

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

LUCAS LEONARDO CIARAMELLA REIS

MERCADO DE BIODIESEL E ETANOL NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DE CIÊNCIA DE DADOS

**Porto Alegre
2024**

LUCAS LEONARDO CIARAMELLA REIS

MERCADO DE BIODIESEL E ETANOL NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DE CIÊNCIA DE DADOS

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Talamini

**Porto Alegre
2024**

CIP - Catalogação na Publicação

Ciaramella Reis, Lucas Leonardo
MERCADO DE BIODIESEL E ETANOL NO BRASIL: UMA
ABORDAGEM DE CIÊNCIA DE DADOS / Lucas Leonardo
Ciaramella Reis. -- 2024.
51 f.
Orientador: Edson Talamini.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Etanol. 2. Biodiesel. 3. Biocombustíveis. 4.
Análise de Mercado. 5. SARIMA. I. Talamini, Edson,
orient. II. Título.

LUCAS LEONARDO CIARAMELLA REIS

MERCADO DE BIODIESEL E ETANOL NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DE CIÊNCIA DE DADOS

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Aprovado em: Porto Alegre, ____ de _____ de 2024.

BANCA EXAMIDORA:

Prof. Dr. Edson Talamini – Orientador
UFRGS

Prof. Dr. Carlos Schonerwald
UFRGS

Prof^ª. Dra. Letícia de Oliveira
UFRGS

Dedico esse trabalho a minha mãe, Ieda Marta Ciaramella, a quem sempre sonhou - e nunca descreditou por um momento - que esse momento viria.

AGRADECIMENTOS

Eu queria começar dizendo que eu não consigo acreditar ainda - escrevendo esse texto - que cheguei até aqui, sendo estudante de colégio público estadual a vida inteira, que estou escrevendo essa dedicatória. É difícil escolher quem agradecer primeiro, ou ordenar de alguma forma, pois todas as pessoas, citadas diretamente, ou indiretamente, e grupos citados aqui tiveram algum grau de importância ao longo de tantos anos da minha vida que eu dediquei a essa graduação.

Eu queria agradecer a minha mãe, Ieda Marta Ciaramella, graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura) na mesma *alma mater* que eu, que sempre apoiou incondicionalmente meus estudos. Com ajuda financeira, com palavras de motivação, ou simplesmente por me dar um objetivo-fim para terminar essa graduação e poder prover melhores condições de vida para ela.

Eu queria agradecer a cada cidadão, pagador de seus impostos, que financiou indiretamente minha excelente formação na melhor universidade federal do Brasil.

Eu queria agradecer a todos os professores que - na minha concepção - me influenciaram a ser um bom aluno, interessado e dedicado aos estudos desde o ensino fundamental, no Colégio Estadual de Ensino Fundamental Anne Frank, no ensino médio, na Escola Técnica Estadual Parobé e nos meus cursinhos pré-vestibulares que eu fiz: Fênix e Unijá. Gostaria de citar dois professores em especial: Prof. Dr. Sergio Marley Modesto Monteiro (UFRGS) que - de longe - é o melhor professor da Faculdade de Ciências Econômicas e uma das pessoas mais incríveis e empáticas que eu já conheci. Ao Professor Claudio Roberto Silva Alves (SENAC-RS) que foi uma grata surpresa e uma feliz coincidência de conhecer no ano de 2024, no qual eu mal tenho palavras pra agradecer pelas palavras de incentivo, pelas conversas sobre a mais bela ciência de todas, a matemática, pela dedicação em me ajudar e também compreender a fase difícil que eu estava passando.

Eu queria agradecer a minha namorada, enfermeira - e amor da minha vida - Amanda Ripoll da Silva, que foi a única pessoa, que me relacionei amorosamente que verdadeiramente teve a paciência para me entender e me acolheu nos meus momentos mais sombrios - e que não foram poucos. Que foi uma maravilhosa ouvinte das minhas "rabugices" e reclamações diárias com trabalhos, colegas e professores. Que sempre me deu colo e carinho nos meus momentos tristes que eu só precisava de alguém ao lado. Que aceitou partilhar das minhas conquistas - e espero que ainda venham muitas - da minha vida, assim como eu aceitei e estou amando ver as conquistas dela.

Eu queria agradecer a dois grupos de amizades que cultivei nesses anos: o *Gurizilds* e os *Ecornoamigos*. Que me ajudaram muito a trazer leveza a minha vida, que me fizeram rir, que me ajudaram a me desenvolver na profissão que atuo hoje, em Dados, que, em alguns momentos, me cederam a sua casa, computador e comida nos momentos que eu precisei e realmente deram um sentido para eu viver e compartilhar cada vez mais momentos com eles.

Eu queria agradecer a Deus, pois não foi nem uma e nem duas, mas inúmeras vezes que pensei em desistir no meio do caminho e tenho certeza que Ele me deu forças para não desistir e conseguir concluir a minha graduação.

Eu queria agradecer a minha família que, apesar de pequena, também me deram palavras de apoio, casa e apoio financeiro para poder concluir minha graduação. Sem essa rede de apoio, eu jamais sequer teria entrado na UFRGS.

E, por fim, eu queria agradecer as pessoas que já não estão mais nesse plano, mas que eu gostaria que estivessem compartilhando esse momento aqui comigo: meu avô materno, Luigi Ciaramella, que incansavelmente não mediu esforços para me auxiliar, mesmo que da maneira "rústica" dele, a eu ingressar na faculdade e me manter meus estudos, onde guardo com muito carinho os almoços fantásticos que tínhamos aos Domingos. E meu pai, Júlio Reis, também formado na UFRGS, e que também me incentivou a me dedicar aos estudos desde pequeno.

*Berço de Flores da Cunha
E de Borges de Medeiros
Terra de Getúlio Vargas
Presidente brasileiro
Eu sou da mesma vertente
Que Deus saúde me mande
Que eu possa ver muitos anos
O céu azul do Rio Grande
Teixeirinha*

RESUMO

O presente trabalho oferece uma análise comparativa dos mercados de biodiesel e etanol no Brasil, utilizando o modelo estatístico *SARIMA* (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) para a previsão do consumo desses biocombustíveis. Este estudo é relevante, uma vez que os biocombustíveis estão se consolidando como alternativas sustentáveis e viáveis aos combustíveis fósseis, que têm sido associados a diversos problemas ambientais e sociais. Os biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, apresentam vantagens que vão além da substituição dos combustíveis tradicionais. A utilização de biocombustíveis contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mitigando os impactos das mudanças climáticas. O ciclo de vida dos biocombustíveis, que envolve a captura de carbono durante o crescimento das plantas, resulta em uma pegada de carbono menor em comparação aos combustíveis fósseis. Além disso, a produção de biodiesel e etanol gera empregos e impulsiona a economia local, especialmente em áreas rurais. Esses biocombustíveis podem ajudar a diversificar a matriz energética do país, promovendo a segurança energética e reduzindo a dependência de combustíveis importados. A metodologia adotada neste estudo envolve a coleta e processamento de dados provenientes de fontes oficiais, como a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Dados históricos sobre a produção e consumo de biodiesel e etanol foram coletados para identificar tendências e padrões ao longo do tempo. A aplicação do modelo *SARIMA* permite a análise das séries temporais, possibilitando a identificação de tendências sazonais e cíclicas que influenciam o consumo desses biocombustíveis. Os resultados indicam que o modelo *SARIMA* ficou bem ajustado para a série de vendas de óleo diesel, que é misturado com biodiesel, e isso sugere uma tendência de alta para os próximos anos. No entanto, o modelo não apresentou um bom ajuste para o etanol hidratado, o que será melhor explicado ao longo do trabalho, considerando fatores que podem influenciar essa dinâmica. Os resultados obtidos fornecem informações para diversos *stakeholders*, incluindo produtores, distribuidores e formuladores de políticas públicas. A compreensão das dinâmicas que regem a oferta e o consumo de biodiesel e etanol é importante para a formulação de políticas que incentivem o uso desses biocombustíveis. Além disso, os dados e previsões gerados pelo estudo podem ser utilizados para desenvolver estratégias que promovam a sustentabilidade no setor energético, contribuindo para um futuro mais verde e seguro. Portanto, este trabalho analisa os mercados de biodiesel e etanol no Brasil e destaca a importância desses biocombustíveis como componentes de uma matriz energética sustentável, oferecendo uma visão das tendências atuais e futuras e contribuindo para o desenvolvimento de políticas e práticas que promovam a sustentabilidade e a segurança energética no país.

Palavras-chave: 1. Etanol 2. Biodiesel 3. Biocombustíveis 4. SARIMA 5. Análise de Mercado

ABSTRACT

This paper provides a comparative analysis of the biodiesel and ethanol markets in Brazil, using the *SARIMA* (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) statistical model to forecast consumption of these biofuels. This study is relevant, since biofuels are being consolidated as sustainable and viable alternatives to fossil fuels, which have been associated with various environmental and social problems. Biofuels, such as biodiesel and ethanol, have advantages that go beyond replacing traditional fuels. The use of biofuels helps to reduce greenhouse gas emissions, mitigating the impacts of climate change. The life cycle of biofuels, which involves capturing carbon during plant growth, results in a smaller carbon footprint compared to fossil fuels. In addition, the production of biodiesel and ethanol creates jobs and boosts the local economy, especially in rural areas. These biofuels can help diversify the country's energy matrix, promoting energy security and reducing dependence on imported fuels. The methodology adopted in this study involves collecting and processing data from official sources, such as the National Petroleum, Natural Gas and Biofuels Agency (ANP). Historical data on biodiesel and ethanol production and consumption was collected to identify trends and patterns over time. The application of the *SARIMA* model enables the analysis of time series, making it possible to identify seasonal and cyclical trends that influence the consumption of these biofuels. The results indicate that the *SARIMA* model was well adjusted for the series of sales of diesel oil, which is blended with biodiesel, and this suggests an upward trend for the coming years. However, the model did not provide a good fit for hydrous ethanol, which will be better explained throughout the paper, considering factors that may influence this dynamic. The results obtained provide information for various stakeholders, including producers, distributors and public policy makers. Understanding the dynamics governing the supply and consumption of biodiesel and ethanol is important for formulating policies that encourage the use of these biofuels. In addition, the data and forecasts generated by the study can be used to develop strategies that promote sustainability in the energy sector, contributing to a greener and safer future. Therefore, this work analyzes the biodiesel and ethanol markets in Brazil and highlights the importance of these biofuels as components of a sustainable energy matrix, offering a vision of current and future trends and contributing to the development of policies and practices that promote sustainability and energy security in the country.

Keywords: 1. Ethanol. 2. Biodiesel. 3. Biofuels. 4. SARIMA. 5. Market Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Brasileiro das Usinas Instaladas Produtoras de Etanol em 2023 - Fonte: ANP ...	29
Figura 2 – Mapa Brasileiro das Usinas Instaladas Produtoras de Biodiesel em 2023 - Fonte: ANP	30
Figura 3 – Produção e Composição da Produção de Etanol no Brasil em 2023, por Região. - Fonte: ANP	30
Figura 4 – Mapa da Produção de Biodiesel no Brasil em 2023 - Fonte: ANP	31
Figura 5 – Composição da Produção de Biodiesel no Brasil em 2023, por Região. - Fonte: ANP ..	32
Figura 6 – Market Share Brasileiro da Distribuição de Etanol Hidratado em 2023 - Fonte: ANP....	32
Figura 7 – <i>Market Share</i> Brasileiro da Distribuição de Óleo Diesel em 2023 - Fonte: ANP	33
Figura 8 – Mapa de Produção de Matéria-Prima para Produção de Etanol brasileiro em 2023 - Fonte: ANP	33
Figura 9 – Composição da Matéria-Prima Utilizada para Produção de Etanol Brasileiro em 2023 - Fonte: ANP	34
Figura 10 – Composição da Matéria-Prima Utilizada para Produção de Biodiesel Brasileiro em 2023 - Fonte: ANP	35
Figura 11 – Decomposição da série de vendas de etanol hidratado desde janeiro de 1990 até abril de 2024 - Elaboração do Autor	36
Figura 12 – Decomposição da série de vendas de óleo diesel desde janeiro de 1990 até abril de 2024 - Elaboração do Autor	37
Figura 13 – Gráfico de Previsão <i>SARIMA</i> para vendas de etanol hidratado e Biodiesel - Elaboração do Autor	38
Figura 14 – Gráficos dos resíduos da série ajustada de vendas de etanol hidratado - Elaboração do Autor	39
Figura 15 – Gráficos dos resíduos da série ajustada de vendas de óleo diesel - Elaboração do Autor	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de Etanol (Anidro e Hidratado) Produzido. Fonte: ANP.	24
Tabela 2 – Métricas de Avaliação do Modelo - Elaboração do Autor	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INT	Instituto Nacional de Tecnologia
UFCE	Universidade Federal do Ceará
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira
ANP	Agência Nacional de Petróleo
TECPAR	Instituto de Tecnologia do Paraná
FHC	Fernando Henrique Cardoso
CEIB	Comissão Executiva Interministerial
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
PRONAF	Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
BX	Adição de X% de biodiesel ao diesel convencional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	BIODIESEL	16
2.1.1	Evolução do marco regulatório	16
2.1.2	O produto biodiesel	19
2.1.3	Tecnologia de produção	20
2.1.3.1	Transesterificação	20
2.1.3.2	Esterificação	20
2.1.3.3	Craqueamento	21
2.2	ETANOL	21
2.2.1	Evolução do marco regulatório	21
2.2.1.1	1ª fase do Proálcool (1975 - 1979)	22
2.2.1.2	2ª fase do Proálcool (1980 - 1985)	22
2.2.1.3	3ª fase do Proálcool (1986 - 2003)	23
2.2.1.4	4ª fase do Proálcool (2003 - Atual)	23
2.2.2	O produto etanol	24
2.2.2.1	Etanol hidratado	25
2.2.2.2	Etanol anidro e diferenças para o etanol hidratado	25
3	METODOLOGIA	26
3.1	COLETA DE DADOS	26
3.2	PROCESSAMENTO DE DADOS	26
3.3	MODELO <i>SARIMA</i>	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	DADOS DOS PRODUTORES DE ETANOL E BIODIESEL	29
4.2	MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA	33
4.3	PREVISÃO DE CONSUMO USANDO O MODELO <i>SARIMA</i>	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON	45

1 INTRODUÇÃO

O esgotamento gradual das reservas de petróleo, combinado com a crescente preocupação em relação às mudanças climáticas e a urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa, tem impulsionado uma busca incessante por fontes de energia renováveis e sustentáveis. Nesse contexto, os biocombustíveis, especialmente o biodiesel e o etanol, emergem como alternativas promissoras aos combustíveis fósseis, apresentando-se não apenas como soluções viáveis, mas também como catalisadores de transformações sociais e econômicas.

O biodiesel, um combustível renovável e biodegradável, é produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais. Sua utilização não apenas contribui para a diminuição das emissões de poluentes e gases de efeito estufa, mas também promove o desenvolvimento rural e a geração de empregos, especialmente em comunidades que dependem da agricultura. Por outro lado, o etanol, um álcool obtido pela fermentação de açúcares, é majoritariamente produzido a partir da cana-de-açúcar e do milho. Este biocombustível apresenta vantagens ambientais significativas em comparação aos combustíveis fósseis, sendo amplamente utilizado como aditivo à gasolina ou como combustível puro em veículos flex-fuel. Um aspecto interessante é que o etanol também pode ser empregado no processo de obtenção do biodiesel, ressaltando a interdependência e a sinergia entre esses biocombustíveis.

Diante desse cenário, é fundamental compreender a dinâmica e o comportamento dos mercados de biodiesel e etanol. Essa compreensão é crucial para subsidiar a tomada de decisões estratégicas por parte de diversos agentes, como produtores, distribuidores e formuladores de políticas públicas. A análise comparativa desses mercados, utilizando modelos estatísticos avançados, pode fornecer insights valiosos sobre as tendências de oferta e consumo, além de identificar os fatores que influenciam seus preços e volumes comercializados. O presente trabalho visa realizar uma análise comparativa do mercado de biodiesel e etanol no Brasil, utilizando o modelo SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) para previsão de consumo. O modelo SARIMA é uma ferramenta estatística amplamente reconhecida, especialmente eficaz para analisar séries temporais que apresentam padrões sazonais. Essa abordagem permite prever valores futuros com base em dados históricos, oferecendo uma estrutura clara e compreensível para a modelagem de séries temporais. Embora existam outros modelos de previsão, como regressão múltipla ou redes neurais, esses podem não ser tão eficazes na ausência de variáveis preditoras ou quando os dados apresentam forte sazonalidade. Modelos mais complexos, como as redes neurais, frequentemente exigem grandes quantidades de dados para treinamento, o que pode ser um desafio, dado que os dados mensais sobre biocombustíveis no Brasil estão disponíveis apenas a partir de 1990.

