez hídrica compromete o desenvolvimento da planta, resultando em menor rendimento de sacarose, principal componente utilizado na produção de etanol. Por outro lado, inundações

representam uma ameaça distinta para a oferta de etanol, pois podem prejudicar significativamente o desenvolvimento da cana-de-açúcar. O excesso de água no solo afeta as raízes da planta, comprometendo sua capacidade de absorver nutrientes e levando a danos consideráveis, resulta não apenas em uma redução da produtividade, mas também em uma diminuição na qualidade da cana (FAVARO; SANTOS; PARENTE, 2010)

As flutuações de temperatura se destacam como um fator de extrema relevância no cenário da produção de etanol, uma vez que a cana-de-açúcar demonstra uma notável sensibilidade aos requisitos específicos de temperatura para seu desenvolvimento ideal. Variações extremas nesses parâmetros climáticos têm o potencial de exercer impactos adversos diretos sobre o rendimento da cultura, impactando de maneira significativa a quantidade de matéria-prima disponível para a produção de etanol. A compreensão aprofundada desses efeitos diretos das flutuações de temperatura é essencial para a gestão eficaz do setor sucroalcooleiro (GANDRA, 2019).

A compreensão do impacto das condições climáticas na oferta de etanol não apenas destaca a vulnerabilidade inerente do setor sucroalcooleiro a eventos climáticos adversos, mas também enfatiza a necessidade premente de estratégias adaptativas e investimentos em tecnologias capazes de mitigar os efeitos dessas variabilidades climáticas. Em face desse desafio, o desenvolvimento de práticas agrícolas mais resilientes surge como uma medida essencial, visando adaptar as operações agrícolas às mudanças nas condições térmicas (MARESTONI, 2020).

Um aspecto do impacto é o uso intensivo de água na produção de etanol. Campelo *et al.* (2024) indicam que a irrigação de culturas bioenergéticas como a cana-de-açúcar requer grandes volumes de água, o que pode levar à escassez hídrica em regiões onde a água já é um recurso escasso. A competição pelo uso da água entre a agricultura, o consumo humano e outros setores econômicos pode intensificar conflitos e tensões sociais, especialmente em períodos de seca. A gestão eficiente dos recursos hídricos é essencial para mitigar esses impactos negativos e garantir a sustentabilidade da produção de etanol.

A adoção de sistemas de irrigação eficientes constitui uma medida concreta para enfrentar os desafios decorrentes das condições climáticas variáveis. Ao garantir um fornecimento adequado de água, esses sistemas não apenas colaboram na preservação do crescimento saudável da cana-de-açúcar, mas também conferem estabilidade à produção, mesmo diante de oscilações térmicas extremas. Estratégias destinadas a promover a adaptação agrícola e a adaptação às condições climáticas adversas não apenas garantem a continuidade

da produção de etanol, mas também contribuem substancialmente para a estabilidade do mercado brasileiro desse biocombustível (NINA, 2020).

O Quadro 1 apresenta uma síntese das contribuições dos diversos autores abordados no texto em relação à matriz energética brasileira, sustentabilidade e demanda por etanol. Cada autor trouxe perspectivas distintas e relevantes para a discussão, destacando-se em áreas como a transformação da matriz energética, a ênfase na produção renovável de etanol, a convergência na mitigação ambiental, a influência do preço relativo do etanol na demanda, a importância de políticas governamentais, a interação entre política e regulamentações ambientais, a análise de infraestrutura e comportamento do consumidor, além de estudos acadêmicos sobre o setor de energia renovável.

Quadro 1. Contribuições dos autores em relação à matriz energética

Autor	Contribuições Principais
Oliveira, Alencar e Souza (2008), Furtado (2010), Bacelar <i>et al.</i> (2018)	Discussão sobre a matriz energética.
Nunes (2017)	Destaca a interdependência entre a safra da cana-de-açúcar e a oferta de etanol.
Lopes, Gabriel e Borges (2017)	Consideração da demanda global por açúcar e das políticas de incentivo ao etanol.
Tasca (2017)	Ênfase no papel do etanol na transformação da matriz energética, ressaltando sua produção renovável.
Gandra <i>et al.</i> (2019)	Abordagem de infraestrutura e veículos flex-fuel, alinhando-se com a influência do comportamento do consumidor.
Gandra (2019)	Aborda a importância da resposta ágil dos produtores diante das variabilidades climáticas.
Marestoni (2020)	Destaque para a necessidade de gestão proativa e adaptação contínua diante dos desafios climáticos.
Nina (2020)	Ressalta a contribuição do etanol na redução de emissões de carbono.

Silva e Marestoni (2020)	Análise da volatilidade nos preços do açúcar e seu impacto na alocação da cana-de-açúcar.
Vidal (2020)	Associação entre o etanol e a cana-de-açúcar como fonte de biomassa renovável.
Pagani, Firme e Santos (2022)	Ampliação do tema, enfatizando a influência de políticas governamentais na demanda por etanol.
Cunha e Santos (2022)	Importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais.
Silva (2022)	Evidencia a sensibilidade da oferta de etanol a variáveis de mercado e políticas governamentais.
Santos (2023)	Destaque para a influência do preço relativo do etanol na demanda.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Essa síntese oferece uma visão das diferentes perspectivas que contribuem para uma compreensão da interconexão entre produção, demanda e os desafios enfrentados pelo setor sucroalcooleiro brasileiro, ressaltando a importância estratégica do etanol na construção de uma matriz energética mais sustentável e na busca por segurança energética. Os autores exploraram a produção de etanol e sua relação com a cana-de-açúcar, as variações nos preços do açúcar, a demanda global por açúcar, a sensibilidade da oferta de etanol às variáveis de mercado, a necessidade de adaptação estratégica contínua e a gestão proativa diante dos desafios climáticos.

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com caráter exploratório. Segundo Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa bibliográfica sobre determinado assunto tem por finalidade desenvolver investigações ou definir problemas, tendo em vista estabelecer proposições, acrescentando uma maior intimidade do pesquisador com o objeto de estudo, acontecimento ou por algum feito, converter ideias e explicar dúvidas. O trabalho segue abordagem descritiva e argumentativa.

A seleção dos artigos incluídos no estudo foi realizada por meio de uma busca

sistemática em bases de dados tradicionais, como a Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed, Scopus e Web of Science. Essas bases de dados foram escolhidas devido à sua reputação de conterem um amplo espectro de artigos científicos e por serem de fácil acesso e domínio para o pesquisador. A escolha dessas bases de dados é fundamental para garantir que a revisão bibliográfica abranja uma variedade de fontes confiáveis e relevantes para o tema em questão.

A busca por artigos nessas bases de dados foi conduzida utilizando-se uma combinação de palavras-chave relacionadas ao mercado de etanol brasileiro, como "etanol", "biocombustíveis", "mercado de energia", entre outras. Essa estratégia de busca foi projetada para identificar estudos que abordassem diretamente o tema de interesse, garantindo assim a inclusão de artigos pertinentes à pesquisa.

Após a realização da busca, os artigos foram avaliados quanto à sua relevância e adequação aos objetivos da pesquisa. Foram considerados critérios como o enfoque no mercado de etanol brasileiro, a atualidade das informações apresentadas, a qualidade metodológica do estudo e a contribuição para o avanço do conhecimento sobre o tema. Os artigos selecionados foram então incluídos na revisão bibliográfica, que seguiu uma abordagem descritiva e argumentativa, permitindo ao pesquisador apresentar e discutir as principais descobertas e perspectivas encontradas na literatura revisada.

4 DISCUSSÃO

A discussão sobre a matriz energética brasileira e a demanda por etanol, conforme abordada pelos diversos autores que são citados neste texto, revela uma convergência de perspectivas em relação à relevância estratégica do etanol na transição para fontes mais sustentáveis e na construção da segurança energética do país.