A escolha deste tema é justificada pela relevância dos biocombustíveis no cenário energético atual e pela necessidade de uma compreensão mais profunda do comportamento desses mercados. Essa compreensão é vital para subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas para a promoção da sustentabilidade e da segurança energética. Espera-se que os resultados deste trabalho contribuam significativamente para o avanço do conhecimento na área de análise de mercado de biocombustíveis, fornecendo informações úteis para diversos atores envolvidos, desde produtores e distribuidores até formuladores de políticas públicas e pesquisadores interessados no tema. Através dessa análise, é possível vislumbrar um futuro mais sustentável e equilibrado, onde a energia renovável desempenha um papel central na matriz energética global.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise comparativa do mercado de biodiesel e etanol no Brasil, utilizando o modelo estatístico SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) para a previsão da demanda desses biocombustíveis. Para isso, será fundamental demonstrar a evolução do marco regulatório dos mercados de biodiesel e etanol, identificando as políticas e regulamentações que moldaram esses setores ao longo do tempo.

Além disso, o trabalho buscará aplicar o modelo SARIMA para prever o consumo futuro de biodiesel e etanol, utilizando dados históricos para identificar padrões sazonais e tendências que possam impactar a demanda. A comparação dos resultados das previsões de demanda de ambos os biocombustíveis permitirá destacar as diferenças e semelhanças nos comportamentos de mercado, contribuindo para uma análise mais aprofundada.

Por fim, será traçado o perfil dos produtores, com uma análise das características relacionadas à produção, como a distribuição geográfica das usinas, a matéria-prima utilizada e os principais produtores do setor. Esses objetivos visam proporcionar uma compreensão abrangente do mercado de biocombustíveis no Brasil, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e sustentáveis no setor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho é importante para compreender a formação dos mercados no Brasil, incluindo as políticas econômicas, governamentais e as condições que permitiram seu surgimento e desenvolvimento.

2.1 BIODIESEL

Esta seção traçará a evolução das políticas, leis e normas que moldaram o mercado de biodiesel no Brasil e internacionalmente, desde os primeiros programas de incentivo até a criação do PNPB e o desenvolvimento de especificações técnicas. Serão abordados os impactos dos incentivos fiscais e do financiamento público, bem como os desafios regulatórios emergentes relacionados à sustentabilidade e harmonização internacional.

2.1.1 Evolução do marco regulatório

Para podermos compreender mais sobre o mercado atual do biodiesel brasileiro, é necessário que verifiquemos como o ambiente institucional e científico se formou no Brasil.

Apesar de existir algum princípio de pesquisas brasileiras no período logo após a Segunda Guerra Mundial, apenas na década de 1970, com as sucessivas crises no mercado internacional de petróleo, o interesse na pesquisa sobre o biodiesel é retomado e que o governo brasileiro irá, pela primeira vez na sua história, incentivar a pesquisa e produção de biodiesel no Brasil (Oliveira; Suarez; Santos, 2008).

A despeito do Instituto Nacional de Tecnologia - INT ter começado a pesquisar sobre combustíveis alternativos no Brasil na década de 1920, é somente na década de 1970, pela Universidade Federal do Ceará - UFCE, que o Prof. Expedito José de Sá Parente (1940 - 2011), o "pai do biodiesel e do bioquerosene", desenvolveu pesquisas por qual acabaram por se descobrir um combustível semelhante ao diesel, porém sendo extraído de óleos vegetais: o biodiesel. Na década de 1970 também, por meio do INT, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC, foram desenvolvidas pesquisas transformando óleos vegetais, principalmente usando o dendê como matéria prima, em combustível que se convencionou chamar de "DENDIESEL" (Holanda, 2004).

Ainda na década de 1970, houve um programa que envolvia a Petrobrás, o Ministério da Aeronáutica, além de outras instituições de pesquisa: o "Pró-Diesel". A ideia do programa era incentivar a produção de um excedente de óleo vegetal visando reduzir o custo de produção para se tornar competitivo ao petróleo. O objetivo inicial era misturar 30% de óleo vegetal ao óleo diesel com o objetivo, a longo prazo, de substituição completa. O programa não foi implementado, pois foi constatado que não teria viabilidade econômica devido aos elevados custos de produção, se comparado ao diesel convencional (Abreu *et al.*, 2006; Holanda, 2004). Todos esforços e pesquisas citadas anteriormente colocaram o Brasil como um dos pioneiros na pesquisa sobre biodiesel e sendo o primeiro no mundo a registrar a patente referente ao seu processo de produção. Cabe ressaltar também que existiram diversos programas de fomento a pesquisa em outros combustíveis renováveis principalmente com o álcool (etanol) derivado da cana-de-açúcar, como o "Proálcool", concomitante ao biodiesel (Sallet; Alvim, 2011; Kohlhepp, 2010).

O governo federal, em 1983, ainda sob ditadura militar liderada por Figueiredo, reage - ainda que um pouco tardiamente - aos "choques do petróleo" dos anos 1970 com o lançamento do Programa de Óleos Vegetais (Projeto OVEG). A ideia do programa era testar o biodiesel puro e misturado ao diesel convencional em motores de veículos, que chegaram a percorrer mais de 1 milhão de quilômetros sendo alimentados por esses combustíveis, para se checar a viabilidade técnica e econômica. O programa não só foi liderado pela Secretaria de Tecnologia Industrial, via Ministério da Indústria e Comércio (atual Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços), como teve participação forte de diversos setores privados como a indústria automobilística, de autopeças, de óleos vegetais, de combustível e lubrificantes, além de envolver diversos centros de pesquisa. Com os diversos esforços e testes realizados, os resultados mostraram que o biodiesel puro e a mistura de 70% de diesel convencional e 30% de biodiesel (B30) até teria viabilidade técnica, porém, assim como constatado no "Pró-Diesel", não teria viabilidade econômica devido ao seu alto custo de produção, em comparação ao diesel convencional, impedindo assim seu uso em larga escala (Holanda, 2004; Abreu *et al.*, 2006).

Com o resultado das pesquisas mencionadas, a baixa dos preços do barril de petróleo a partir da segunda metade da década de 1980, o relativo sucesso do programa "Proálcool", além da troca de sistema político do país, o governo federal entra num hiato de pouco mais de 10 anos para voltar a ter interesse pelo biodiesel. No fim da década de 1990, o preço internacional do petróleo volta a aumentar e, alinhada a política econômica de redução de importações do fim do primeiro mandato do ex-presidente Fernando Henrique Cardoso, o governo federal procura diminuir a dependência do setor energético, além de ter uma preocupação com a questão ambiental (Protocolo de Quioto). Essa combinação de fatores faz com que se concretize, em 1998, a Resolução nº 180 pela Agência Nacional de Petróleo - ANP, que fala sobre a homologação de testes pré-aprovados para combustíveis não especificados (Abreu *et al.*, 2006). No mesmo ano de 1998, de janeiro a março, foi realizado, sob a tutela do Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, em Curitiba um teste em uma frota de 20 ônibus urbanos. Esses ônibus foram abastecidos com biodiesel B20 e operaram normalmente (Holanda, 2004).

Ao fim do segundo mandato de FHC, em 30 de outubro de 2002, o governo federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia, lançou o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel - PROBIODIESEL, pela Portaria Ministerial 702. O programa, de caráter sócio-econômico e ambiental, visava que a produção de 40% do biodiesel nacional fosse realizado a partir da mamona (*Ricinus communis L.*) produzida, principalmente, com base na agricultura familiar. A expectativa do governo era que 50% da produção de mamona da agricultura familiar fosse realizada no semiárido nordestino devido ao impacto sócio-econômico, com emprego e renda, nessa região (Almeida *et al.*, 2004; Koga *et al.*, 2006).

Finalmente, em 2 de Julho de 2003, ainda no primeiro ano do primeiro mandato do então presidente Luiz Inácio "Lula" da Silva, é criado um Grupo de Trabalho Interministerial com o intuito de relatar estudos e pesquisas que demonstrassem a viabilidade econômica e técnica do uso como combustível de óleos, gorduras e derivados e, apontar as medidas necessárias para a sua execução a nível nacional. No relatório final, de 4 de dezembro de 2003, a comissão avalia que o biodiesel precisa ser introduzido na matriz energética brasileira de forma imediata, porém com algumas ressalvas, entre elas: a) o uso não deve ser obrigatório para se poder ter acesso ao mercado de carbono, proveniente do Protocolo de Quioto; b) não deve haver uma preferência por processo tecnológico, ou matéria-prima e c) é necessário se atentar ao desenvolvimento de regiões e populações mais pobres. Para se executar essas sugestões, foi criado, via Decreto Presidencial de 23 dezembro de 2003, uma Comissão Executiva Interministerial (CEIB) composta por - nada mais, nada menos que - 14 ministérios e gerida pela Casa Civil. A comissão possuía como unidade executiva um Grupo Gestor composto por representantes de 10 ministérios, além de membros originários da Embrapa, ANP, BNDES e Petrobrás, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. Todo esse aparato estatal, após um ano de maturação, lançou o maior e -

mais ambicioso - programa de pesquisa e produção de biodiesel: o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB - no fim de 2004, e tendo como principais diretrizes: a) introduzir um programa sustentável e viável economicamente, que promova a inclusão social, b) garantir preços competitivos, qualidade no produto final e matéria-prima suficiente para sua produção e c) produzir biodiesel a partir de diversas fontes e regiões do Brasil (Suarez; Meneghetti, 2007; Sallet; Alvim, 2011; Almeida, 2010).

A principal medida do PNPB foi a implementação da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que introduz biocombustíveis derivados de óleos e gordura ao mercado brasileiro de energia. Esta lei sacramenta o uso optativo de B2 (2% de biodiesel misturado a 98% de diesel convencional) até início de 2008, quando passa a ser obrigatório. De 2008 a 2013, pode-se usar misturas de até 5% de biodiesel até quando o B5 (5% de biodiesel misturado a 95% de diesel convencional) passa a ser obrigatório. No seu artigo 4º, a lei cita que "Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial, ou totalmente combustíveis de origem fóssil". Este trabalho reforça que o biodiesel pode ser tanto obtido através de transesterificação, como esterificação, ou craqueamento, assim não obrigando o produtor a usar um desses processos. Contudo, a ANP, em 24 de novembro de 2004, na sua resolução nº 42, regulamenta que apenas o uso de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que foram obtidos por transesterificação, ou esterificação, o que vai diretamente contra a lei citada anteriormente (Suarez; Meneghetti, 2007; Prates; Pierobon; Costa, 2007).

As diretrizes tributárias que incidem sobre o biodiesel referentes aos impostos federais (PIS/PASEP e COFINS) foram descritas na Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005, e nos Decretos nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004, e nº 5.457, de 6 de junho de 2005. Fica estabelecido que quem fica responsável pelo pagamento é o produtor industrial de biodiesel, esses impostos são cobrados apenas uma única vez e possui alíquota igual ao diesel derivado de petróleo. Foi estabelecido também, a fim de incentivar a produção de matéria-prima para a produção de biodiesel, três níveis diferentes de redução dos tributos federais: 100% no caso da mamona, ou a palma plantada na região Norte, Nordeste e no semiárido pela agricultura familiar; 67,9% independente da matéria-prima produzida e independentemente da região, desde que produzida pela agricultura familiar e 30,5% para mamona, ou a palma produzida na região Norte, Nordeste e no semiárido, porém produzida pelo agronegócio (Suarez; Meneghetti, 2007).

Também no Decreto 5.297 foi instituído, e depois regulamentado o "Selo Combustível Social". O selo é necessário para que o produtor industrial goze de certos benefícios fiscais e receba financiamentos dos bancos (BNDES, Banco do Brasil e Caixa Econômica) com condições privilegiadas. Para que o produtor receba este selo, ele deverá não só adquirir uma certa porcentagem, que varia com a região, da produção do pequeno agricultor, assim como demonstrar prover serviços de caráter técnico e de capacitação para com este pequeno produtor. É importante frisar que o selo só é obtido ao término da conclusão do projeto e por isso impedia as empresas de obterem os benefícios de financiamento antes de começar a produzir. Por essa razão que o Ministério do Desenvolvimento Agrário criou o instituto do Enquadramento Social, por via da Instrução Normativa 2, de 2005. Assim o empresário teria acesso a condições especiais de financiamento uma vez que o projeto contemplasse minimamente os requisitos para obtenção do Selo Combustível Social. O produtor industrial, assim que receber o selo, poderá usar com fins promocionais e de marketing (Prates; Pierobon; Costa, 2007; Abreu *et al.*, 2006).

De acordo com Prates, Pierobon e Costa (2007), na Resolução 1.135, de 2004, o BNDES organizou um programa de financiamento, porém o marco regulatório era muito prematuro e o mercado inexistia. Após isso, o Banco do Brasil, o BNB e o Basa foram convidados também a se juntar e discutir sobre linhas de financiamento. A atuação conjunta desses bancos foi muito importante, dada a experiência com financiamento agrícola, em especial para a agricultura familiar (PRONAF) assim, linhas específicas para investimento em biodiesel foram criadas nos bancos citados. O BNDES organizou um programa de financiamento que cobrisse todas as etapas de produção do biodiesel, desde o insumo até

o produto final. Ainda procurou incentivar a demanda pelo combustível financiando maquinário que se utilizasse de biodiesel com percentuais de mistura igual, ou superior a 20%. O programa perdurou até dezembro de 2006 com os seguintes propósitos:

- i) Apoiar investimentos em todas as fases da produção de biodiesel (fase agrícola, produção de óleo bruto, produção de biodiesel, armazenamento, logística e equipamentos para a produção de biodiesel), sendo que, em relação às fases agrícola e de produção de óleo bruto, podem ser apoiados projetos desvinculados da produção imediata de biodiesel, desde que seja demonstrada a destinação futura do produto agrícola ou do óleo bruto para a produção de biodiesel;
- ii) Apoiar a aquisição de máquinas e equipamentos homologados para uso de biodiesel ou de óleo vegetal bruto;
- iii) Apoiar investimentos em beneficiamento de co-produtos e subprodutos do biodiesel, como a glicerina e os resíduos do esmagamento (torta);e
- iv) Oferecer condições diferenciadas para projetos que promovam a inclusão social mediante a utilização de matéria-prima fornecida por agricultores familiares e para os quais o Ministério do Desenvolvimento Agrário tenha concedido “enquadramento social” e “selo social”. (Prates; Pierobon; Costa, 2007)

Para estimular e garantir uma oferta, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), em 2005, por meio da Resolução 3, autorizou a realização de leilões públicos pela ANP, sob responsabilidade técnica do Ministério de Minas e Energia (MME). O ministério, por meio da Portaria 483, de 2005, estabeleceu os regramentos para a realização dos leilões de compra de biodiesel e depois regulamentados pela Resolução da ANP 31, também de 2005 (Prates; Pierobon; Costa, 2007). Esse procedimento perdurou de 2005 a 2021, onde as refinarias compram o biodiesel para adicioná-lo ao diesel convencional. Os leilões foram realizados para assegurar que todo óleo diesel vendido no país tenha o percentual de biodiesel determinado por lei. No sistema de leilão e re-leilão, o produtor de biodiesel vende para a Petrobrás, via leilão, e esta vende para os distribuidores, via re-leilão, que finalmente misturam o biodiesel e repassam aos postos de combustíveis. O maior ponto positivo desse sistema foi a padronização, garantia de qualidade e fiscalização das misturas (Sallet; Alvim, 2011). Em 2022, a compra e venda de biodiesel se dará diretamente com os produtores e compradores.

Desde a criação do PNPB, houveram diversas mudanças regulatórias via Portaria e/ou Instrução Normativa. As principais mudanças foram de caráter técnico para a concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social (APROBIO, 2023), mas também houveram mudanças para que a composição do biodiesel se alterasse. Desde 2008, a adição de 2% de biodiesel (B2) era obrigatória e começou a gradativamente subir. Ainda em 2008, passou para 3% (B3) e no ano seguinte foi a 4% (B4) e, em 2010, para 5% (B5) antecipando assim 3 anos da meta inicial. Em 2014, foi aprovado primeiro a obrigatoriedade da mistura 6% (B6) e depois para 7% (B7). Atualmente a proporção é de 13% (B13) (Mur, 2019).

2.1.2 O produto biodiesel

De acordo com Ramos *et al.* (2011):

O biodiesel é definido como um substituto natural e renovável do diesel de petróleo que pode ser produzido pela alcoólise de óleos vegetais e/ou gorduras animais ou pela esterificação de ácidos graxos, empregando alcoóis mono-hidroxilados de cadeia curta na presença de um catalisador que pode ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático.

Já para Oliveira, Suarez e Santos (2008) "Pode-se definir biocombustível como todo produto útil para a geração de energia, obtido total ou parcialmente de biomassa". E, numa definição mais abrangente, Ramos *et al.* (2003) conceitua:

Biodiesel é um substituto natural do diesel de petróleo, que pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e óleos utilizados para cocção de alimentos (fritura). Quimicamente, é definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural e pode ser produzido, juntamente com a

glicerina, através da reação de triacilgliceróis (ou triglicerídeos) com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico

De uma forma bem sucinta, o biodiesel é um combustível feito a partir de um óleo (vegetal, animal, ou residuais) que, depois de passar por algum processo químico (esterificação, transesterificação, ou craqueamento, por exemplo) passa a ter características similares ao óleo diesel convencional. É uma alternativa renovável ao diesel derivado de petróleo. Para Ramos *et al.* (2003), Oliveira, Suarez e Santos (2008) e Holanda (2004) também considera como uma alternativa menos poluente que o diesel convencional.

Para Pinto *et al.* (2005), a escolha da matéria-prima dever-se-ia levar em conta a porcentagem de óleo da planta e o rendimento de óleo por hectare. A escolha da matéria-prima no Brasil se dá de acordo com cada região. No Norte, amêndoa de dendê e soja são as fontes mais utilizadas; no nordeste, mamona, óleo de dendê, amêndoa de dendê, babaçu, soja e algodão; no Centro-Oeste, soja, algodão, mamona e girassol; no Sudeste, soja, mamona, algodão e sementes de girassol; no Sul, sementes de girassol, soja, colza e algodão. A soja e a mamona, devidas as grandes regiões de cultivo, assim como o dendê, por causa do alto nível de óleo, são excelentes opções para expansão de produção de óleo vegetal no Brasil.

Pela "visão econômica", o biodiesel brasileiro hoje poderia ser definido como um bem complementar perfeito, pois é obrigatória a mistura do biodiesel ao diesel derivado de petróleo. Porém, com um preço mais competitivo e quantidade ofertada adequada, poderia vir a ser um bem substituto ao diesel no mercado de combustíveis.

2.1.3 Tecnologia de produção

Como já mencionado, as gorduras e óleos devem passar por um processo químico para a obtenção do biodiesel. Na literatura encontra-se principalmente três processos usados: transesterificação, esterificação e craqueamento. Esse trabalho rapidamente irá abordar estes processos químicos.

2.1.3.1 Transesterificação

A transesterificação é o principal método para a obtenção do biodiesel, assim como é o principal método usado no Brasil (Ramos *et al.*, 2011). O processo consiste, basicamente, de adicionar um álcool (em geral o etanol, ou metanol) ao triglicerídeo, mais um catalisador e aquecer ao ponto da reação começar a ocorrer. Depois de um processo de decantação, como resultado obtemos o biodiesel e um sub-produto que é a glicerina. A escolha do catalisador, pode variar bastante, porém, de acordo com Oliveira, Suarez e Santos (2008), "os mais tradicionais são as bases e os ácidos Brønsted sendo os principais exemplos os hidróxidos e alcóxidos de sódio ou potássio e os ácidos sulfúrico e clorídrico". Cabe destacar duas coisas importantes sobre a utilização desse processo no Brasil: a) A glicerina pode ser vendida e utilizada, principalmente, na indústria cosmética e de limpeza e b) o etanol tem indústria já estabelecida no Brasil e poderia ser integrado a essa cadeia de produção.

2.1.3.2 Esterificação

A esterificação, pela definição de Oliveira, Suarez e Santos (2008), "consiste na reação de um ácido graxo com um mono-álcool para formar ésteres". A principal diferença da esterificação para a transesterificação é seu sub-produto, que é a água, ao invés da glicerina. Ainda de acordo com Oliveira, Suarez e Santos (2008), uma vantagem importante em comparação ao processo de transesterificação é que no processo de esterificação óleos residuais (Ex: Óleo de fritura usado) podem ser usados

como matéria-prima para a obtenção de combustível. Isso é extremamente relevante, pois o custo de aquisição desses óleos é baixo, além do fato desses óleos estarem sendo reciclados e não descartados incorretamente.

2.1.3.3 Craqueamento

O craqueamento térmico, ou craqueamento para obtenção de biodiesel, de acordo com Oliveira, Suarez e Santos (2008), "consiste na quebra das moléculas do óleo ou da gordura, levando à formação de uma mistura de hidrocarbonetos, semelhantes ao diesel convencional". O óleo passa por uma elevada temperatura com intuito de ser quebrado em moléculas menores, assim obtendo o biodiesel. Uma desvantagem desse processo é a acidez do produto obtido devido a presença de ácidos carboxílicos. Entretanto quando o craqueamento é feito na presença de moléculas de hidrogênio (hidrocraqueamento), ocorre a eliminação completa de compostos oxigenados, assim reduzindo sua acidez (Oliveira; Suarez; Santos, 2008).

2.2 ETANOL

Esta seção traçará a evolução das políticas e regulamentos que moldaram o mercado de etanol no Brasil, desde os primeiros testes na década de 1920 até a criação do Proálcool em 1975 e sua posterior desregulamentação nos anos 1990. Serão abordados os impactos da obrigatoriedade de adição de etanol anidro à gasolina, a atuação de órgãos reguladores como o CIMA e a ANP, bem como os desafios enfrentados pelo setor após a crise de 2008.

2.2.1 Evolução do marco regulatório

Com o intuito de aprofundar nossa compreensão sobre o mercado atual do etanol brasileiro, este trabalho investigará a formação do ambiente institucional e científico relacionado a essa indústria no Brasil.

Muito antes do biodiesel, na literatura há relato do uso do etanol em terras brasileiras, como combustível para um carro: em 1925, na cidade do Rio de Janeiro, um carro participava de uma corrida de 230km usando álcool etílico a 70%. Inclusive a foto deste carro está registrada no livro comemorativo de 80 anos do INT (DIAS, 2012). Há também registros de ações do Estado brasileiro, como Decreto 19.717 de 20 de fevereiro de 1931, que obrigava os importadores de gasolina a misturar 5% do álcool ao combustível fóssil. Entre a publicação do Decreto 19.717 e o início da Segunda Guerra Mundial, o álcool foi utilizado em diferentes proporções, dependendo da disponibilidade e, principalmente, da produção de açúcar para exportação. Naquela época, o álcool era considerado um subproduto pouco valioso da fabricação de açúcar. Durante a Segunda Guerra Mundial, o combustível assumiu um papel de extrema importância devido às dificuldades na importação de petróleo, o que limitava a produção de gasolina. O álcool passou a ter um valor estratégico muito elevado e, em alguns estados do Nordeste, a porcentagem de álcool na gasolina chegou a atingir 42% (Pamplona, 1984; DIAS, 2012).

Como já foi mencionado nesse trabalho, devido aos choques do petróleo dos anos 1970, o Estado brasileiro lançou programas de biocombustíveis para tentar mitigar os problemas gerados pelos fortes aumentos do preço do barril de petróleo. Dentre esses programas, o "Pró-Álcool" foi o programa que possibilitou a produção de etanol em larga escala no Brasil, mas também regulamentou e incentivou o uso do biocombustível. O Proálcool foi criado em 1975 com o objetivo de reduzir a dependência

externa de combustível, economizar divisas, interiorizar o desenvolvimento, evoluir a tecnologia nacional, proporcionar o crescimento nacional da produção de bens de capital e gerar emprego e renda (Sallet; Alvim, 2011; Kohlhepp, 2010; DIAS, 2012).

O Proálcool pode ser dividido em 4 fases e iremos investigar agora um pouco sobre cada etapa separadamente.

2.2.1.1 1ª fase do Proálcool (1975 - 1979)

A fase inicial do programa Proálcool foi caracterizada principalmente pela produção de álcool anidro, utilizado como aditivo à gasolina. Isso teve como objetivo reduzir a dependência da importação de petróleo e, conseqüentemente, diminuir o *deficit* do balanço de pagamentos. Inicialmente, a produção de álcool ocorreu em destilarias ligadas a usinas de açúcar. Essa escolha se deveu não apenas à existência de um parque industrial modernizado e expandido pelos programas do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), mas também à disponibilidade de matéria-prima que não poderia ser absorvida na produção de açúcar, cujo preço estava em queda no mercado internacional (Michellon; Santos; Rodrigues, 2008; Bray; Ferreira; Ruas, 2000).

De acordo com Michellon, Santos e Rodrigues (2008), para impulsionar a produção de álcool, o setor recebeu apoio governamental por meio de financiamentos e subsídios, e a Petrobrás ficou responsável pela compra, transporte, armazenamento, distribuição e mistura do álcool na gasolina. O governo também estabeleceu o preço de venda do produto. Durante esse período, a produção de álcool aumentou significativamente, passando de 555,6 mil m³ na safra 1975/76 para 2.490,6 mil m³ na safra 1978/79, representando um aumento de mais de 300% nesse período.

Ainda de acordo com Michellon, Santos e Rodrigues (2008), no entanto, a primeira fase do programa "Pró-Álcool" terminou com uma expansão moderada, devido às incertezas enfrentadas pelos usineiros. Eles esperavam uma possível recuperação do preço do açúcar no mercado internacional e também tinham dúvidas sobre a viabilidade do programa por parte da indústria automobilística. Algumas conquistas desse período incluem o surgimento do carro movido a álcool hidratado em 1978 e o aumento da oferta de emprego e renda no campo, devido ao crescimento da mão-de-obra disponível.

2.2.1.2 2ª fase do Proálcool (1980 - 1985)

A segunda fase do Proálcool, que durou de 1980 a 1985, foi um período de expansão da produção de álcool no Brasil, com o objetivo de reduzir a dependência do país do petróleo. O programa foi bem-sucedido em atingir esse objetivo, e o Brasil se tornou um dos principais produtores de álcool do mundo. O início da segunda fase do Proálcool foi marcado pelo segundo choque do petróleo, em 1979, quando o preço do petróleo subiu para níveis recordes, levando o governo brasileiro a intensificar o programa de substituição de energia (Michellon; Santos; Rodrigues, 2008; Bray; Ferreira; Ruas, 2000).

Ainda de acordo com Michellon, Santos e Rodrigues (2008) e Bray, Ferreira e Ruas (2000), os principais objetivos da segunda fase do Proálcool foram reduzir a dependência do Brasil do petróleo, promover o desenvolvimento da indústria brasileira de álcool e gerar empregos e renda no setor agrícola. Para atingir esses objetivos, o governo brasileiro adotou medidas como incentivos financeiros para a produção de álcool, fixação de preços máximos para o álcool hidratado e incentivo à compra de veículos movidos a álcool. Essas medidas foram eficazes em estimular a produção de álcool, que aumentou de 1,9 bilhão de litros em 1980 para 10,5 bilhões de litros em 1985. O sucesso da segunda fase também foi impulsionado pela crescente aceitação dos veículos movidos a álcool pelos consumidores brasileiros, chegando a cerca de 60% dos veículos novos vendidos em 1985.

No entanto, a partir de 1985, o programa começou a enfrentar desafios, com a queda do preço do petróleo, a recuperação do mercado de açúcar e a crise econômica que o Brasil enfrentou no início da

década de 1990, levando a uma redução dos investimentos no Proálcool. Apesar do declínio posterior, a segunda fase do Proálcool foi um período de sucesso, ajudando o país a reduzir sua dependência do petróleo, promover o desenvolvimento da indústria de álcool e gerar empregos e renda no setor agrícola (Michellon; Santos; Rodrigues, 2008; Bray; Ferreira; Ruas, 2000).

2.2.1.3 3ª fase do Proálcool (1986 - 2003)

A terceira fase do Proálcool, que durou de 1986 a 2003, foi um período de desaceleração e crise do programa. A partir de 1986, o preço internacional do petróleo começou a diminuir e estabilizar no mercado internacional, o que levou o governo brasileiro a suspender os financiamentos para ampliação da capacidade instalada e corte de subsídios para as usinas existentes. Além disso, o controle inflacionário e o déficit foram priorizados pelos planos econômicos do governo, o que também contribuiu para o desestímulo da produção de álcool (Michellon; Santos; Rodrigues, 2008).

De acordo com Michellon, Santos e Rodrigues (2008), como resultado desses fatores, a produção de álcool no Brasil começou a estagnar a partir de 1986. Em 1989, o consumo de álcool hidratado atingiu seu pico, com 14,6 bilhões de litros consumidos. No entanto, a produção de álcool ficou em 14,3 bilhões de litros, o que levou a uma crise de abastecimento. Outro fator que contribuiu para a crise do Proálcool foi o aumento do preço do açúcar no mercado internacional. Os usineiros, que até então priorizavam a produção de álcool, passaram a se dedicar mais à produção de açúcar.

Ainda de acordo com Michellon, Santos e Rodrigues (2008), para tentar amenizar a crise, o governo brasileiro criou a BA (Brasil Álcool) e a BBA (Bolsa Brasileira de Álcool), com o objetivo de enxugar o excedente da produção de álcool do mercado e conseguir melhores preços para o produto. Também foram criadas a UNICA (União da Agroindústria Canaveira de São Paulo) e a SUCROÁL-COOL (Associação Paulista da Agroindústria Sucroalcooleira), importantes entidades do setor que reuniam/representavam parcela expressiva dos empresários do setor no país.

No final da década de 1990, o governo brasileiro promoveu a desregulamentação do setor, liberando os preços dos produtos para a livre concorrência. Com isso, a terceira fase do Proálcool terminou com os empresários, governo e indústria automobilística tentando dar novo fôlego ao programa (Júnior, 2015).

Os principais fatores que contribuíram para a desaceleração e crise do Proálcool nesta terceira fase foram a diminuição do preço internacional do petróleo, as políticas econômicas do governo brasileiro e o aumento do preço do açúcar no mercado internacional, resultando na estagnação da produção de álcool e queda no consumo de álcool hidratado no Brasil (Shikida; Schmidt, 2008; Júnior, 2015).

Como resultado desses fatores, a produção de álcool no Brasil começou a estagnar e o consumo de álcool hidratado começou a cair.

2.2.1.4 4ª fase do Proálcool (2003 - Atual)

A quarta fase do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) no Brasil, que se iniciou em 2003, é marcada por um novo impulso ao programa, impulsionado por uma série de fatores, conforme apontado por Michellon, Santos e Rodrigues (2008). Esses autores destacam que o aumento do preço do petróleo no mercado internacional levou a uma maior conscientização sobre a importância da segurança energética e da redução das emissões de gases de efeito estufa (Moraes; Bacchi, 2015). Além disso, a assinatura do Protocolo de Kyoto, que estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países desenvolvidos, e o lançamento dos veículos *flex fuel*, que podem funcionar com gasolina ou álcool, contribuíram para esse novo impulso. Como resultado desses fatores, a produção de álcool no Brasil começou a aumentar novamente, atingindo 14,7 bilhões de litros de álcool hidratado em 2003, o maior nível desde 1989.

Ano	Volume Produzido de Etanol (Anidro e Hidratado), por m ³
2019	35.321.780,89
2020	32.688.520,03
2021	30.087.867,12
2022	30.727.577,60
2023	35.410.475,86

Tabela 1 – Volume de Etanol (Anidro e Hidratado) Produzido. Fonte: ANP.

Ainda de acordo com Moraes e Bacchi (2015), atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de álcool do mundo, com uma produção anual de cerca de 30 bilhões de litros. O país é também o terceiro maior exportador de álcool, com exportações anuais de cerca de 10 bilhões de litros.