Estudos como os de Oliveira, Alencar e Souza (2008), Furtado (2010) e Bacelar *et al.* (2018) fornecem uma base para a compreensão da dinâmica do setor de energia renovável, abordando a oferta e demanda de etanol, perspectivas econômicas e aplicação de teorias inovadoras na análise de investimentos em projetos de energia renovável. Os estudos abordam as perspectivas econômicas associadas ao setor de energia renovável. Ao examinarem os aspectos financeiros e econômicos da produção e utilização de etanol, eles contribuem para uma avaliação dos benefícios e desafios dessa forma de energia, é para informar políticas públicas e decisões de investimento tanto no nível empresarial quanto governamental.

Uma contribuição significativa desses estudos é a aplicação de teorias inovadoras na análise de investimentos em projetos de energia renovável. Ao incorporarem abordagens teóricas avançadas, essas pesquisas oferecem novas perspectivas sobre questões como avaliação de risco, precificação de ativos e otimização de portfólio em contextos específicos do setor de energia renovável, não apenas enriquece o conhecimento acadêmico, mas também fornece orientações práticas para investidores e tomadores de decisão.

Tasca (2017) destaca a transformação da matriz energética brasileira, historicamente dependente de fontes fósseis, mediante a ascensão do etanol. A autora enfatiza o papel do etanol na redução das emissões de gases de efeito estufa, sublinhando sua produção a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar. Ao reconhecer o papel do etanol na diversificação da matriz energética brasileira, a autora destaca os benefícios econômicos e sociais associados ao desenvolvimento da indústria do etanol. Essa transformação não apenas contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também promove a geração de empregos, o desenvolvimento regional e a segurança energética do país.

A demanda global por açúcar, conforme mencionado por Lopes, Gabriel e Borges (2017), atua na equação de alocação da cana-de-açúcar. A busca por mercados consumidores mais atrativos pode influenciar a preferência dos produtores pela produção de açúcar em detrimento do etanol, ocorre devido à flutuação dos preços no mercado internacional e às variações na demanda por produtos açucareiros em diferentes regiões do mundo. Quando os preços do açúcar estão mais favoráveis, os produtores tendem a direcionar uma parcela maior de sua produção para atender a essa demanda, em detrimento da produção de etanol.

Por outro lado, as políticas de incentivo ao etanol implementadas pelo governo brasileiro, conforme apontado por Lopes, Gabriel e Borges (2017), têm o potencial de direcionar a preferência dos produtores para a produção de etanol. Essas políticas incluem incentivos fiscais, subsídios e regulamentações que visam promover o uso de biocombustíveis, como o etanol, como uma alternativa mais sustentável e ambientalmente amigável aos combustíveis fósseis. Em um contexto de crescente preocupação com as mudanças climáticas e a segurança energética, essas políticas atuam na orientação das decisões dos produtores de cana-de-açúcar.

Assim, a interação entre a demanda global por açúcar e as políticas governamentais de incentivo ao etanol cria um cenário complexo para os produtores de cana-de-açúcar. Eles precisam considerar uma variedade de fatores, incluindo as condições do mercado internacional, os incentivos governamentais e as questões ambientais, ao decidir a alocação de sua produção entre açúcar e etanol. Essa dinâmica pode ter importantes implicações não

apenas para a economia brasileira, mas também para a indústria global de biocombustíveis e alimentos.

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar apresenta uma convergência de perspectivas entre os autores, destacando a interdependência entre a safra da cana-de-açúcar e a oferta de etanol no Brasil. Vidal (2020) ressalta a condição fundamental da cana-de-açúcar como principal matéria-prima para a produção de etanol, enfatizando a influência direta da qualidade e quantidade da safra sobre a disponibilidade desse insumo energético. A safra da cana-de-açúcar é, portanto, um determinante para a oferta de etanol no país, sendo que variações na produção da safra podem impactar significativamente a disponibilidade e os preços do etanol no mercado.

A alocação estratégica da cana-de-açúcar entre a produção de açúcar e etanol, conforme abordado por Nunes (2017), é um processo dinâmico e sensível a uma série de fatores. Dentre esses fatores, destacam-se os preços no mercado internacional, a demanda por açúcar e as políticas governamentais de incentivo ao etanol. Os produtores de cana-de-açúcar precisam constantemente avaliar esses elementos para tomar decisões sobre como alocar sua produção entre açúcar e etanol, visando maximizar seus retornos financeiros e atender às demandas do mercado.

Essa interação entre oferta e demanda, qualidade da safra, políticas governamentais e condições do mercado internacional cria um ambiente complexo para os produtores de etanol e cana-de-açúcar no Brasil. Eles precisam lidar com uma série de variáveis que afetam diretamente a rentabilidade e a sustentabilidade de suas operações. Portanto, entender essa relação entre a safra da cana-de-açúcar e a oferta de etanol é essencial para compreender a dinâmica do mercado de biocombustíveis no país e para formular políticas eficazes no setor.

A abordagem de Nina (2020) enfatiza a contribuição do etanol para a diminuição das emissões de carbono, ressaltando sua menor emissão líquida de gases de efeito estufa em comparação com os combustíveis derivados do petróleo. Essa perspectiva converge com as conclusões de Vidal (2020), que também destaca o papel fundamental do etanol na mitigação ambiental. Ao associar o etanol à cana-de-açúcar como uma fonte de biomassa renovável, Vidal (2020) corrobora a visão de Nina (2020) sobre a sustentabilidade do etanol.

A convergência entre os autores evidencia um consenso em torno do papel do etanol na transição para uma matriz energética mais verde e na redução das emissões de gases de efeito estufa. A menor pegada de carbono do etanol em comparação com os combustíveis fósseis é um ponto amplamente aceito na literatura especializada em energia e meio ambiente.

Essa característica torna o etanol uma alternativa atraente para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos das mudanças climáticas.

A associação do etanol à cana-de-açúcar como fonte de biomassa renovável destaca a importância de considerar não apenas o desempenho ambiental do biocombustível, mas também sua base de matéria-prima. A cana-de-açúcar é reconhecida por sua alta eficiência na captura de carbono durante seu ciclo de crescimento, o que contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de etanol.

A análise de Santos (2023) destaca a importância do preço relativo do etanol em relação aos combustíveis concorrentes como um fator determinante na demanda por este biocombustível. Esta perspectiva ressalta a dinâmica econômica como um elemento central na determinação do consumo de etanol, com períodos de competitividade impulsionando a procura pelo biocombustível. A sensibilidade dos consumidores ao preço relativo do etanol em comparação com outras opções de combustível é um aspecto fundamental a ser considerado na formulação de políticas e estratégias para promover sua utilização.