2.2.2 O produto etanol

De acordo com a Raízen (2023) podemos definir o etanol da seguinte maneira:

Na definição química, o etanol, também chamado de álcool etílico, é um composto orgânico da família dos álcoois representado pela fórmula molecular C_2H_6O (que é a junção de $CH_3 - CH_2 - OH$). Na definição do dia a dia, o etanol é um biocombustível de matéria-prima vegetal, produzido por meio da fermentação do amido ou de outros açúcares, de origem vegetal.

Já para Bastos (2007):

O etanol (C_2H_5OH) é um grupo de compostos químicos cujas moléculas contêm o grupo OH ligado a um átomo de carbono, sendo obtido por fermentação ou de síntese, é produzido com base na cana-de-açúcar, na beterraba, no amido de cereais como o milho e outros grãos, por meio de processos de produção conhecidos, envolvendo tecnologias relativamente simples.

De forma sucinta, o etanol é um álcool, de líquido incolor, inflamável e com odor característico. É produzido a partir da fermentação de carboidratos, como a glicose, a sacarose ou o amido (Pablos; Zago, 2023; Santos *et al.*, 2023)

Ainda de acordo com Pablos e Zago (2023) e Santos *et al.* (2023), a produção de etanol no Brasil é predominantemente baseada na cana-de-açúcar, devido à sua alta produtividade e eficiência na conversão de açúcares em álcool. Outros países, como os Estados Unidos, utilizam principalmente o milho como matéria-prima para sua produção. A escolha da matéria-prima pode influenciar diretamente na eficiência e no impacto ambiental da produção de etanol (Pablos; Zago, 2023).

O etanol é utilizado principalmente como combustível para veículos, sendo uma alternativa renovável e menos poluente em comparação com a gasolina. Em muitos países, a mistura de etanol com gasolina é uma prática comum, com proporções que variam conforme as regulamentações locais. No Brasil, por exemplo, a gasolina deve conter uma porcentagem de etanol anidro, o que ajuda a reduzir a emissão de gases poluentes (Pablos; Zago, 2023).

Ainda de acordo com Pablos e Zago (2023), além de seu uso como combustível, o etanol também tem aplicações em indústrias químicas, farmacêuticas e de alimentos. Sua versatilidade e capacidade de ser produzido a partir de fontes renováveis fazem dele um componente importante na matriz energética e industrial.

Pela "visão econômica", o etanol tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento rural e na geração de emprego em várias regiões do Brasil (Santos *et al.*, 2023). A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é um setor relevante para a economia brasileira, fomentando não apenas o mercado de biocombustíveis, mas também a indústria de açúcar, com a produção do que é conhecido como

co-produtos. Com a legislação adequada e incentivos, o etanol pode continuar a se expandir como uma fonte de energia sustentável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e para a redução das emissões de gases de efeito estufa (Pablos; Zago, 2023).

O etanol pode ser classificado em duas categorias principais: etanol hidratado e etanol anidro. Esse trabalho vai explicar brevemente as diferenças entre esses dois produtos.

2.2.2.1 Etanol hidratado

O etanol hidratado é uma mistura composta por aproximadamente 95,1% de etanol e 4,9% de água. Essa forma de etanol é utilizada principalmente como combustível em veículos *flex-fuel*, que têm a capacidade de operar tanto com etanol quanto com gasolina. A popularidade do etanol hidratado no Brasil é impulsionada por diversos fatores. Primeiramente, o etanol é uma fonte de energia renovável, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa em comparação com combustíveis fósseis. O uso de etanol hidratado também é incentivado por políticas governamentais que visam diversificar a matriz energética do país e reduzir a dependência do petróleo. Além disso, em muitos casos, o etanol hidratado é mais econômico do que a gasolina, especialmente durante períodos de alta produção de cana-de-açúcar. O etanol hidratado é vendido diretamente nos postos de combustíveis, e sua demanda pode ser afetada por fatores como os preços da gasolina, a sazonalidade da produção agrícola e as políticas de incentivo ao uso de biocombustíveis. A relação entre o preço do etanol hidratado e o preço da gasolina é complexa e pode ser influenciada por variações na taxa de câmbio, que afetam os preços de exportação do etanol (Ribas; Flausino, 2020).

2.2.2.2 Etanol anidro e diferenças para o etanol hidratado

O Etanol anidro, por outro lado, é uma forma de etanol que contém no mínimo 99,3% de etanol e menos de 0,7% de água. Este tipo de etanol é essencialmente utilizado como aditivo na gasolina, formando a chamada "Gasolina C". A adição de etanol anidro à gasolina tem várias vantagens, como melhoria na qualidade da gasolina e redução de emissões (Copetti; Coronel, 2020). A produção de etanol anidro envolve um processo adicional de desidratação, que é necessário para remover a água do etanol. Este processo pode ser realizado por destilação extrativa, onde solventes são utilizados para facilitar a separação do etanol e da água, quebrando o azeótropo formado entre eles (Figuroa; Maciel, 2011).

As diferenças entre etanol hidratado e anidro não se limitam à composição química, mas também abrangem suas implicações econômicas e ambientais. O etanol hidratado é mais suscetível a flutuações de preço devido à sua venda direta ao consumidor e à sua dependência de fatores sazonais, como a colheita da cana-de-açúcar. Em contraste, o etanol anidro, sendo um aditivo na gasolina, é influenciado por políticas de mistura e pela demanda por gasolina (Moraes; Sobral; Melo, 2021; Tulio; Lima, 2014).

Estudos indicam que as variações na taxa de câmbio e nas políticas de mistura de etanol anidro podem afetar os preços de exportação de ambos os tipos de etanol, mostrando uma relação complexa entre o mercado interno e externo (Copetti; Coronel, 2020). Além disso, a volatilidade dos preços do etanol hidratado pode impactar a rentabilidade das usinas e a segurança do abastecimento no mercado de combustíveis (Ribas; Flausino, 2020).

O etanol hidratado e o etanol anidro desempenham papéis cruciais no sistema energético brasileiro, cada um com suas características e aplicações específicas. A compreensão dessas diferenças é fundamental para a formulação de políticas energéticas eficazes e para a promoção do uso sustentável de combustíveis renováveis. A interdependência entre esses dois tipos de etanol reflete não apenas a dinâmica do mercado, mas também a importância do etanol na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentamos a metodologia adotada para a realização deste trabalho de conclusão. A escolha dos métodos e técnicas de pesquisa é fundamental para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Descreveremos, portanto, o delineamento da pesquisa, os instrumentos utilizados para a coleta de dados, bem como a abordagem analítica empregada. Através de uma abordagem rigorosa e sistemática, buscamos responder às questões de pesquisa e alcançar os objetivos propostos, contribuindo assim para o avanço do conhecimento na área em questão.

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é uma etapa crucial na análise e desenvolvimento de projetos relacionados à produção e venda de biodiesel e etanol. Ao utilizar informações de fontes como a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) o presente trabalho se fundamenta em dados confiáveis e relevantes.

A ANP disponibiliza informações sobre a produção, distribuição e consumo de biocombustíveis no Brasil, além de dados sobre preços, regulamentações e políticas públicas que impactam o setor. Esse agente regulador frequentemente oferece dados complementares, como análises de mercado, tendências e inovações tecnológicas, que enriquecem a compreensão do cenário atual dos biocombustíveis.

O objetivo da coleta de dados neste trabalho é claro: possibilitar a análise do estado econômico atual dos setores brasileiros de biodiesel e etanol, investigar a matéria-prima utilizada, elencar quais são os maiores produtores, etc. Para isso, foram utilizados métodos de coleta quantitativa, que envolvem dados numéricos sobre produção e consumo.

Os resultados foram compilados em relatórios que apresentam as descobertas de forma clara e concisa, utilizando gráficos e tabelas para facilitar a compreensão. Em suma, a coleta de dados de fontes respeitáveis, como a ANP, foi essencial para a análise da produção e venda de biodiesel e etanol brasileiros.

3.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

Este trabalho de conclusão envolveu um rigoroso processo de coleta e análise de dados, utilizando a linguagem de programação *Python* e diversas bibliotecas especializadas. A primeira etapa consistiu na coleta dos dados, que foram organizados e preparados para análise. Utilizamos a biblioteca **Pandas**, amplamente reconhecida por sua eficiência na manipulação de dados em estruturas de *DataFrame*. Essa biblioteca permitiu a leitura, limpeza e transformação dos dados brutos, facilitando a identificação de valores ausentes e a aplicação de técnicas de imputação quando necessário.

Para a análise de séries temporais, empregamos a biblioteca **pmdarima**, que oferece a função `auto_arima()`. Essa função automatiza o processo de identificação do modelo *SARIMA* mais adequado para os nossos dados, considerando diferentes combinações de parâmetros $(p, d, q)(P, D, Q)$. A utilização do `auto_arima()` foi crucial para otimizar o ajuste do modelo e garantir a precisão das previsões.

A visualização dos dados foi realizada com a biblioteca **matplotlib**, que nos permitiu gerar gráficos informativos e intuitivos. Esses gráficos foram essenciais para a interpretação visual das tendências e padrões nos dados, além de facilitar a comunicação dos resultados obtidos. Para validar as suposições do modelo e garantir a robustez da análise, utilizamos a biblioteca **statsmodels**. Com

ela, realizamos testes estatísticos como o teste de *Dickey-Fuller aumentado* (`adfuller`) para verificar a estacionaridade das séries temporais, além de análises de autocorrelação (*ACF*) e autocorrelação parcial (*PACF*) para determinar a dependência temporal dos dados.

Por fim, para avaliar a performance dos modelos preditivos, empregamos a biblioteca **sklearn**. Utilizamos métricas como o erro quadrático médio (`mean_squared_error()`) e o erro absoluto médio (`mean_absolute_error()`) para quantificar a precisão das previsões. Essas métricas foram fundamentais para comparar diferentes modelos e selecionar o que melhor se adequava aos dados analisados.

A integração das diversas bibliotecas do *Python* permitiu uma análise abrangente e detalhada, resultando em *insights* valiosos e previsões precisas. O uso dessas ferramentas não só facilitou a manipulação e análise dos dados, mas também garantiu a robustez e a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.3 MODELO SARIMA

O modelo *SARIMA*, que significa *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*, é uma extensão do modelo *ARIMA*, projetado para lidar com dados de séries temporais que apresentam sazonalidade. Este modelo é amplamente utilizado em diversas áreas, como hidrologia, economia e gestão de resíduos, devido à sua eficácia em prever valores futuros com base em padrões históricos. Como veremos mais adiante, a série de vendas de óleo diesel, assim como a de etanol hidratado contém sazonalidade e, por essa razão, se optou na escolha desse modelo.

O modelo *SARIMA* é representado como $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$, onde:

- Parte Autorregressiva (*AR*): Refere-se à dependência linear entre uma observação e um número de observações anteriores.
- Parte de Média Móvel (*MA*): Refere-se à dependência linear entre uma observação e um número de erros de previsão anteriores.
- Diferenciação (*I*): É o processo de subtrair a observação anterior de uma série para remover tendências.
- Sazonalidade (*S*): O modelo *SARIMA* também considera padrões que se repetem em intervalos regulares, como variações sazonais que ocorrem em ciclos.
- p : ordem da parte autorregressiva (*AR*).
- d : grau de diferenciação (*I*) necessário para tornar a série estacionária.
- q : ordem da parte de média móvel (*MA*).
- P : ordem da parte sazonal autorregressiva.
- D : grau de diferenciação sazonal.
- Q : ordem da parte sazonal de média móvel.
- s : período sazonal (por exemplo, 12 para dados mensais).

A metodologia para aplicar o modelo *SARIMA* geralmente segue os passos do método de *Box-Jenkins*, que inclui: a) Identificação: Analisar a série temporal para identificar a presença de tendências, sazonalidade e estacionariedade. Isso pode ser feito através de gráficos de autocorrelação (*ACF*) e

autocorrelação parcial (*PACF*). b) Estimativa: Estimar os parâmetros do modelo usando métodos como o Máximo de Verossimilhança. c) Diagnóstico: Avaliar a adequação do modelo ajustado através de testes estatísticos e análise dos resíduos, assegurando que eles se comportem como um ruído branco. d) Previsão: Usar o modelo ajustado para fazer previsões futuras e avaliar sua precisão com métricas como o coeficiente de *Nash-Sutcliffe*, que mede a eficiência do modelo em comparação com a média dos dados observados.

Diversos trabalhos têm aplicado modelos de previsão de consumo utilizando séries temporais em diferentes contextos.

Um estudo aplicou o modelo $SARIMA(0, 1, 0)(2, 1, 1)_{12}$ para prever o consumo de usuários em uma linha de transporte coletivo intermunicipal entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra. Os dados históricos de janeiro de 2014 a dezembro de 2017 foram analisados para determinar o modelo mais adequado (Sanches *et al.*, 2019).

Um modelo de regressão foi desenvolvido para prever o consumo de jogos de futebol, levando em consideração a importância de cada partida. O modelo final contou com doze valores de importância estimados com base na relação entre preço, importância e público, além de dez variáveis independentes. O modelo apresentou melhora significativa no coeficiente de determinação (R^2) em comparação a estudos anteriores (Ribeiro, 2021).

Esses exemplos demonstram a versatilidade dos modelos de previsão de consumo baseados em séries temporais, como o *SARIMA*, em diversas áreas, desde transporte público até laboratórios e esportes. Tais modelos fornecem informações valiosas para o planejamento e tomada de decisão organizacional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seção de resultados e discussão deste trabalho, será apresentado uma análise detalhada sobre a produção de etanol e biodiesel. Esta seção será dividida em três partes: uma parte dedicada a falar sobre a composição dos produtores dos mercados e da composição dos mercados em si, uma outra parte dedicada a falar sobre quais matérias-primas são utilizadas e de onde elas são provenientes e uma última parte dedicada a fazer uma previsão de consumo usando o modelo *SARIMA*, cada uma abordando aspectos fundamentais para a compreensão do setor de biocombustíveis.

4.1 DADOS DOS PRODUTORES DE ETANOL E BIODIESEL

O setor de biocombustíveis no Brasil, que abrange a produção de etanol e biodiesel, apresenta uma configuração geográfica e operacional bastante definida. No caso do etanol, as usinas estão predominantemente localizadas nas regiões central e sudeste do país, com uma concentração significativa nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Como é demonstrado na Figura 1, existem 357 usinas de etanol em operação, refletindo a importância dessas regiões na produção do biocombustível. Por outro lado, na Figura 2 a produção de biodiesel também se concentra nas mesmas regiões, em menor escala, apesar de ter uma concentração maior na região sul, com um total de 61 usinas espalhadas pelo território nacional. O mapa das usinas de biodiesel destaca a similaridade na distribuição geográfica em relação ao etanol, evidenciando a relevância das regiões centro-oeste, sul e sudeste para o setor de biocombustíveis no Brasil. Essa concentração de usinas em áreas específicas pode ser atribuída a fatores como a disponibilidade de matéria-prima, infraestrutura e políticas de incentivo à produção de biocombustíveis, que têm sido fundamentais para o desenvolvimento desse segmento no país.



Figura 1 – Mapa Brasileiro das Usinas Instaladas Produtoras de Etanol em 2023 - Fonte: ANP



Figura 2 – Mapa Brasileiro das Usinas Instaladas Produtoras de Biodiesel em 2023 - Fonte: ANP

Como podemos ver na Figura 3, em 2023, a produção de etanol no Brasil alcançou um marco significativo, com o estado de São Paulo se consolidando como o líder absoluto em volume de produção. A região Sudeste, juntamente com o Centro-Oeste, é responsável por cerca de 90% de todo o etanol comercializado no país, totalizando aproximadamente 35,4 bilhões de litros, que incluem tanto o etanol hidratado quanto o anidro. Esse desempenho reflete não apenas a capacidade instalada das usinas, mas também a eficiência do setor na transformação de cana-de-açúcar em biocombustível. A crescente demanda por etanol, impulsionada por políticas de incentivo e pela busca por alternativas mais sustentáveis ao combustível fóssil, tem levado as usinas a otimizar seus processos produtivos. Além disso, a produção de etanol a partir do milho também tem mostrado um crescimento expressivo, especialmente na região Centro-Oeste, diversificando ainda mais a matriz produtiva do biocombustível no Brasil. O cenário atual do etanol brasileiro parece bem promissor, com expectativas de crescimento, como veremos mais a frente, alinhadas às metas de descarbonização e à transição energética global.

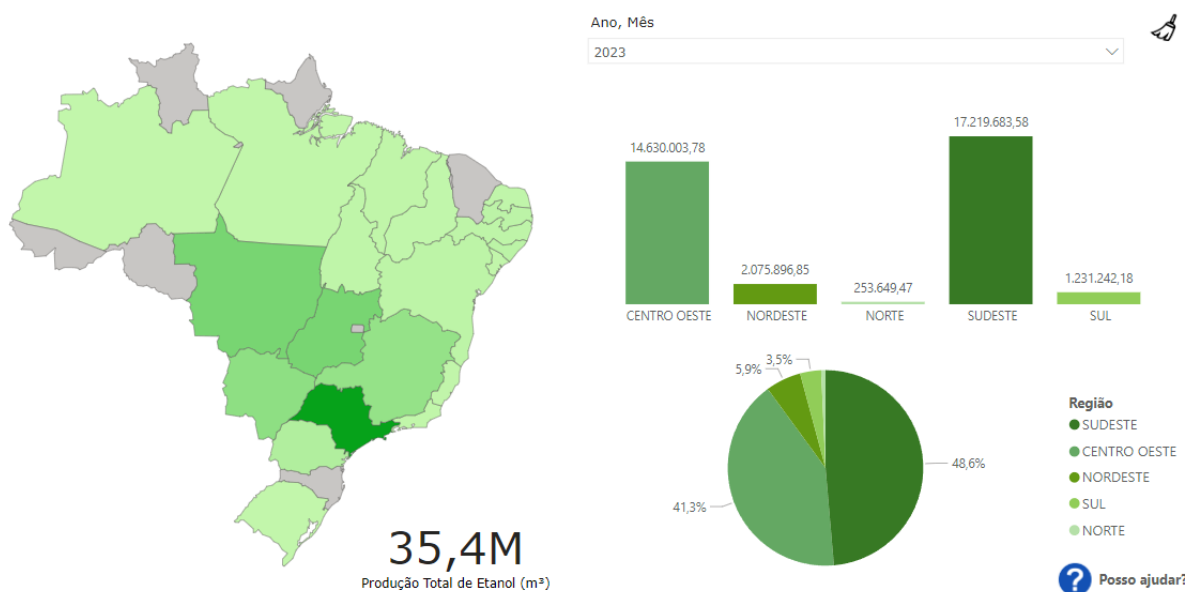


Figura 3 – Produção e Composição da Produção de Etanol no Brasil em 2023, por Região. - Fonte: ANP

Como podemos ver na Figura 4, em 2023, a produção de biodiesel no Brasil alcançou um novo

recorde, com um volume estimado em 7,3 bilhões de litros, um aumento significativo em relação aos 6,3 bilhões de litros produzidos no ano anterior. É possível enxergar que o Rio Grande do Sul e o Mato Grosso se destacaram como os principais estados produtores, refletindo a força das regiões Sul e Centro-Oeste, que juntas foram responsáveis por 82,1% da produção total de biodiesel no país, como é demonstrado na Figura 5. A ampliação da mistura obrigatória de biodiesel no diesel, que passou de 10% para 12% em abril de 2023, foi um fator crucial para esse crescimento. Essa mudança não apenas incentivou a produção, mas também proporcionou maior previsibilidade para os investimentos no setor, permitindo que as usinas operassem com maior eficiência e reduzissem a ociosidade de suas capacidades produtivas. Com a expectativa de que a mistura continue a aumentar nos próximos anos, o Brasil se consolida como um dos maiores produtores de biodiesel do mundo, contribuindo para a transição energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

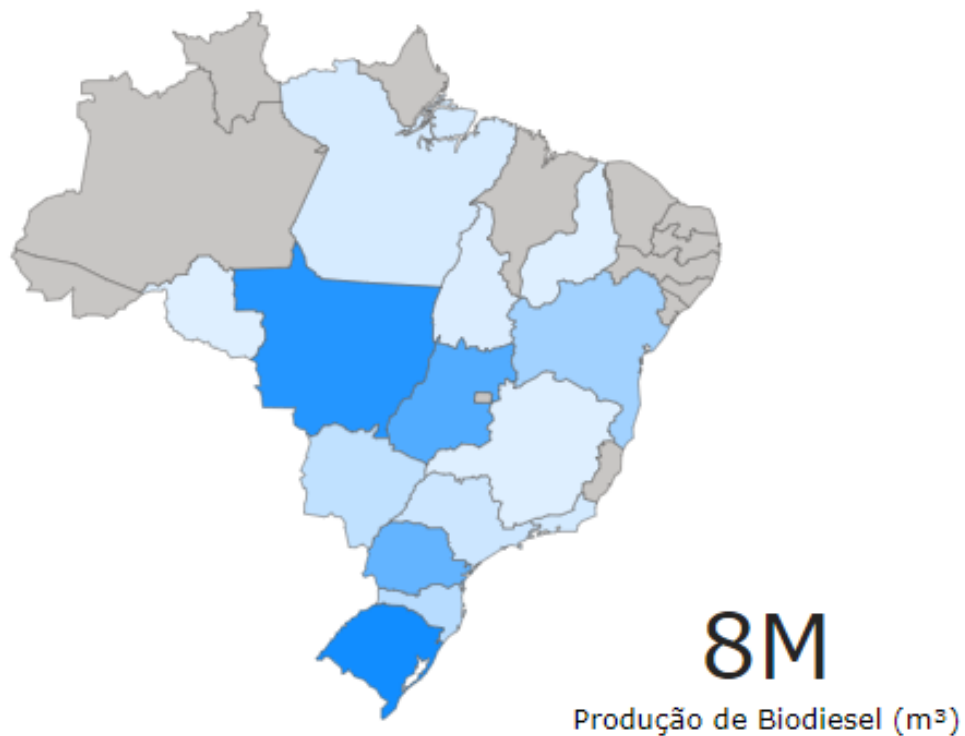


Figura 4 – Mapa da Produção de Biodiesel no Brasil em 2023 - Fonte: ANP

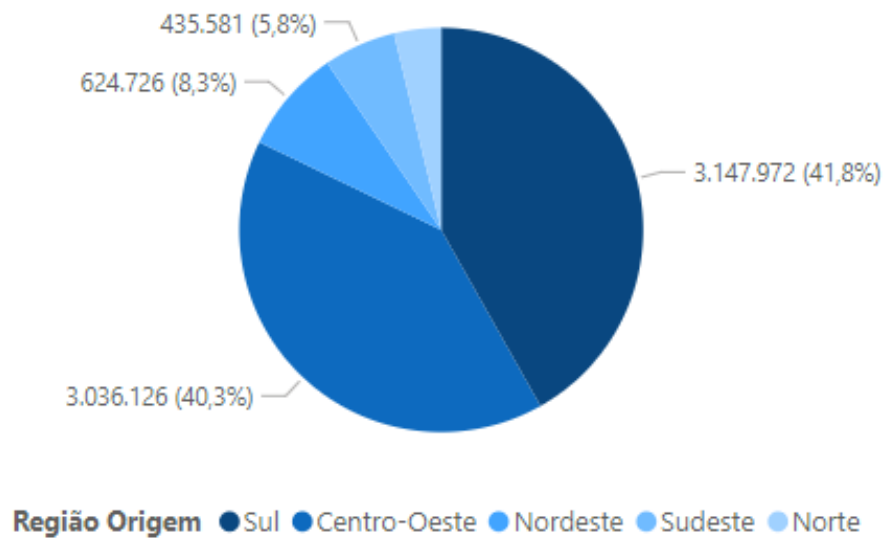


Figura 5 – Composição da Produção de Biodiesel no Brasil em 2023, por Região. - Fonte: ANP

Como mostra a Figura 6, em 2023, o mercado de distribuição do etanol hidratado no Brasil apresentou uma concentração significativa, com 52,06% do total sendo dominado por apenas três empresas: Raízen, Vibra e Ipiranga. A Raízen lidera o segmento com uma fatia de 17,93%, seguida pela Vibra com 17,8% e Ipiranga com 16,33%. Essa concentração evidencia a forte presença dessas empresas no setor, enquanto o restante do mercado é distribuído de maneira bastante fragmentada entre outras companhias, que detêm participações que variam de 0,1% a 4,42%. Esse cenário reflete tanto a competitividade do setor quanto os desafios enfrentados por empresas menores para se destacarem em um mercado dominado por grandes *players*.

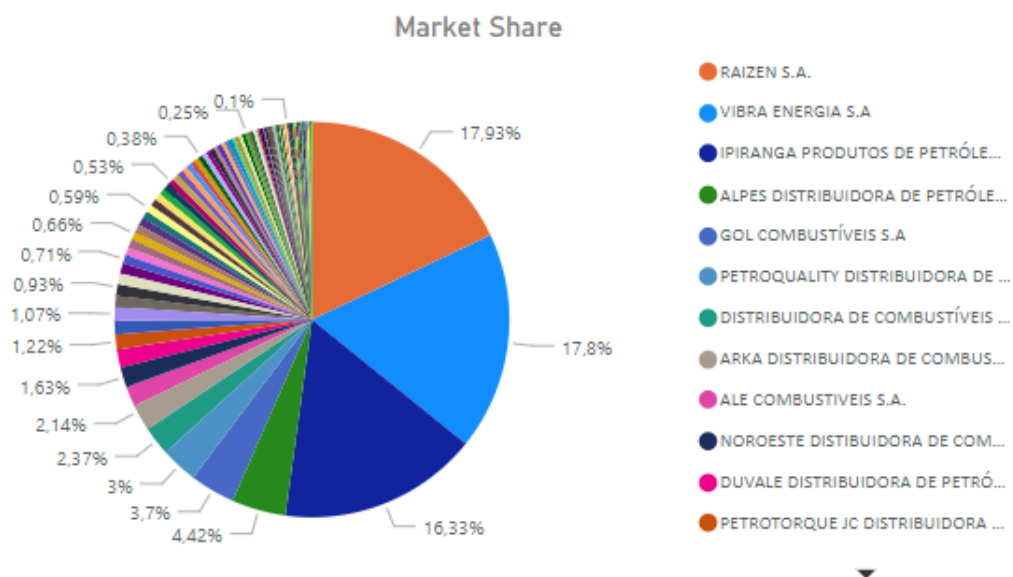


Figura 6 – Market Share Brasileiro da Distribuição de Etanol Hidratado em 2023 - Fonte: ANP

Já na Figura 7, em 2023, o mercado de distribuição de óleo diesel no Brasil apresentou também uma estrutura de participação de mercado bastante concentrada, com 62,67% do total sendo dominado pelas mesmas três empresas que o mercado de etanol hidratado: Raízen, Vibra e Ipiranga. Assim como no setor de etanol hidratado, essa concentração reflete a forte presença dessas companhias

na distribuição de combustíveis no país. O restante do mercado é fragmentado, com diversas outras empresas detendo participações que variam de 0,1% a 2,41%.

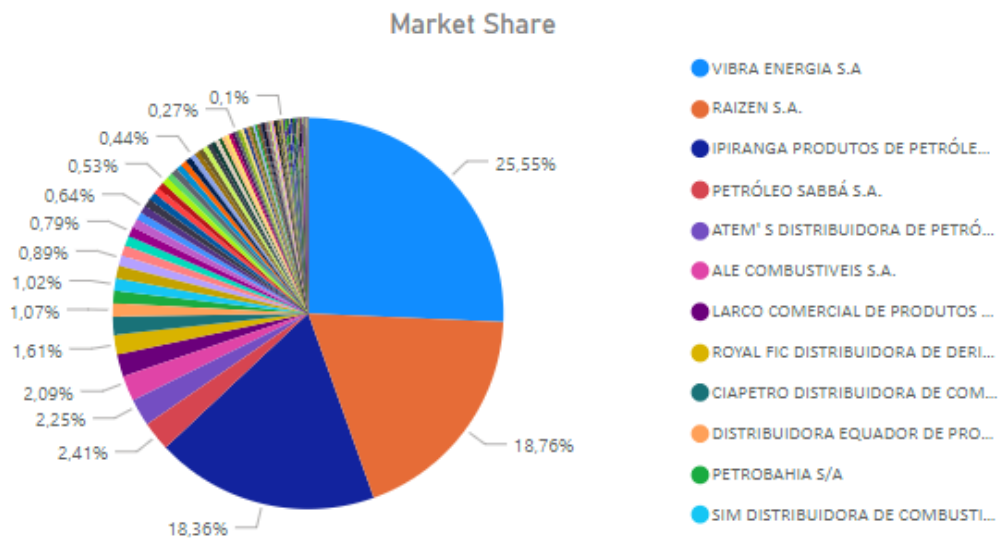


Figura 7 – Market Share Brasileiro da Distribuição de Óleo Diesel em 2023 - Fonte: ANP

4.2 MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA

A produção de etanol no Brasil em 2023 é predominantemente baseada na cana-de-açúcar, que representa impressionantes 92,32% da matéria-prima utilizada, como é demonstrado na Figura 8. Embora a produção se estenda por quase todos os estados brasileiros, como é mostrado na Figura 9, São Paulo se destaca como o líder na produção de cana, refletindo sua importância histórica e estratégica no setor. Além da cana-de-açúcar, o milho também tem ganhado espaço na produção de etanol, especialmente na região Centro-Oeste, onde algumas usinas têm se dedicado a esse insumo. Essa diversificação na matéria-prima, embora ainda em menor escala, contribui para a resiliência do setor e a busca por alternativas sustentáveis. Contudo, a cana-de-açúcar permanece como a base sólida da indústria de etanol no Brasil, consolidando o país como um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo.

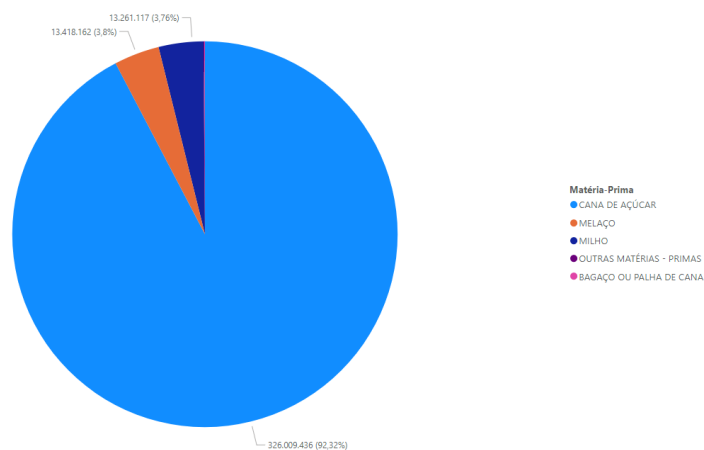


Figura 8 – Mapa de Produção de Matéria-Prima para Produção de Etanol brasileiro em 2023 - Fonte: ANP

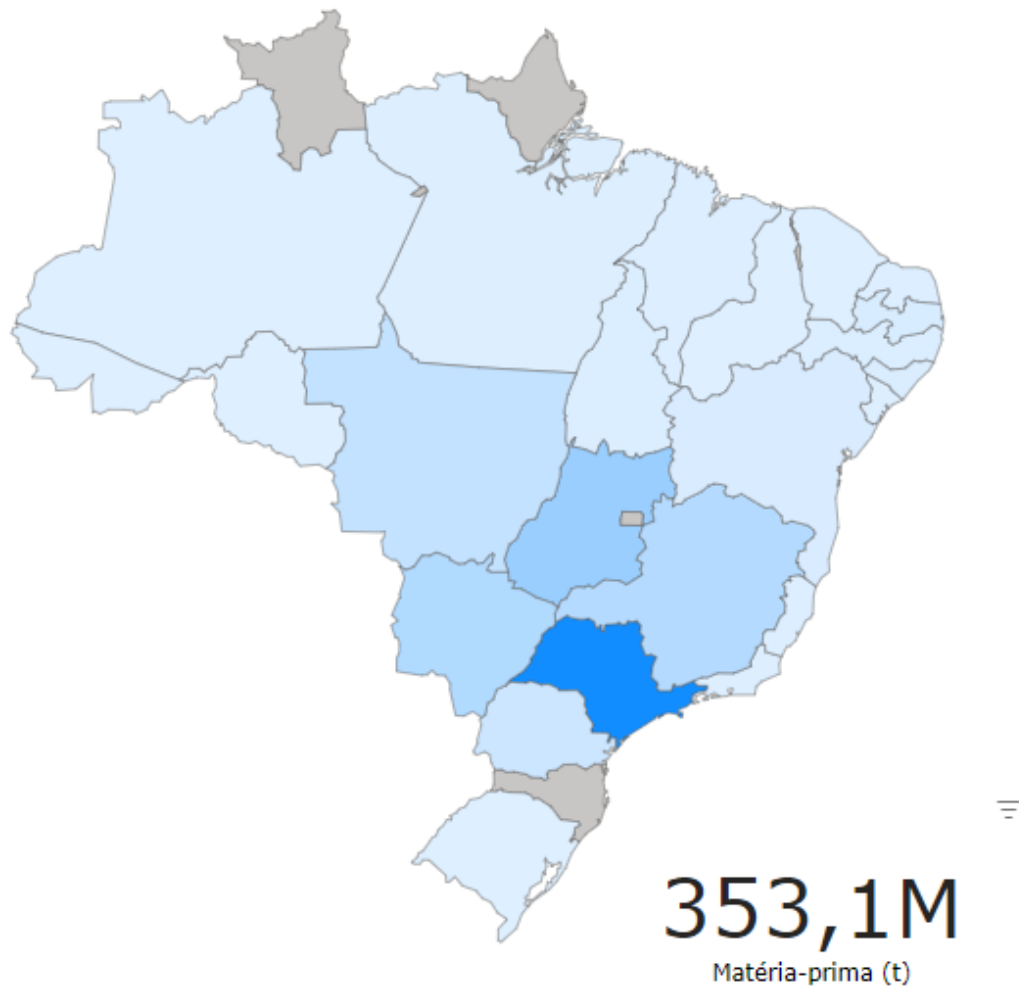


Figura 9 – Composição da Matéria-Prima Utilizada para Produção de Etanol Brasileiro em 2023 - Fonte: ANP