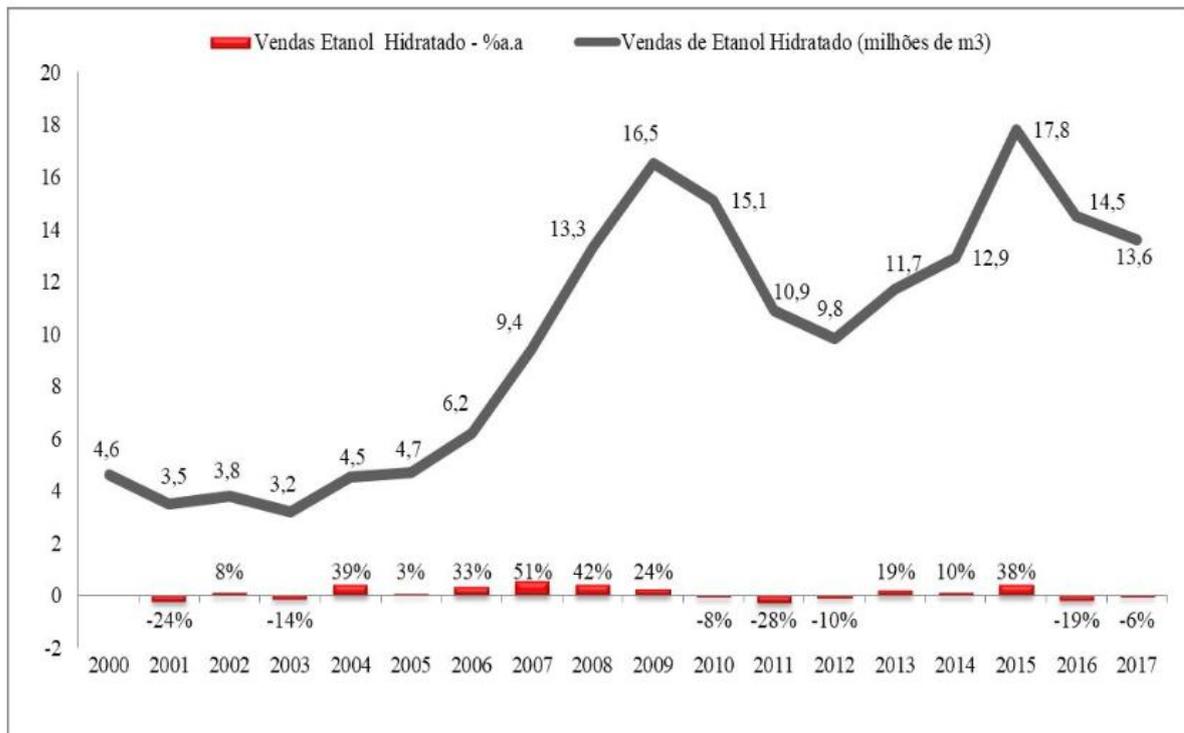
Nesse contexto, a queda no consumo de etanol hidratado após 2015, evidenciada no Gráfico 5, é um reflexo direto da recessão econômica enfrentada pelo Brasil naquele período, a qual impactou negativamente as vendas de veículos e resultou em um aumento significativo do desemprego. Esses fatores reduziram o poder de compra dos consumidores, tornando-os mais sensíveis aos preços dos combustíveis e levando a uma diminuição na demanda por etanol, conforme observado por Franco (2018). Assim, a dinâmica econômica e os desafios macroeconômicos enfrentados pelo país atuam na variação do consumo de etanol ao longo do tempo. Em períodos de instabilidade econômica, como recessões, os consumidores tendem a priorizar gastos essenciais e a reduzir o consumo de bens considerados não essenciais, como os combustíveis alternativos.

No que diz respeito ao mercado brasileiro de etanol, o período de 2000 a 2003 se manifestou principalmente em dois aspectos: primeiro, as vendas de veículos a etanol foram lentas, especialmente em 2000 e 2001, com apenas 10.292 e 18.335 veículos, respectivamente; segundo, que o preço do etanol aumentou, principalmente de julho de 2001 a março de 2003, quando o preço aumentou 57%. Além disso, os preços brasileiros da gasolina também se estabilizaram, com preço médio de R\$ 1,87, com variação média mensal de aproximadamente 1% no período (ANFAVEA, 2016; ANP, 2016).

Entre 2004 e 2009, a procura no mercado interno cresceu e as vendas de etanol aumentaram, em grande parte devido à entrada de veículos bicombustíveis no mercado e aos preços do etanol que se tornaram mais competitivos do que os preços da gasolina na maioria

da região do país. Por outro lado, entre 2010 e 2012, devido à baixa produção, a produção nacional foi inferior à demanda, resultando num declínio na competitividade do etanol em relação à gasolina. É importante ressaltar que a queda no consumo de etanol hidratado após 2015 se deve principalmente ao período de recessão econômica que o país atravessa em que as vendas de automóveis diminuíram, e principalmente ao aumento geral do desemprego.

Gráfico 5. Consumo de etanol ao longo do período de 2000 a 2017



Fonte: FRANCO (2018).

A forte demanda interna, aliada a fatores naturais que afetaram a safra 2011/2012 do país, como a seca prolongada em diversas regiões do país, as chuvas que prejudicaram a colheita da cana-de-açúcar e a baixa eficiência produtiva, fizeram com que o país importasse mais de 1,5 bilhão de litros em Etanol 2011, responsável por aproximadamente 5% da produção nacional de 22,6 bilhões de litros em 2010/2011. As importações vêm principalmente dos Estados Unidos, o maior produtor mundial de etanol, extraído principalmente do milho.

Acredita-se que o fato de os Estados Unidos serem um grande importador e exportador de etanol brasileiro seja a razão pela qual o custo de US\$ 0,54 por galão de compra de etanol do Brasil desapareceu em 2011. Desde então, a procura de exportação de etanol aumentou 184% entre 2011 e 2012. Além disso, foi demonstrado que outros fatores podem ter contribuído para o aumento dos preços do etanol, como o preço do açúcar vendido nos

mercados interno e externo (exportações) sendo um dos principais fatores que influenciam a variação do valor.

Pagani, Firme e Santos (2022) ampliam essa discussão ao enfatizar o impacto positivo de políticas governamentais, incentivos fiscais e subsídios na promoção ativa do etanol. Essas medidas podem influenciar significativamente a competitividade do etanol em relação aos combustíveis fósseis, tornando-o mais atraente para os consumidores e impulsionando sua demanda. Incentivos como redução de impostos sobre a produção e distribuição de etanol, subsídios para produtores e consumidores, e políticas de mandato de mistura de biocombustíveis podem contribuir para tornar o etanol uma opção mais econômica e acessível.

A convergência entre as análises de Santos (2023) e Pagani, Firme e Santos (2022) destaca a interação complexa entre fatores econômicos e políticas governamentais na determinação da demanda por etanol. Enquanto o preço relativo do etanol tem um papel fundamental na tomada de decisão dos consumidores, as políticas governamentais podem ser utilizadas como instrumentos para promover ativamente o uso do biocombustível, estimulando sua adoção e contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa. Essa discussão evidencia a importância de uma abordagem integrada e multifacetada para promover a sustentabilidade e a eficiência no setor de energia.

A abordagem de Cunha e Santos (2022) sobre a interação entre a política governamental e as regulamentações ambientais como elementos orientadores da demanda por etanol oferece uma perspectiva significativa sobre a influência dos fatores externos na adoção deste biocombustível. A convergência entre suas análises e a de Vidal (2020) ressalta a importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais, consolidando o etanol como uma opção viável no panorama energético nacional.

A interação entre política governamental e regulamentações ambientais é para moldar o ambiente regulatório no qual o etanol opera. As políticas que incentivam o uso do etanol, como subsídios, mandatos de mistura e incentivos fiscais, podem impulsionar sua demanda, ao passo que as regulamentações ambientais, como limites de emissões e metas de redução de gases de efeito estufa, podem favorecer sua adoção como uma alternativa mais sustentável em comparação com combustíveis fósseis.

Nesse sentido, a convergência entre as análises de Cunha e Santos (2022) e Vidal (2020) destaca a importância de uma abordagem integrada para promover o uso do etanol como parte de uma estratégia mais ampla de transição energética e redução das emissões de carbono. Ao alinhar as políticas governamentais com objetivos ambientais de longo prazo, é

possível consolidar o etanol como uma opção viável e sustentável no panorama energético nacional, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Essa convergência entre as análises reforça a necessidade de uma abordagem holística e coordenada para enfrentar os desafios energéticos e ambientais enfrentados pelo país.