A Figura 10 mostra que, em 2023, a produção de biodiesel no Brasil é marcada pela diversidade de matérias-primas utilizadas, com destaque para o óleo de soja, que representa 69,1% da fonte de insumos. Os estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso lideram a produção de matéria-prima, seguidos por Goiás, Bahia e Paraná, que também desempenham papéis relevantes nesse cenário. Embora o óleo de soja seja o mais utilizado devido à sua ampla disponibilidade, ele não apresenta a mesma rentabilidade que o óleo de palma ou dendê. No entanto, a grande produção de soja no Brasil garante sua predominância na fabricação de biodiesel. A diversificação das fontes de matéria-prima é cada vez mais evidente, refletindo uma regionalização que permite a utilização de diferentes óleos e gorduras, contribuindo para a sustentabilidade e a resiliência do setor. Essa variedade não só amplia as opções de insumos, mas também fortalece a cadeia produtiva, promovendo uma maior integração entre os produtores locais e a indústria de biodiesel.

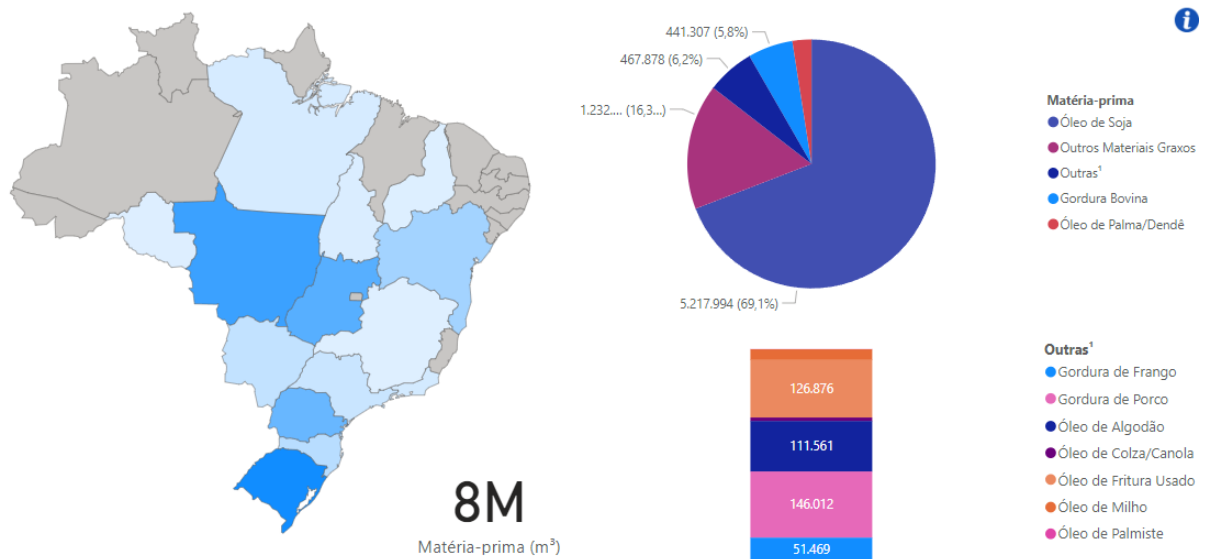


Figura 10 – Composição da Matéria-Prima Utilizada para Produção de Biodiesel Brasileiro em 2023 - Fonte: ANP

4.3 PREVISÃO DE CONSUMO USANDO O MODELO SARIMA

A previsão de consumo é uma atividade essencial para a gestão eficiente de estoques e planejamento estratégico em diversas indústrias. Neste contexto, o modelo *SARIMA* (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) se destaca como uma ferramenta poderosa para a análise de séries temporais, especialmente quando se trata de dados que apresentam padrões sazonais. Nesta subseção, abordaremos a aplicação do modelo *SARIMA* na previsão de vendas de Etanol Hidratado e Óleo Diesel, utilizando a metodologia *Box-Jenkins*. Essa abordagem sistemática permite identificar, estimar e diagnosticar modelos adequados para séries temporais, proporcionando informações valiosas sobre as tendências e sazonalidades presentes nas vendas desses combustíveis. Através dessa análise, buscaremos não apenas prever o consumo futuro, mas também entender os fatores que influenciam as variações nas vendas, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e eficaz. Cabe destacar também que foram coletadas 410 observações mensais das vendas de etanol hidratado e de óleo diesel, que compreende o período de Janeiro de 1990 até Abril de 2024 - dados anteriores a 1990 são anualizados e, por isso, não foram usados nesse trabalho. E cabe pontuar também que foi usada a série de venda de óleo diesel, pois o óleo diesel brasileiro, como já foi pontuado nesse trabalho, é misturado ao biodiesel. Até existem máquinas e indústrias que usam o biodiesel puro, porém é ínfimo se comparado ao volume de óleo diesel vendido, além desses dados não estarem disponíveis de forma mensal, a partir de 1990, como o de etanol hidratado.

A análise da série temporal, na Figura 11, de vendas de etanol hidratado revela informações valiosas sobre o comportamento do mercado ao longo do tempo. O gráfico original mostra a evolução das vendas, evidenciando flutuações que podem ser atribuídas a uma série de fatores, como mudanças econômicas, climáticas e políticas de combustíveis. Essas variações não são aleatórias; elas podem indicar padrões que sugerem a presença de sazonalidade. Ao observar o componente de tendência, nota-se uma linha suavizada que representa o movimento geral das vendas, desconsiderando as oscilações de curto prazo. Inicialmente, a série apresenta uma tendência decrescente, possivelmente refletindo a crescente concorrência ou mudanças nas preferências dos consumidores. Com o tempo, as vendas se estabilizam, indicando uma adaptação do mercado. Nos últimos anos, uma recuperação nas vendas se torna evidente, o que pode ser resultado de incentivos governamentais, aumento do consumo por

combustíveis renováveis ou inovações na produção. Por outro lado, o componente sazonal destaca padrões de vendas que se repetem em intervalos específicos. É comum observar picos de vendas em determinados meses do ano, que podem estar relacionados à colheita da cana-de-açúcar ou a feriados que impulsionam o consumo. Essa sazonalidade é bastante pronunciada e consistente, o que oferece uma oportunidade para previsões mais precisas e planejamento estratégico.

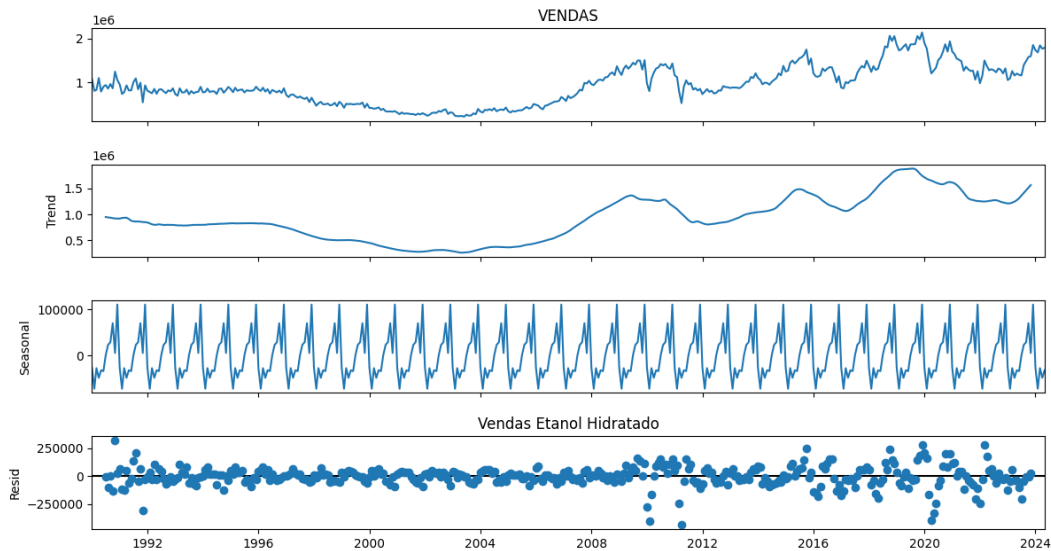


Figura 11 – Decomposição da série de vendas de etanol hidratado desde janeiro de 1990 até abril de 2024 - Elaboração do Autor

Os resultados do teste de *Dickey-Fuller Aumentado (ADF)* para a série de vendas de etanol hidratado revelam informações importantes sobre a natureza dessa série temporal. A estatística *ADF* obtida foi de -1.251 , um valor que não é suficientemente negativo para rejeitar a hipótese nula de que a série possui uma raiz unitária, indicando não estacionaridade. Além disso, o *p-value* associado ao teste foi de 0.651 , um número que, sendo superior a 0.05 , sugere que não temos evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Em resumo, esses resultados indicam que a série de vendas de etanol hidratado é não estacionária. Diante disso, é necessário transformar a série em estacionária antes de prosseguir com o ajuste do modelo *SARIMA*.

Os resultados fornecidos pela função `auto_arima()` indicam que o melhor modelo identificado para a série temporal de vendas de etanol hidratado é um modelo *SARIMA* com os seguintes parâmetros: *ARIMA* (5,1,4)(1,0,1) com intercepto. Essa notação significa que o modelo é composto por um componente não sazonal *ARIMA* (5,1,4) e um componente sazonal (1,0,1) com período sazonal de 12 unidades, pois os dados são mensais. O componente não sazonal *ARIMA* (5,1,4) é interpretado da seguinte forma: o número 5 indica que há 5 termos autorregressivos (*AR*), ou seja, os últimos 5 valores passados têm uma relação significativa com o valor atual da série; o número 1 indica que foi aplicada uma diferenciação para tornar a série estacionária; e o número 4 indica que há 4 termos de média móvel (*MA*), ou seja, os últimos 4 resíduos (erros) passados são usados para modelar a série. O componente sazonal (1,0,1) é interpretado da seguinte forma: o número 1 indica que há 1 termo autorregressivo sazonal (*SAR*), sugerindo uma relação significativa entre o valor atual e o valor de 12 períodos atrás; o número 0 indica que não foi necessário diferenciar sazonalmente a série; e o número 1 indica que há 1 termo de média móvel sazonal (*SMA*), baseado no erro do período sazonal anterior. Além disso, o modelo inclui um termo de intercepto, que ajuda a ajustar a média da série temporal. Essa combinação de componentes não sazonais e sazonais permite que o modelo *SARIMA* capture tanto a estrutura de dependência não sazonal quanto a sazonal, ajustando a série para melhor representar os padrões de

dados históricos e fornecer previsões mais precisas.

Agora para a série de vendas de óleo diesel, da Figura 12, a análise da série temporal de vendas de óleo diesel revela informações valiosas sobre seu comportamento ao longo do tempo. O gráfico superior apresenta a série original, onde é possível observar um crescimento contínuo nas vendas, acompanhado de variações que sugerem a presença de sazonalidade e outros padrões. Essa visualização inicial já indica que as vendas não apenas aumentam, mas também apresentam flutuações que podem estar relacionadas a fatores sazonais. No segundo gráfico, que representa o componente de tendência, observamos uma linha suavizada que ilustra o movimento geral da série ao longo dos anos, excluindo a sazonalidade e os ruídos. Essa tendência revela um crescimento consistente nas vendas de óleo diesel, indicando que, apesar das variações, há um aumento geral no consumo ao longo do tempo. O terceiro gráfico, que mostra o componente sazonal, captura as variações regulares que se repetem em intervalos específicos, como flutuações sazonais anuais. A sazonalidade apresentada é bem definida e consistente, com picos regulares que ocorrem em determinados períodos do ano, sugerindo que fatores sazonais desempenham um papel significativo nas vendas.

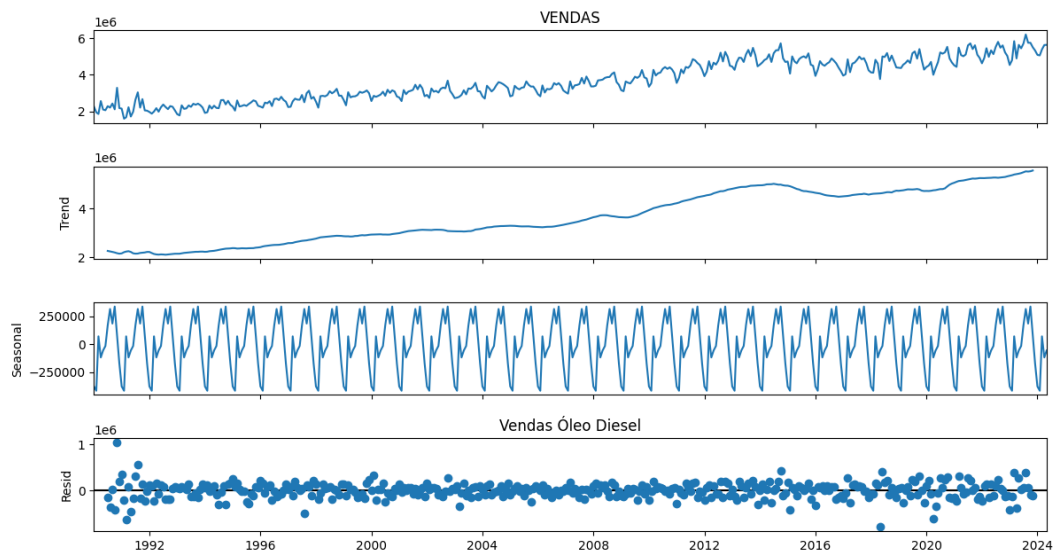


Figura 12 – Decomposição da série de vendas de óleo diesel desde janeiro de 1990 até abril de 2024 - Elaboração do Autor

Os resultados do teste de *Dickey-Fuller Aumentado (ADF)* para a série de vendas de óleo diesel revelam que a série é provavelmente não estacionária. A estatística *ADF* obtida foi de -0.549, um valor que não é suficientemente negativo para rejeitar a hipótese nula de não estacionariedade. Além disso, o *p-value* de 0.882 é bastante elevado, o que reforça a conclusão de que não temos evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Assim, assim como observado na série de etanol hidratado, a série de óleo diesel também apresenta características de não estacionariedade e, portanto, precisará ser diferenciada para alcançar a estacionariedade. Para a série de vendas de óleo diesel, o modelo *SARIMA* identificado pela função `auto_arima()` foi *ARIMA*(5,1,4)(1,0,1) sem intercepto, ao contrário do etanol hidratado. Esse modelo é composto por um componente não sazonal *ARIMA*(5,1,4), que indica que os últimos 5 valores da série têm uma relação significativa com o valor atual, uma diferenciação é necessária para tornar a série estacionária, e os últimos 4 resíduos são utilizados na modelagem. O componente sazonal (1,0,1) sugere uma relação significativa entre o valor atual e o valor de 12 períodos atrás, refletindo a sazonalidade anual, não sendo necessária diferenciação sazonal, e o termo de média móvel sazonal se baseia no erro do período sazonal anterior. A periodicidade sazonal é anual, com um ciclo de 12 meses.

No primeiro gráfico da Figura 13, que apresenta as previsões para etanol hidratado, observa-se

uma tendência de queda nas vendas desde o início dos anos 1990 até cerca de 2004, seguida de uma recuperação e crescimento constante até 2024. A linha azul representa os dados históricos usados para treinar o modelo, enquanto a linha verde indica os dados de teste, que são os dados históricos não utilizados no treinamento e servem para validar a previsão do modelo. A linha laranja representa as previsões de vendas feitas pelo modelo *SARIMA* para o período de teste. Embora a previsão pareça seguir a tendência observada nos dados históricos, ela não parece estar bem ajustada aos dados de teste, sugerindo que o modelo pode não estar capturando todos os aspectos relevantes da série temporal. O segundo gráfico da Figura 13 apresenta as previsões para as vendas de óleo diesel. Nesse caso, observa-se uma tendência de crescimento mais consistente nas vendas ao longo dos anos. A linha azul mostra os dados históricos utilizados para treinar o modelo, enquanto a linha verde representa os dados de teste. A linha vermelha indica as previsões de vendas de óleo diesel feitas pelo modelo para o período de teste. As previsões parecem seguir de perto a tendência de crescimento observada nos dados históricos, com uma ligeira variabilidade. Isso sugere que o modelo *SARIMA* ajustado para a série de óleo diesel está capturando bem os padrões de crescimento do consumo. Em resumo, embora os modelos *SARIMA* tenham sido aplicados a ambas as séries temporais, os resultados indicam que o modelo para etanol hidratado pode necessitar de ajustes adicionais para melhorar o ajuste aos dados de teste, enquanto o modelo para óleo diesel parece estar bem ajustado e capturando adequadamente a tendência de crescimento do consumo.

Como apenas o modelo para o óleo diesel aparentemente está bem ajustado, o modelo sugere que os próximos períodos continuarão tendo crescimento, mesmo com as flutuações sazonais. Já para o etanol hidratado, não se pode afirmar nada, pois o modelo não parece estar bem ajustado ainda.

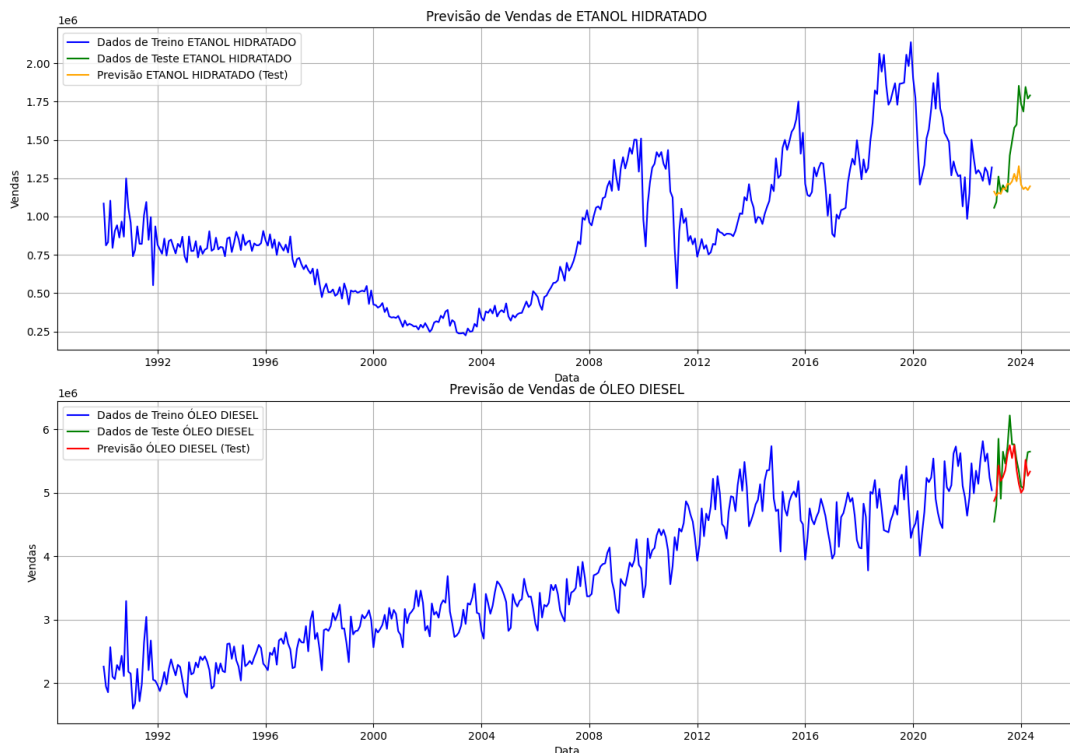


Figura 13 – Gráfico de Previsão *SARIMA* para vendas de etanol hidratado e Biodiesel - Elaboração do Autor

A análise dos resíduos do modelo *SARIMA* aplicado às vendas de etanol hidratado é uma etapa crucial para avaliar a adequação do modelo e sua capacidade de capturar a dinâmica dos dados. Vamos interpretar os principais aspectos do gráfico de resíduos da Figura 14. Primeiramente, os resíduos parecem variar em torno de zero sem um padrão claro, o que é um sinal positivo. Essa ausência de

padrão sugere que o modelo está adequadamente ajustado aos dados, uma vez que os resíduos não apresentam tendências ou ciclos evidentes. No entanto, é importante notar que existem alguns picos iniciais nos resíduos, que podem indicar discrepâncias significativas nos dados históricos ou potenciais problemas de modelagem durante esses períodos. Em relação ao histograma dos resíduos, a forma é aproximadamente simétrica e centrada em torno de zero. Isso indica que os resíduos seguem uma distribuição aproximadamente normal, o que é um bom sinal. A normalidade dos resíduos sugere que o modelo não apresenta viés sistemático, permitindo que as previsões sejam consideradas confiáveis. Além disso, a análise da função de autocorrelação (*ACF*) revela que a maioria dos valores de autocorrelação está próxima de zero, exceto pelo primeiro ponto (*lag* 0), que é sempre 1. Isso sugere que não há autocorrelação significativa nos resíduos, indicando que o modelo capturou bem a estrutura dos dados e que as previsões são independentes entre si. Por fim, a função de autocorrelação parcial (*PACF*) também demonstra que não há autocorrelações significativas além do primeiro *lag*. Essa observação reforça a ideia de que os resíduos não possuem dependências temporais, o que é um indicativo de um bom ajuste do modelo. Em suma, a análise dos resíduos do modelo SARIMA para as vendas de etanol hidratado sugere que o modelo é adequado, capturando bem as dinâmicas da série temporal. No entanto, a presença de picos iniciais nos resíduos deve ser investigada mais a fundo para garantir que não haja problemas subjacentes que possam afetar a precisão das previsões.

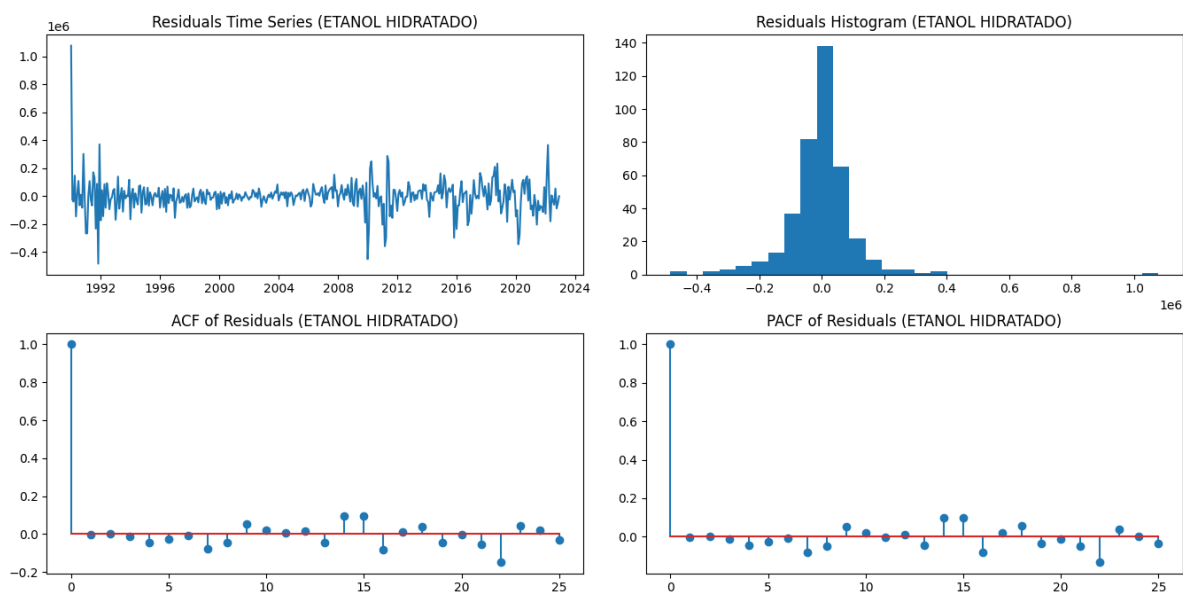


Figura 14 – Gráficos dos resíduos da série ajustada de vendas de etanol hidratado - Elaboração do Autor

Agora para a série de vendas de óleo diesel, que está na Figura 15, primeiramente, observa-se que os resíduos se distribuem em torno de zero, o que é um resultado esperado quando o modelo está adequadamente ajustado aos dados. No entanto, assim como nos resíduos do modelo para etanol hidratado, há alguns picos no início da série, sugerindo possíveis discrepâncias nos dados históricos ou ajustes iniciais do modelo. Essa observação indica a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre esses períodos específicos. Em relação à distribuição dos resíduos, ela é aproximadamente simétrica e centrada em torno de zero, o que sugere que os resíduos seguem uma distribuição aproximadamente normal. Embora haja uma leve assimetria à direita, ela não parece ser significativa. A normalidade dos resíduos é um bom sinal, pois indica que o modelo não apresenta viés sistemático. A análise da função de autocorrelação (*ACF*) revela que os valores de autocorrelação são baixos e próximos de zero para quase todos os *lags*. Isso sugere a ausência de autocorrelação significativa, o que é um indicativo de que o modelo capturou bem as estruturas dos dados e que

os resíduos são independentes entre si. Essa observação é reforçada pela função de autocorrelação parcial (*PACF*), que também apresenta valores próximos de zero para todos os *lags*. Essa constatação corrobora a ausência de padrões de autocorrelação significativos nos resíduos. Em resumo, a análise dos resíduos do modelo *SARIMA* para as vendas de óleo diesel sugere que o modelo está adequado, com resíduos aproximadamente normais e independentes. A ausência de autocorrelação significativa nos resíduos indica que o modelo conseguiu capturar bem as dinâmicas dos dados de vendas de óleo diesel. No entanto, os picos iniciais observados nos resíduos devem ser investigados mais a fundo para garantir a consistência dos dados históricos ou a adequação do modelo nesses períodos específicos.

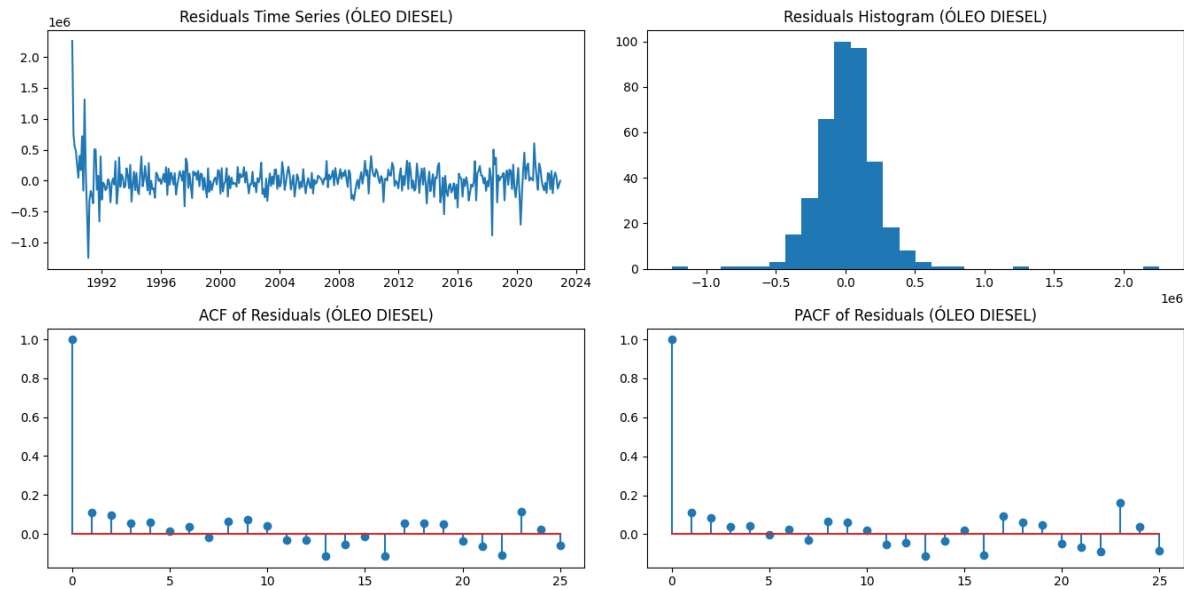


Figura 15 – Gráficos dos resíduos da série ajustada de vendas de óleo diesel - Elaboração do Autor

Por fim, será utilizadas algumas métricas para avaliar o modelo ajustado e os resultados estarão na Tabela 2 abaixo.

	RMSE	MAE	MAPE	Ljung-Box	Nash-Sutcliffe
Etanol Hidratado	368181.97	286106.05	17.29%	0.824828	-0.728
Óleo Diesel	261570.65	222130.39	4.06%	0.0922	0.6051

Tabela 2 – Métricas de Avaliação do Modelo - Elaboração do Autor

O modelo de previsão para etanol hidratado apresenta uma precisão moderada, com um *RMSE* (*Root Mean Squared Error*) de 368,181.97 e um *MAE* (*Mean Absolute Error*) de 286,106.05. O *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*) de 17.29% indica que, em média, o modelo erra as previsões em cerca de 17.29% do valor real.

O teste *Ljung-Box* sugere que não há evidência significativa de autocorrelação nos resíduos, indicando que o modelo é adequado para capturar a estrutura temporal dos dados. No entanto, o coeficiente de *Nash-Sutcliffe* negativo (-0.7286) indica que o modelo é pior do que usar a média dos dados como previsão, sugerindo uma performance inadequada.

Por outro lado, o modelo para óleo diesel apresenta resultados melhores, com um *RMSE* de 261,570.65 e um *MAE* de 222,130.39. O *MAPE* de 4.06% indica uma precisão relativamente boa para esse combustível.

O teste *Ljung-Box* para óleo diesel sugere uma certa quantidade de autocorrelação nos resíduos, mas não é forte o suficiente para ser estatisticamente significativa. O coeficiente de *Nash-Sutcliffe* de 0.6051 indica que o modelo explica mais de 60% da variabilidade nos dados, demonstrando uma

performance relativamente boa.

A conclusão final que se chega é que o modelo para etanol hidratado precisa ser revisado, com a possibilidade de adicionar novas variáveis ou tentar outras abordagens de modelagem para melhorar sua precisão. Já o modelo para óleo diesel apresenta resultados satisfatórios, mas ainda há espaço para melhorias, especialmente para reduzir os erros absolutos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou realizar uma análise atualizada do mercado de biodiesel e etanol - se comparado ao existente na literatura atual - considerando os movimentos globais em direção à sustentabilidade, créditos de carbono e outras iniciativas que tornam esses mercados extremamente atraentes para o futuro. O etanol, em particular, desempenha um papel importante como bem complementar na extração do biodiesel, o que reforça a relevância desses setores no contexto atual e nas projeções futuras.

Espero ter contribuído, mesmo que modestamente, para a conscientização sobre o imenso potencial que esses setores possuem. Acredito que tanto o biodiesel quanto o etanol podem se tornar extremamente relevantes em um futuro próximo, especialmente à medida que a sociedade busca alternativas mais sustentáveis e eficientes para atender à demanda por energia.