A infraestrutura de abastecimento e a disseminação de veículos flex-fuel emergem como fatores cruciais discutidos por Gandra *et al.* (2019) e Danelon (2018), destacando a importância de elementos práticos na escolha do consumidor no que diz respeito ao uso de etanol como combustível. Esses aspectos, aliados ao comportamento do consumidor, influenciado pela crescente conscientização ambiental (Santos, 2023), delineiam uma complexa rede de determinantes na formação da demanda por etanol.

A disponibilidade de infraestrutura de abastecimento, incluindo postos de combustível que oferecem etanol em suas bombas, auxilia na escolha do consumidor. A disseminação de veículos flex-fuel, capazes de utilizar tanto etanol quanto gasolina, aumenta a conveniência e a acessibilidade do etanol como opção de combustível. Esses fatores práticos influenciam diretamente a demanda por etanol, pois os consumidores tendem a optar pelo combustível que está mais disponível e compatível com seus veículos.

Por outro lado, o comportamento do consumidor também é moldado por considerações ambientais, como mencionado por Santos (2023). À medida que a conscientização ambiental cresce e as preocupações com as mudanças climáticas se intensificam, os consumidores tendem a valorizar mais os combustíveis renováveis e com menor impacto ambiental, como o etanol, pode levar a um aumento na demanda por etanol, especialmente se os consumidores perceberem que seu uso contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes.

Essa complexa interação entre fatores práticos, como infraestrutura e veículos flex-fuel, e considerações ambientais, influenciadas pelo comportamento do consumidor, destaca a natureza multifacetada da formação da demanda por etanol. Para promover ainda mais o uso desse biocombustível, é essencial não apenas expandir a infraestrutura de abastecimento e a disponibilidade de veículos flex-fuel, mas também continuar educando os consumidores sobre os benefícios ambientais do etanol e incentivando práticas sustentáveis de consumo de energia.

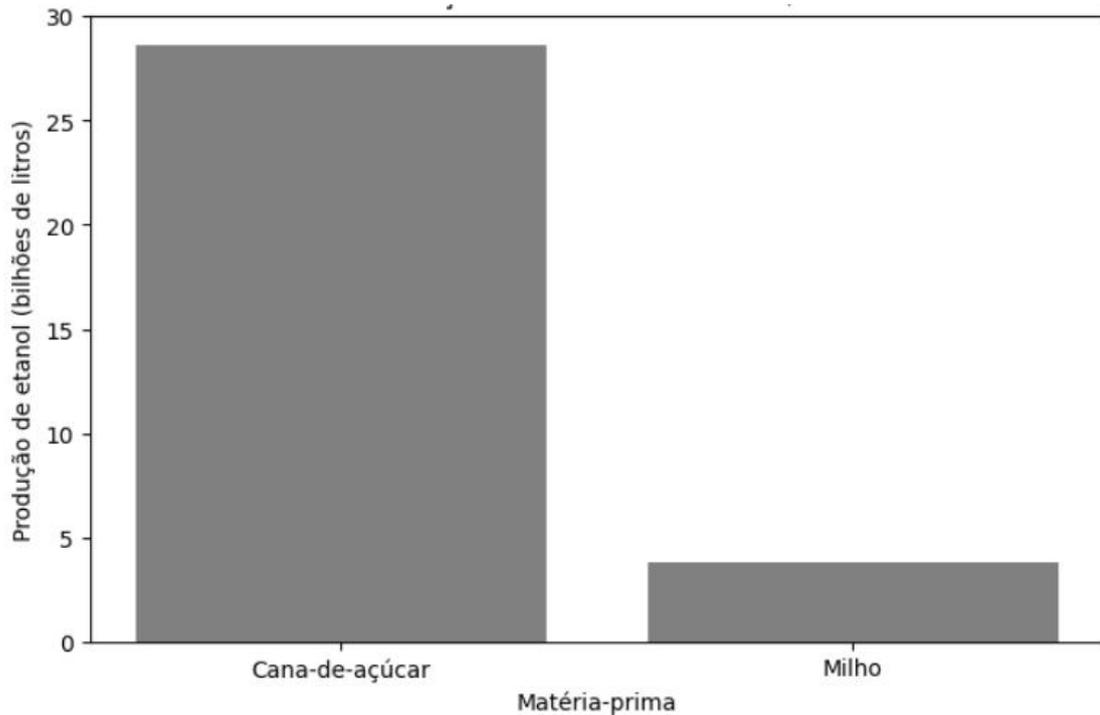
A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é tema de convergência entre os autores, destacando a estreita interdependência entre a safra da cana-de-açúcar e a oferta de etanol no Brasil. Vidal (2020) enfatiza a importância da cana-de-açúcar como principal matéria-prima para a produção de etanol, enfatizando a influência direta que a qualidade e

quantidade da safra exercem sobre a disponibilidade desse insumo energético. A safra da cana-de-açúcar, portanto, emerge como um determinante fundamental para a oferta de etanol, uma vez que variações na produção da safra podem impactar significativamente a disponibilidade e os preços do etanol no mercado.

A alocação estratégica da cana-de-açúcar entre a produção de açúcar e etanol, conforme abordado por Nunes (2017), é um processo diligente e sensível a uma série de fatores. Entre esses fatores, destacam-se os preços no mercado internacional, a demanda por açúcar e as políticas governamentais de incentivo ao etanol. Os produtores de cana-de-açúcar precisam constantemente avaliar esses elementos para decidir como alocar sua produção entre açúcar e etanol, visando maximizar seus retornos financeiros e atender às demandas do mercado.

Essa convergência de perspectivas entre os autores destaca a complexidade da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e sua relação com os diversos fatores que influenciam a agricultura e a economia brasileira. A interdependência entre a safra da cana-de-açúcar e a oferta de etanol, aliada à dinâmica da alocação estratégica da cana entre açúcar e etanol, reflete a complexidade e a sensibilidade do setor sucroenergético às condições de mercado e políticas governamentais. Essa discussão evidencia a importância de uma abordagem integrada e multidisciplinar para compreender e gerenciar eficazmente a produção de etanol no Brasil.

Na safra 23/24, a produção de etanol no Brasil foi influenciada por eventos climáticos adversos, como variações de temperatura e chuvas intensas. Apesar desses desafios, a produção total de etanol atingiu 28,62 bilhões de litros até metade de novembro, representando um aumento de quase 11% em relação ao ciclo anterior (Gráfico 6). A cana-de-açúcar continuou sendo a principal matéria-prima, mas houve um notável aumento na produção de etanol a partir do milho, que registrou um crescimento de 42,80% em comparação com a safra anterior. Esses dados destacam a adaptação do setor diante das adversidades climáticas e a importância da diversificação das fontes de matéria-prima para garantir a segurança e a sustentabilidade do abastecimento de etanol (BABA, 2024).

Gráfico 6. Produção de Etanol na Safra 23/24 por Matéria-prima

Fonte: Elaboração própria (2024).

A produção de etanol no Brasil é uma atividade altamente sensível às condições climáticas devido à sua dependência da agricultura, principalmente da cana-de-açúcar. Na safra 23/24, eventos climáticos adversos, como variações de temperatura e chuvas intensas, impactaram significativamente a produção. No entanto, apesar desses desafios, o setor demonstrou adaptação ao alcançar um aumento substancial na produção de etanol em comparação com o ciclo anterior. O crescimento de quase 11% na produção total de etanol até metade de novembro é um indicador da capacidade de adaptação e resposta eficaz do setor diante das adversidades. O notável aumento na produção de etanol a partir do milho destaca a importância da diversificação das fontes de matéria-prima para mitigar os impactos negativos das condições climáticas variáveis. Essa diversificação contribui para a segurança e a sustentabilidade do abastecimento de etanol, fortalecendo a adaptação do setor frente aos desafios ambientais em curso.