O método de previsão de consumo empregado neste estudo, embora relativamente simples, demonstrou ser eficaz na explicação do comportamento endógeno das vendas de óleo diesel. No entanto, o ajuste para as vendas de etanol não foi tão satisfatório, o que abre espaço para investigações futuras. É fundamental explorar as flutuações nas vendas, especialmente em relação aos choques observados desde 2020. Uma hipótese a ser considerada é a influência do preço da gasolina como uma variável exógena que pode afetar o consumo por etanol, uma vez que esses combustíveis são bens substitutos. Além disso, investigar como os preços das *commodities* e o mercado de alimentos impactam o setor de combustíveis brasileiro e podem oferecer variáveis exógenas que expliquem o modelo.

Outro ponto importante a ser considerado é a concentração dos mercados de óleo diesel e etanol hidratado. É essencial investigar como essa concentração pode impactar a dinâmica do mercado e as estratégias de precificação, uma vez que a estrutura de mercado pode influenciar a competitividade e a inovação.

Por fim, este trabalho também procurou destacar a riqueza da nossa agricultura e o potencial extraordinário para a produção de etanol e biodiesel. Alternativas como o cultivo de dendê e mamona em regiões economicamente menos favorecidas podem não apenas impulsionar a produção de biocombustíveis, mas também contribuir para o desenvolvimento regional e incentivar a industrialização do país. A combinação de sustentabilidade e desenvolvimento econômico é uma oportunidade que devemos explorar com seriedade e compromisso, visando um futuro mais próspero e sustentável para todos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. *et al.* Programa nacional para a produção e uso do biodiesel diretrizes, desafios e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, n. 3, p. 5–18, 2006.
- ALMEIDA, C. M. *et al.* The castor oil production in brazil and the biodiesel program (probiodiesel); a producao de mamona no brasil e o probiodiesel. 2004.
- ALMEIDA, J. d. P. Biodiesel o “óleo filosofal”: desafios para a educação ambiental no caldeirão do “desenvolvimento sustentável”. **Centro Edelstein**, 2010.
- APROBIO. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. 2023. Acessado em: 20/09/2022. Disponível em: <https://aprobio.com.br/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>.
- BASTOS, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, 2007.
- BRAY, S. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D. G. G. **As políticas da agroindústria canavieira e ao proálcool no Brasil**. [S.l.]: Editora Oficina Universitária, 2000.
- COPETTI, L. S.; CORONEL, D. A. Transmissão da variaÇão da taxa de câmbio para os preços de exportação brasileiros do etanol hidratado e anidro. **RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico**, 2020.
- DIAS, J. d. S. O uso do etanol como combustível no brasil vai completar um século! **Agroenergia em Revista, ano 3, n. 5, p. 12-13, dez. 2012.**, 2012.
- FIGUEROA, J. E. J.; MACIEL, M. R. W. Análise e otimização do processo de obtenção de etanol anidro, empregando líquidos iônicos. In: . [S.l.: s.n.], 2011.
- HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. [S.l.]: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações Brasília, 2004. v. 1.
- JÚNIOR, D. J. R. Três ensaios sobre a agroindústria canavieira no brasil pós-desregulamentação. In: . [S.l.: s.n.], 2015.
- KOGA, E. K. *et al.* Biodiesel: Uma relação viável entre ciência, tecnologia, meio-ambiente, sociedade e economia. **Centro Educacional UNINOVE, São Paulo**, 2006.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no brasil. **Estudos avançados, SciELO Brasil**, v. 24, p. 223–253, 2010.
- MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve descrição do proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no brasil. **AgEcon SEARCH**, 2008.
- MORAES, A. K.; SOBRAL, M. F. F.; MELO, A. de S. Uma análise da operação de hedge no etanol hidratado em uma usina do estado da paraíba. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 2021.
- MORAES, M. L. de; BACCHI, M. R. P. Etanol: do início às fases atuais de produção. In: . [S.l.: s.n.], 2015.
- MUR, D. C. C. Evolução e sustentabilidade do programa de biodiesel: um estudo comparativo entre o brasil e a colômbia. 2019.

OLIVEIRA, F. C.; SUAREZ, P. A.; SANTOS, W. d. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**, v. 28, n. 3, 2008.

PABLOS, J. M.; ZAGO, M. S. de A. Estudo para reutilização das cinzas da palha e do bagaço de cana-de-açúcar geradas na produção do etanol de segunda geração em matrizes cimentícias. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, 2023.

PAMPLONA, C. **Proálcool: impacto em termos técnico-econômicos e sociais do programa no Brasil**. [S.l.]: SOPRAL, 1984.

PINTO, A. C. *et al.* Biodiesel: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, p. 1313–1330, 2005.

PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C. d. Formação do mercado de biodiesel no Brasil. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, 2007.

RAMOS, L. *et al.* **Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. Biotecnologia: Ciência e Desenvolvimento 2003, 31, 28**. 2003.

RAMOS, L. P. *et al.* Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista virtual de química**, v. 3, n. 5, p. 385–405, 2011.

RAÍZEN. **Etanol: o que é e como é usado**. 2023. Acessado em: 13/12/2023. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol>.

RIBAS, S. L. D. S.; FLAUSINO, B. D. F. P. G. Mercado do etanol brasileiro: Composição de preços e perspectivas. In: . [S.l.: s.n.], 2020.

RIBEIRO, R. Desenvolvimento de uma ferramenta de precificação para jogos de futebol. **Marketing & Tourism Review**, 2021.

SALLET, C. L.; ALVIM, A. M. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. **Economia & tecnologia (UFPR)**, 2011.

SANCHES, C. *et al.* Modelo sarima aplicado à previsão de demanda de usuários de transporte público entre Campos dos Goytacazes e São João da Barra. In: . [S.l.: s.n.], 2019.

SANTOS, M. R. dos *et al.* Objetivos de desenvolvimento sustentável e a cultura da cana-de-açúcar para produção de etanol. **Caderno de Administração**, 2023.

SHIKIDA, P. F. A.; SCHMIDT, M. Uma interpretação da evolução do proálcool com base na teoria da auto-organização. In: . [S.l.: s.n.], 2008.

SUAREZ, P. A.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 30, p. 2068–2071, 2007.

TULIO, B.; LIMA, L. de. Percentual de etanol anidro na gasolina c: Possíveis impactos no preço do etanol hidratado no estado de São Paulo. In: . [S.l.: s.n.], 2014.

APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 from pmdarima import auto_arima
4 from statsmodels.stats.diagnostic import acorr_ljungbox
5 import matplotlib.pyplot as plt
6 from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_acf
7 from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose
8 from statsmodels.tsa.stattools import adfuller, acf, pacf
9 from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error,
    mean_absolute_percentage_error

11 # Carregando os dados
12 vendasdf = pd.read_csv('TCC/vendas-combustiveis-m3-1990-2024.csv', sep=';')

14 # Mapeando os meses
15 mes_map = {
16     'JAN': 1, 'FEV': 2, 'MAR': 3, 'ABR': 4,
17     'MAI': 5, 'JUN': 6, 'JUL': 7, 'AGO': 8,
18     'SET': 9, 'OUT': 10, 'NOV': 11, 'DEZ': 12
19 }
20 vendasdf['ÊMS'] = vendasdf['ÊMS'].map(mes_map)
21 vendasdf['DATE'] = pd.to_datetime(vendasdf['ANO'].astype(str) + '-' + vendasdf['ÊMS'].
    astype(str).str.zfill(2) + '-01').dt.date
22 vendasdf.rename(columns={'ANO': 'YEAR', 'ÊMS': 'MONTH'}, inplace=True)
23 vendasdf['VENDAS'] = vendasdf['VENDAS'].str.replace(',', '.').astype(float)

25 # Total de vendas por produto
26 total_vendas_por_produto = vendasdf.groupby(['DATE', 'PRODUTO'])['VENDAS'].sum().
    reset_index()

28 # Filtrando dados de ETANOL HIDRATADO e ÓLEO DIESEL
29 etanol = total_vendas_por_produto[total_vendas_por_produto['PRODUTO'] == 'ETANOL
    HIDRATADO']
30 oleo_diesel = total_vendas_por_produto[total_vendas_por_produto['PRODUTO'] == 'ÓLEO
    DIESEL']

32 # Ordenando os dados por data e convertendo para datetime
33 etanol = etanol.sort_values(by='DATE').set_index('DATE')
34 oleo_diesel = oleo_diesel.sort_values(by='DATE').set_index('DATE')
35 etanol.index = pd.to_datetime(etanol.index)
36 oleo_diesel.index = pd.to_datetime(oleo_diesel.index)

38 # Definindo a data de corte para o fim de 2020
39 cutoff_date = pd.to_datetime('2022-12-31')

41 # Dividindo os dados em treino e teste até o fim de 2020
42 def prepare_data_for_model(df, cutoff_date):
43     train_data = df[df.index <= cutoff_date]
44     test_data = df[df.index > cutoff_date]
45     return train_data, test_data

47 # Preparando dados para ETANOL HIDRATADO
48 train_etanol, test_etanol = prepare_data_for_model(etanol, cutoff_date)

50 # Verificando estacionaridade para ETANOL HIDRATADO
51 adf_etanol = adfuller(train_etanol['VENDAS'])

```

```

52 print(f'ADF Statistic (ETANOL HIDRATADO): {adf_etanol[0]}')
53 print(f'p-value: {adf_etanol[1]}')

55 # Treinando o modelo ARIMA para ETANOL HIDRATADO
56 model_etanol = auto_arima(train_etanol['VENDAS'], seasonal=True, m=12, trace=True)

58 # Fazendo õprevises com o modelo ARIMA para ETANOL HIDRATADO
59 forecast_etanol = model_etanol.predict(n_periods=len(test_etanol))

61 # Criando um DataFrame para as õprevises de ETANOL HIDRATADO
62 forecast_df_etanol = test_etanol.copy()
63 forecast_df_etanol['FORECAST'] = forecast_etanol

65 # Preparando dados para ÓLEO DIESEL
66 train_oleo_diesel, test_oleo_diesel = prepare_data_for_model(oleo_diesel, cutoff_date)

68 # Verificando estacionaridade para ÓLEO DIESEL
69 adf_oleo_diesel = adfuller(train_oleo_diesel['VENDAS'])
70 print(f'ADF Statistic Ó(LEO DIESEL): {adf_oleo_diesel[0]}')
71 print(f'p-value: {adf_oleo_diesel[1]}')

73 # Treinando o modelo ARIMA para ÓLEO DIESEL
74 model_oleo_diesel = auto_arima(train_oleo_diesel['VENDAS'], seasonal=True, m=12, trace=
    True)

76 # Fazendo õprevises com o modelo ARIMA para ÓLEO DIESEL
77 forecast_oleo_diesel = model_oleo_diesel.predict(n_periods=len(test_oleo_diesel))

79 # Criando um DataFrame para as õprevises de ÓLEO DIESEL
80 forecast_df_oleo = test_oleo_diesel.copy()
81 forecast_df_oleo['FORECAST'] = forecast_oleo_diesel

83 # áClculo de émtricas de çãavaliao
84 def evaluate_forecast(actual, forecast):
85     rmse = mean_squared_error(actual, forecast, squared=False)
86     mae = mean_absolute_error(actual, forecast)
87     mape = mean_absolute_percentage_error(actual, forecast)
88     return rmse, mae, mape

90 rmse_etanol, mae_etanol, mape_etanol = evaluate_forecast(test_etanol['VENDAS'],
    forecast_etanol)
91 rmse_oleo, mae_oleo, mape_oleo = evaluate_forecast(test_oleo_diesel['VENDAS'],
    forecast_oleo_diesel)

93 print(f'ETANOL HIDRATADO - RMSE: {rmse_etanol}, MAE: {mae_etanol}, MAPE: {mape_etanol}')
94 print(f'ÓLEO DIESEL - RMSE: {rmse_oleo}, MAE: {mae_oleo}, MAPE: {mape_oleo}')

96 # Plotando os resultados
97 plt.figure(figsize=(14, 12))

99 # Plotagem para ETANOL HIDRATADO
100 plt.subplot(2, 1, 1)
101 plt.plot(train_etanol.index, train_etanol['VENDAS'], label='Dados de Treino ETANOL
    HIDRATADO', color='blue')
102 plt.plot(test_etanol.index, test_etanol['VENDAS'], label='Dados de Teste ETANOL HIDRATADO
    ', color='green')
103 plt.plot(forecast_df_etanol.index, forecast_df_etanol['FORECAST'], label='ãPreviso ETANOL
    HIDRATADO (Test)', color='orange')
104 plt.title('ãPreviso de Vendas de ETANOL HIDRATADO')

```

```

105 plt.xlabel('Data')
106 plt.ylabel('Vendas')
107 plt.legend()
108 plt.grid(True)

110 # Plotagem para ÓLEO DIESEL
111 plt.subplot(2, 1, 2)
112 plt.plot(train_oleo_diesel.index, train_oleo_diesel['VENDAS'], label='Dados de Treino
ÓLEO DIESEL', color='blue')
113 plt.plot(test_oleo_diesel.index, test_oleo_diesel['VENDAS'], label='Dados de Teste ÓLEO
DIESEL', color='green')
114 plt.plot(forecast_df_oleo.index, forecast_df_oleo['FORECAST'], label='Previso ÓLEO
DIESEL (Test)', color='red')
115 plt.title('Previso de Vendas de ÓLEO DIESEL')
116 plt.xlabel('Data')
117 plt.ylabel('Vendas')
118 plt.legend()
119 plt.grid(True)

121 plt.tight_layout()
122 plt.show()

124 # Testes de diagnóstico
125 def plot_diagnostics(model, data, title):
126     residuals = data['VENDAS'] - model.predict_in_sample()
127     acf_vals = acf(residuals)
128     pacf_vals = pacf(residuals)
129     plt.figure(figsize=(12, 8))

131     plt.subplot(221)
132     plt.plot(residuals)
133     plt.title(f'Residuals Time Series ({title})')

135     plt.subplot(222)
136     plt.hist(residuals, bins=30)
137     plt.title(f'Residuals Histogram ({title})')

139     plt.subplot(223)
140     plt.stem(acf_vals)
141     plt.title(f'ACF of Residuals ({title})')

143     plt.subplot(224)
144     plt.stem(pacf_vals)
145     plt.title(f'PACF of Residuals ({title})')

147     plt.tight_layout()
148     plt.show()

150 plot_diagnostics(model_etanol, train_etanol, 'ETANOL HIDRATADO')
151 plot_diagnostics(model_oleo_diesel, train_oleo_diesel, 'ÓLEO DIESEL')

153 # Decomposio para ETANOL HIDRATADO
154 result_etanol = seasonal_decompose(etanol['VENDAS'], model='additive', period=12)
155 result_etanol.plot()
156 plt.title('Vendas Etanol Hidratado')
157 plt.show()

159 # Decomposio para ÓLEO DIESEL

```



```

160 result_oleo_diesel = seasonal_decompose(oleo_diesel['VENDAS'], model='additive', period
      =12)
161 result_oleo_diesel.plot()
162 plt.title('Vendas Óleo Diesel')
163 plt.show()

165 # Teste ADF para ETANOL HIDRATADO
166 result_adf_etanol = adfuller(etanol['VENDAS'])
167 print('ADF Statistic for ETANOL HIDRATADO:', result_adf_etanol[0])
168 print('p-value for ETANOL HIDRATADO:', result_adf_etanol[1])

170 # Teste ADF para ÓLEO DIESEL
171 result_adf_oleo_diesel = adfuller(oleo_diesel['VENDAS'])
172 print('ADF Statistic for ÓLEO DIESEL:', result_adf_oleo_diesel[0])
173 print('p-value for ÓLEO DIESEL:', result_adf_oleo_diesel[1])

175 # Plotando a çãautocorrelao para ETANOL HIDRATADO
176 plot_acf(etanol['VENDAS'], lags=50)
177 plt.title('çãAutocorrelao de Vendas de ETANOL HIDRATADO')
178 plt.show()

180 # Plotando a çãautocorrelao para ÓLEO DIESEL
181 plot_acf(oleo_diesel['VENDAS'], lags=50)
182 plt.title('çãAutocorrelao de Vendas de ÓLEO DIESEL')
183 plt.show()

185 # Decompondo a éserie temporal para ETANOL HIDRATADO
186 decomposition = seasonal_decompose(etanol['VENDAS'], model='additive', period=12)

188 # Extraindo os componentes da çãdecomposio
189 trend = decomposition.trend