O Brasil produz etanol principalmente a partir da cana-de-açúcar, esta matéria-prima é mais eficiente em termos energéticos comparada ao milho, que é a principal fonte de etanol nos Estados Unidos. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), a produção brasileira de etanol em 2022 foi de aproximadamente 33 bilhões de litros, enquanto nos Estados Unidos, a produção atingiu cerca de 57 bilhões de litros no mesmo período (EIA, 2022). Embora os EUA liderem em volume, o

etanol de cana-de-açúcar brasileiro é reconhecido por sua maior eficiência energética e menores emissões de gases de efeito estufa.

No contexto do mercado internacional, o Brasil se destaca não apenas pela produção interna, mas também pelas exportações de etanol. O Brasil produz etanol principalmente a partir da cana-de-açúcar, uma matéria-prima mais eficiente em termos energéticos comparada ao milho, utilizado predominantemente nos Estados Unidos. Em 2022, a produção brasileira de etanol foi de aproximadamente 33 bilhões de litros, enquanto nos Estados Unidos atingiu cerca de 57 bilhões de litros. Apesar do maior volume produzido pelos EUA, o etanol de cana-de-açúcar brasileiro é reconhecido por sua maior eficiência energética e menores emissões de gases de efeito estufa (ANP, 2022; EIA, 2022). No contexto internacional, o Brasil destaca-se não apenas pela produção interna, mas também pelas exportações, totalizando cerca de 2,5 bilhões de litros em 2022, principalmente para os Estados Unidos, União Europeia e Japão (ANP, 2022).

As condições climáticas favoráveis do Brasil permitem múltiplas colheitas de cana-de-açúcar ao ano, aumentando a eficiência da produção, enquanto a produção de milho nos EUA é sujeita a variações sazonais e climáticas. As práticas agrícolas brasileiras, incluindo a colheita mecanizada e o uso de tecnologia avançada, contribuem para a eficiência e sustentabilidade da produção. No entanto, a expansão das plantações de cana-de-açúcar no Brasil levanta preocupações sobre desmatamento e impactos na biodiversidade (EMBRAPA, 2022), enquanto nos EUA, a produção intensiva de milho é criticada pelo alto consumo de água e uso de fertilizantes, resultando em poluição ambiental (EWG, 2022).

A volatilidade nos preços do açúcar no mercado internacional, conforme discutido por Silva e Marestoni (2020), emerge como um elemento crítico na alocação da cana-de-açúcar. Períodos de preços mais favoráveis para o açúcar frequentemente direcionam a produção para esse produto. Essa decisão estratégica, embora compreensível do ponto de vista econômico, pode ter impactos diretos na oferta de etanol, evidenciando a complexidade nas decisões de alocação da matéria-prima.

Quando os preços do açúcar estão mais altos, os produtores de cana-de-açúcar tendem a direcionar uma parte significativa de sua produção para a fabricação de açúcar, visto que pode resultar em retornos financeiros mais atrativos. Essa escolha é influenciada pela busca por lucratividade e maximização de receitas, refletindo uma abordagem orientada pelo mercado. No entanto, essa alocação preferencial da cana-de-açúcar para a produção de açúcar pode afetar diretamente a oferta de etanol. Com menos matéria-prima disponível para a

produção de etanol, a oferta desse biocombustível pode ser reduzida, levando a um aumento nos preços do etanol ou até mesmo a uma escassez temporária no mercado.

Essa dinâmica ressalta a complexidade das decisões enfrentadas pelos produtores de cana-de-açúcar e pela indústria sucroenergética como um todo. Eles precisam avaliar uma série de fatores, incluindo não apenas os preços do açúcar e do etanol, mas também considerações logísticas, políticas governamentais e demanda do mercado, ao decidir como alocar sua produção de cana-de-açúcar entre os diferentes produtos finais.

A dinâmica intrincada da oferta de etanol, conforme evidenciado por Silva (2022), reflete a sensibilidade às variáveis de mercado e às políticas governamentais. A adaptação estratégica contínua dos produtores, considerando as flutuações nas condições de mercado e as diretrizes governamentais do setor, é essencial para a competitividade e sustentabilidade do setor de etanol no Brasil.

A oferta de etanol é altamente sensível a uma série de fatores, incluindo os preços da matéria-prima, a demanda do mercado, os custos de produção e as políticas governamentais relacionadas ao setor de biocombustíveis. A interação desses fatores cria um ambiente diligente e complexo, no qual os produtores de etanol precisam operar de maneira ágil e estratégica para manter sua competitividade.

As flutuações nas condições de mercado, como mudanças nos preços do petróleo ou na demanda por biocombustíveis, podem impactar diretamente a oferta de etanol, influenciando as decisões dos produtores sobre investimentos, produção e alocação de recursos. As políticas governamentais, como incentivos fiscais, subsídios e regulamentações ambientais, têm um papel significativo na determinação da viabilidade econômica e operacional do setor de etanol.

Ao explorar o impacto das condições climáticas na oferta de etanol, Vidal (2020) destaca a vulnerabilidade do setor sucroalcooleiro a eventos climáticos adversos. A exposição a secas prolongadas e inundações pode comprometer diretamente a produtividade e qualidade da safra, afetando a quantidade de cana disponível para a produção de etanol. Nina (2020) acentua a sensibilidade da cana-de-açúcar às variações térmicas, sublinhando a importância de compreender os efeitos diretos das flutuações de temperatura na produção de etanol. A capacidade de resposta ágil dos produtores, como discutido por Gandra *et al.* (2019), é vital para mitigar os impactos adversos das variabilidades climáticas.

A vulnerabilidade do setor sucroalcooleiro a eventos climáticos adversos é um aspecto importante a ser considerado na análise da oferta de etanol. Secas prolongadas e inundações podem ter efeitos devastadores sobre as plantações de cana-de-açúcar, reduzindo não apenas a

quantidade, mas também a qualidade da safra. Esses eventos climáticos extremos podem levar a uma diminuição na disponibilidade de cana para a produção de etanol, afetando assim a oferta do biocombustível no mercado.

As variações térmicas também podem ter um impacto significativo na produção de etanol. A cana-de-açúcar é sensível às mudanças de temperatura, e variações extremas podem afetar seu crescimento e desenvolvimento. Temperaturas muito altas ou muito baixas podem reduzir a produtividade da cultura e comprometer a qualidade da matéria-prima para a produção de etanol. Nesse contexto, a capacidade de resposta rápida e eficaz dos produtores é fundamental para mitigar os impactos adversos das variabilidades climáticas na oferta de etanol. Estratégias de gestão de riscos, investimentos em tecnologia e infraestrutura resiliente, e práticas agrícolas adaptativas são essenciais para ajudar os produtores a enfrentar os desafios impostos pelo clima em constante mudança.

A gestão proativa e a adaptação estratégica contínua, conforme discutido por Marestoni (2020), são essenciais para enfrentar os desafios climáticos e garantir uma oferta estável de etanol. A discussão sobre a necessidade de sistemas de irrigação eficientes, como mencionado por Gandra (2019), destaca medidas concretas para enfrentar os desafios climáticos variáveis.

A abordagem proativa e estratégica na gestão das operações agrícolas é fundamental para lidar com a variabilidade climática e seus impactos na produção de cana-de-açúcar e, por consequência, na oferta de etanol. Os produtores precisam estar preparados para enfrentar eventos climáticos extremos, como secas ou inundações, implementando práticas agrícolas adaptativas e investindo em tecnologias que aumentem a adaptação das plantações.

Nesse sentido, a irrigação adequada pode ajudar a mitigar os efeitos negativos da seca, garantindo um suprimento adequado de água para as plantações de cana-de-açúcar mesmo durante períodos de escassez de chuva. A gestão eficiente dos recursos hídricos contribui para a sustentabilidade ambiental e econômica das operações agrícolas, reduzindo o desperdício de água e otimizando o uso dos recursos disponíveis.

A análise convergente dos diversos autores revela a importância estratégica do etanol na matriz energética brasileira e na transição para fontes mais sustentáveis. Destaca-se a ênfase na redução das emissões de gases de efeito estufa, associada à produção de etanol a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar. A interação dinâmica entre a alocação da cana-de-açúcar, influenciada por fatores econômicos e políticos, e as condições climáticas, evidencia a complexidade na oferta de etanol.

Quanto à demanda, fatores econômicos, políticos e comportamentais, como o preço relativo do etanol, políticas governamentais, conscientização ambiental e infraestrutura de abastecimento, emergem como determinantes. A convergência das perspectivas dos autores contribui para uma compreensão da interconexão entre produção, demanda e os desafios enfrentados pelo setor sucroalcooleiro brasileiro, consolidando o etanol como peça fundamental na construção de uma matriz energética mais sustentável e na busca por segurança energética.

O aumento no preço médio anual do etanol, aproximadamente de 64% entre 2006 e 2017 (Tabela 1), reflete uma série de fatores que influenciaram o mercado de biocombustíveis no Brasil ao longo desse período. Uma das principais razões para esse aumento pode ser atribuída à crescente demanda por etanol como uma alternativa mais limpa e renovável em comparação com combustíveis fósseis, em linha com políticas governamentais de incentivo ao uso de biocombustíveis e redução das emissões de carbono.

Tabela 1. Preço médio anual do etanol entre 2006 e 2017

Região/Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Norte	2,137	1,894	1,9	1,984	2,067	2,303	2,325	2,424	2,567	2,581	3,358	3,409
Nordeste	1,911	1,718	1,761	1,746	1,899	2,148	2,159	2,297	2,418	2,583	3,064	3,073
Sudeste	1,531	1,369	1,358	1,405	1,6	1,937	1,876	1,893	1,996	2,174	2,499	2,602
Sul	1,791	1,554	1,533	1,582	1,762	2,111	2,071	2,044	2,145	2,299	2,799	2,570
Centro-Oeste	1,946	1,539	1,661	1,675	1,797	2,007	2,002	2,165	2,273	2,751	2,652	2,691
Brasil	1,634	1,448	1,445	1,485	1,669	1,996	1,943	2,069	2,267	2,652	2,630	2,691

Fonte: ANP (2018).

Variações na oferta de etanol devido a fatores climáticos, como secas ou excesso de chuvas que afetam a produção de cana-de-açúcar, podem ter contribuído para flutuações nos preços do etanol ao longo do período analisado. Outros fatores, como oscilações nos preços de commodities agrícolas, custos de produção, logística e políticas de tributação, também terem papéis importantes na determinação dos preços do etanol. O mercado de biocombustíveis é altamente diligente e influenciado por uma variedade de variáveis econômicas, políticas e ambientais. Portanto, o aumento do preço do etanol ao longo do período mencionado pode ser entendido como um reflexo das complexas interações entre oferta e demanda, bem como de mudanças nas condições macroeconômicas e regulatórias.

O Quadro 2 sintetiza a convergência entre os autores discutidos no texto, evidenciando as interações e convergências de perspectivas sobre a temática da matriz energética brasileira e a demanda por etanol. A análise interativa destaca as relações entre as visões dos autores,

revelando onde suas abordagens convergem em relação à relevância estratégica do etanol na transição para fontes mais sustentáveis e na construção da segurança energética do Brasil. Essa tabela proporciona uma visualização clara das conexões entre as ideias dos autores, contribuindo para a compreensão das nuances discutidas ao longo do texto acadêmico.

Quadro 2. Convergência entre os autores

Vidal (2020)	Corroborar com Tasca (2017) ao associar o etanol à cana-de-açúcar como fonte de biomassa renovável. Corroborar com Nina (2020) ao destacar a interdependência entre a produção de etanol e a safra da cana-de-açúcar, além de evidenciar a vulnerabilidade do setor sucroalcooleiro a eventos climáticos adversos.
Nina (2020)	Corroborar com Vidal (2020) ao destacar a interdependência entre a produção de etanol e a safra da cana-de-açúcar.
Cunha e Santos (2022)	Corroborar com Vidal (2020) ao enfatizar a importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais, consolidando o etanol como uma opção viável no panorama energético nacional.

Fonte: Elaboração própria (2024).

A partir do Quadro 2, observa-se que Tasca (2017) e Vidal (2020) compartilham perspectivas relacionadas à ascensão do etanol como um elemento na redução das emissões de gases de efeito estufa, enfatizando sua produção a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar. A convergência entre esses dois autores sugere um consenso em torno do papel fundamental do etanol na mitigação ambiental. No contexto da demanda por etanol, Santos (2023) destaca a influência do preço relativo do etanol, enquanto Cunha e Santos (2022) ressaltam a importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais. Essas perspectivas convergentes indicam a complexidade da dinâmica econômica e políticas ambientais na formação da demanda por etanol.

A interconexão entre a produção de etanol e a alocação da cana-de-açúcar é um aspecto fundamental a ser considerado na análise do setor sucroalcooleiro. Autores como Nunes (2017) e Vidal (2020) ressaltam essa interdependência, destacando como as decisões relacionadas à produção de etanol são influenciadas pela disponibilidade e alocação da cana-de-açúcar. As discussões sobre a volatilidade nos preços do açúcar, conforme abordado por Silva e Marestoni (2020), e a demanda global por açúcar, como mencionado por Lopes, Gabriel e Borges (2017), acrescentam complexidade ao contexto. Esses fatores evidenciam a necessidade de uma abordagem holística na análise das decisões de alocação de matéria-prima no setor sucroalcooleiro, levando em consideração não apenas os aspectos relacionados ao etanol, mas também os impactos e as inter-relações com o mercado de açúcar.

A sensibilidade da oferta de etanol às variáveis de mercado e políticas governamentais, como discutido por Silva (2022), destaca a complexidade das decisões enfrentadas pelos produtores do setor sucroalcooleiro. Essa sensibilidade reflete a necessidade de uma constante adaptação estratégica para responder às flutuações do mercado e às mudanças nas políticas regulatórias. Por exemplo, variações nos preços dos combustíveis, políticas de incentivo governamental e demanda do mercado influenciam diretamente a produção de etanol. Os produtores precisam estar atentos a essas variáveis e ajustar suas estratégias de produção e alocação de recursos de acordo com as condições do momento, visando otimizar sua rentabilidade e competitividade no mercado.

Por outro lado, a vulnerabilidade do setor sucroalcooleiro a eventos climáticos adversos, conforme destacado por Vidal (2020) e Nina (2020), ressalta a importância da gestão proativa e da preparação para lidar com esses desafios. Secas, chuvas intensas e outras condições climáticas extremas podem afetar significativamente a produção de cana-de-açúcar, matéria-prima essencial para a fabricação de etanol. Portanto, os produtores precisam desenvolver estratégias de mitigação de riscos e investir em tecnologias e práticas agrícolas resilientes ao clima. A diversificação das fontes de matéria-prima, como o aumento da produção de etanol a partir do milho, pode ajudar a reduzir a exposição do setor a eventos climáticos específicos e aumentar sua adaptação a longo prazo.

O Quadro 3 apresenta a corroboração entre os autores no contexto do setor sucroalcooleiro. Cada um destaca uma relação de corroboração entre dois autores, indicando a intersecção de ideias e temas abordados em suas respectivas obras. Essas corroborações revelam a amplitude das discussões sobre o etanol, desde sua produção e influência no mercado até questões ambientais e políticas governamentais. Ao destacar essas conexões, a tabela proporciona uma visão das principais temáticas discutidas pelos estudiosos do setor sucroalcooleiro, evidenciando a complexidade e a multidisciplinaridade envolvidas na análise desse importante segmento da economia.

Quadro 3. Corroboração entre os autores no contexto do setor sucroalcooleiro

Autor	Corroboração com	Razão da Corroboração
Vidal (2020)	Tasca (2017)	A interdependência entre a produção de etanol e a safra da cana-de-açúcar.
Tasca (2017)	Vidal (2020)	A associação entre o etanol e a cana-de-açúcar como fonte de biomassa renovável.
Gandra <i>et al.</i> (2019)	Silva e Marestoni (2020)	Gandra <i>et al.</i> (2019) abordam a influência do

		comportamento do consumidor, convergindo com a análise de Silva e Marestoni (2020) sobre a volatilidade nos preços do açúcar.
Marestoni (2020)	Gandra <i>et al.</i> (2019)	Marestoni (2020) enfatiza a necessidade de gestão proativa diante dos desafios climáticos, corroborando com a abordagem de Gandra <i>et al.</i> (2019) sobre a influência do comportamento do consumidor.
Pagani, Firme e Santos (2022)	Cunha e Santos (2022)	Enfatizam a importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais, demonstrando uma convergência em relação aos aspectos políticos e ambientais do setor sucroalcooleiro.
Cunha e Santos (2022)	Pagani, Firme e Santos (2022)	Destacam a necessidade de políticas governamentais alinhadas com metas ambientais, demonstrando uma convergência em relação à importância da regulação e do planejamento ambiental no setor sucroalcooleiro.
Silva (2022)	Nunes (2017)	Discutem a sensibilidade da oferta de etanol a variáveis de mercado e políticas governamentais, convergindo em relação aos fatores que influenciam a produção e oferta de etanol.
Santos (2023)	Nunes (2017)	Destacam a influência do preço relativo do etanol na demanda, convergindo em relação aos aspectos econômicos que afetam o consumo de etanol.
Nunes (2017)	Silva (2022)	Discutem a sensibilidade da oferta de etanol a variáveis de mercado e políticas governamentais, convergindo em relação aos fatores que influenciam a produção e

Silva e Marestoni (2020)	Gandra <i>et al.</i> (2019)	oferta de etanol. Silva e Marestoni (2020) analisam a volatilidade nos preços do açúcar, convergindo com a abordagem de Gandra <i>et al.</i> (2019) sobre a influência do comportamento do consumidor.
Lopes, Gabriel e Borges (2017)	Silva e Marestoni (2020)	Lopes, Gabriel e Borges (2017) consideram a demanda global por açúcar e políticas de incentivo ao etanol, convergindo com a análise de Silva e Marestoni (2020) sobre a volatilidade nos preços do açúcar.
Oliveira, Alencar e Souza (2008), Furtado (2010), Bacelar <i>et al.</i> (2018)	Lopes, Gabriel e Borges (2017)	Oliveira, Alencar e Souza (2008), Furtado (2010) e Bacelar <i>et al.</i> (2018) discutem a matriz energética, convergindo com a consideração de Lopes, Gabriel e Borges (2017) sobre a demanda global por açúcar e políticas de incentivo ao etanol.

Fonte: Elaboração própria (2024).

O Quadro 3 apresenta uma síntese das corroborações entre diversos autores no contexto do setor sucroalcooleiro, destacando as convergências de ideias e temas discutidos em suas obras. Um ponto de convergência significativo é observado entre Vidal (2020) e Tasca (2017), onde ambos ressaltam a interdependência entre a produção de etanol e a safra da cana-de-açúcar, além da associação entre o etanol e a cana-de-açúcar como fonte de biomassa renovável.

Outra corroboração relevante ocorre entre Gandra *et al.* (2019) e Silva e Marestoni (2020), onde Gandra *et al.* (2019) abordam a influência do comportamento do consumidor, convergindo com a análise de Silva e Marestoni (2020) sobre a volatilidade nos preços do açúcar. Essa correlação destaca a importância de considerar os fatores econômicos e de mercado na gestão do setor sucroalcooleiro.

Pagani, Firme e Santos (2022) e Cunha e Santos (2022) convergem ao enfatizar a importância de alinhar estratégias governamentais com metas ambientais, demonstrando uma preocupação compartilhada com os aspectos políticos e ambientais do setor sucroalcooleiro.

Essa convergência ressalta a necessidade de uma abordagem integrada que considere não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais da produção de etanol.

Essas corroborações entre os autores fornecem uma visão multifacetada do setor sucroalcooleiro, enfatizando a complexidade das interações e dos desafios enfrentados pelos produtores e gestores. Ao reconhecer essas convergências, os profissionais do setor podem se beneficiar de uma compreensão mais completa do ambiente em que operam, permitindo a formulação de estratégias mais eficazes e sustentáveis para o futuro do setor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho destacou a importância da adaptação estratégica do setor sucroalcooleiro brasileiro diante dos desafios enfrentados, especialmente em relação às condições climáticas adversas. A produção de etanol, sendo uma atividade altamente sensível às variações climáticas devido à sua dependência da cana-de-açúcar, enfrenta desafios contínuos para garantir uma oferta estável e sustentável do biocombustível.

No entanto, apesar das adversidades, o setor demonstrou adaptação ao longo do tempo, como evidenciado pelo aumento substancial na produção de etanol na safra 23/24, mesmo diante de eventos climáticos adversos. A diversificação das fontes de matéria-prima, como a produção crescente de etanol a partir do milho, destaca-se como uma estratégia eficaz para mitigar os impactos negativos das condições climáticas variáveis e fortalecer a adaptação do setor.

A volatilidade nos preços do açúcar no mercado internacional emergiu como um elemento crítico na alocação da cana-de-açúcar entre a produção de açúcar e etanol. A decisão dos produtores de direcionar uma parte significativa de sua produção para o açúcar em períodos de preços mais favoráveis pode afetar diretamente a oferta de etanol, evidenciando a complexidade das decisões de alocação de matéria-prima no setor sucroalcooleiro.

A interação entre as políticas governamentais, os fatores econômicos e as condições climáticas destacaram-se como um aspecto na determinação da oferta de etanol. A sensibilidade do setor às variáveis de mercado e políticas governamentais ressalta a necessidade de uma gestão proativa e estratégica por parte dos produtores para enfrentar as flutuações do mercado e as mudanças nas políticas regulatórias.

As considerações finais convergem para a importância de uma abordagem integrada que considere não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais e

sociais da produção de etanol. A colaboração entre os diversos stakeholders do setor, incluindo produtores, governo, e pesquisadores, é fundamental para promover uma produção de etanol mais sustentável e resiliente no Brasil, contribuindo para a construção de uma matriz energética mais limpa e segura para o país.

Ao longo da pesquisa, foram evidenciados que o mercado de etanol é altamente sensível a uma série de fatores, incluindo condições climáticas, preços de commodities agrícolas, políticas governamentais, demanda do mercado e custos de produção. Esses elementos interagem de maneira intrincada, influenciando não apenas a oferta e os preços do etanol, mas também a economia nacional como um todo.

A adaptação do setor sucroalcooleiro brasileiro foi destacada, especialmente em face de desafios climáticos adversos e volatilidade nos preços do açúcar. A capacidade de adaptação estratégica dos produtores, juntamente com a diversificação das fontes de matéria-prima e uma gestão proativa, foi identificada como elementos-chave para garantir a estabilidade e o crescimento econômico do país no setor de etanol.

A convergência das perspectivas dos autores destacou a importância estratégica do etanol na matriz energética brasileira e na transição para fontes mais sustentáveis. As corroborações entre os estudos enfatizaram a complexidade das interações e dos desafios enfrentados pelos produtores e gestores do setor.

Fica evidente no decorrer da pesquisa que a política de combustíveis é uma das políticas mais relevantes em quase todas as principais economias mundiais. No caso do Brasil, as diretrizes estratégicas definidas pelos governos locais por vezes estimulam o desenvolvimento do mercado de combustíveis biorrenováveis. Por exemplo, no caso do etanol, a atual mudança para o desenvolvimento de combustíveis fósseis dificulta o planejamento a longo prazo, especialmente para um setor cujas principais matérias-primas são a agricultura e a energia.

Diante disso, para promover a estabilidade e o crescimento econômico do país no mercado de etanol, é uma abordagem integrada que considere não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais da produção desse biocombustível. A colaboração entre os diversos stakeholders do setor e uma gestão baseada em evidências científicas são essenciais para garantir uma produção de etanol mais sustentável e resiliente, contribuindo assim para a construção de uma matriz energética mais limpa e segura para o Brasil.

Algumas limitações inerentes a este estudo, dentre as quais se destaca a dependência exclusiva de fontes de literatura nacional, o que possivelmente restringiu a amplitude da

análise realizada. Recomenda-se, portanto, a inclusão de estudos internacionais para enriquecer e aprofundar a compreensão do mercado de etanol, considerando as perspectivas e experiências de outros países. Sugere-se a realização de pesquisas empíricas adicionais, como estudos de caso e análises estatísticas, para validar as conclusões obtidas neste estudo e fornecer dados mais detalhados sobre as complexas interações e impactos dos elementos que influenciam o mercado de etanol no contexto brasileiro. Essas iniciativas poderiam contribuir significativamente para o avanço do conhecimento nessa área e para o desenvolvimento de políticas e estratégias mais eficazes para o setor sucroalcooleiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gu EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Impactos ambientais da produção de cana-de-açúcar**. 2022.

AMORIM, Fernando Rodrigues; PATINO, Marco Tulio Ospina; MARCOMINI, Gilson Rogério. **Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em usinas no estado de São Paulo**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 11, n. 4, p. 1133-1145, 2018.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov/>. Acesso em: 08 Abr. 2024.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 01 jul. 2024.

BABA, Thiago Hideki. Entenda o impacto do clima na produção de etanol na safra 23/24. 2024.

BACELAR, Tarcisio Souto *et al.* Teoria das opções reais (TOR) na avaliação de investimentos em projetos de energia renováveis. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

CAMPELO, Milton Santos *et al.* RENOVABIO NO NORTE E NORDESTE DO BRASIL: UM CASO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA?. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 18, n. 52, p. 295-318, 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CUNHA MATOS, Luiz Fernando; DOS SANTOS, Daiane Rodrigues. Fatores determinantes para consumo de gasolina no estado de São Paulo: o estudo da elasticidade preço da gasolina. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 13, n. 4, p. 2337-2352, 2022.

DANELON, André Felipe. **Determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética brasileira: uma abordagem por fronteira estocástica**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

EIA. **Energy Information Administration**. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 01 jul. 2024.

EWG. Environmental Working Group. **Environmental Impacts of Corn Production**. 2022.

FAVARO, Felipe Teixeira; SANTOS, Cristina Tosta; PARENTE, Virginia. Previsão de fabricação de carros bicompostíveis e de demanda de etanol no Brasil em 2014. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 2, n. 1, p. 85-98, 2010.

FRANCO, Frederico. Evolução da produção e venda de Etanol no Brasil 2000/2018. 2018.

FURTADO, Marcelo de Camargo. **Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GANDRA, Anamaria Guimarães *et al.* **Saída de investimento de empresas brasileiras para a produção de etanol de cana-de-açúcar em países africanos**. RAUnP-ISSN 1984-4204-Digital Object Identifier (DOI): [http://dx. doi. org/10.21714/raunp.](http://dx.doi.org/10.21714/raunp.), v. 11, n. 1, p. 40-56, 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como classificar as pesquisas**. Como elaborar projetos de pesquisa, v. 4, n. 1, p. 44-45, 2002.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LOPES, Cláudio Hartkopf; GABRIEL, Afra Vital Matos Dias; BORGES, Maria Teresa Mendes Ribeiro. **Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: tecnologia de produção de etanol**. 2017.

MELO, André de Souza; SAMPAIO, Yony de Sá Barreto. Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. **Revista de economia contemporânea**, v. 18, p. 56-83, 2014.

MINAYO, M.C.S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. São Paulo (SP): Hucitec. 2014.

MME. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em: 01 jul. 2024.

NINA, Alexandre Mendes. A diplomacia brasileira e a segurança energética nacional. **Brasília: FUNAG**, 2020.

NUNES, ELIS FERNANDO. **Cana-de-Açúcar: a produção de etanol e seus benefícios**. Monografia (Técnico em Agronegócios). Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo. Barretos, 2017.

OLIVEIRA, Michelle Pinto; ALENCAR, Junia Rodrigues de; SOUZA, Geraldo da Silva. **Energia renovável: uma análise sobre oferta e demanda de etanol no Brasil**. 2008.

ORELLANO, Veronica Fernandez; SOUZA, Alberto De Nes de; AZEVEDO, Paulo Furquim de. Elasticidade-preço da demanda por etanol no Brasil: como renda e preços relativos

explicam diferenças entre estados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, p. 699-718, 2013.

PAGANI, Pedro Augusto Silva; FIRME, Vinícius de Azevedo Couto; SANTOS, Matheus de Assis Duarte. Determinantes da demanda do setor automobilístico brasileiro: uma análise empírica. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 52, p. 613-645, 2022.

PAIVA, Iure; DE CASTRO, Nivalde; LIMA, Antonio Pedro. Aspectos teóricos e analíticos da segurança energética e os desafios do setor elétrico brasileiro. **Rio de Janeiro: GESEL-Grupo de Estudos do Setor Elétrico UFRJ. (Texto de Discussão do Setor Elétrico, n. 71)**, 2017.

SANTOS, Lucas Miranda Vilela. **O mercado de etanol brasileiro: uma análise econométrica dos determinantes da demanda**. 2023.

SILVA, Gilson Ribeiro. **Cana-de-açúcar na produção de etanol**. 2022.

SILVA, Izabeli Batista Girarducci; MARESTONI, Luiz Diego. Produção do etanol de cana-de-açúcar como tema interdisciplinar no ensino médio. **EDUCA-Revista Multidisciplinar em Educação**, v. 7, n. 17, p. 532-552, 2020.

SILVA, Milton Santos Campelo da. Análise do desempenho energético e econômico das unidades de produção de etanol de primeira geração dos estados do norte e nordeste no contexto da política nacional de biocombustíveis (RENOVABIO). 2022.

stavo Conde de. A necessidade de extrafiscalidade na tributação do etanol à luz do desenvolvimento sustentável. 2019.

STOLF, Rubismar; OLIVEIRA, Ana Paula Rodrigues de. The success of the Brazilian Alcohol Program (Proálcool)-a decade-by-decade brief history of ethanol in Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 2, p. 243-248, 2020.

TASCA, Tiago Gabriel. Do interesse nacional à estratégia de segurança energética: um diálogo epistemológico. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, v. 5, n. 1, 2018.

TASCA, Tiago. De Roboré aos anos 2000: A Bolívia como Vértice de (In) Segurança Energética Brasileira? **Conjuntura internacional**, v. 14, n. 1, p. 12-24, 2017.

THOMAS, Janet M.; CALLAN, Scott J. Economia ambiental: aplicações, políticas e teoria. **São Paulo: Cengage Learning**, p. 104, 2010.

VIDAL, Maria de Fátima. **Produção e mercado de etanol**. 2020.

MARLON HENRIQUE DE SOUZA ARAGÃO

O MERCADO DE ETANOL NO BRASIL: Uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Aprovado em: 21/06/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Monaliza de Oliveira Ferreira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^º. Dr. Márcio Miceli Maciel Sousa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^º. Dr. José Valdecy Guimarães Júnior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco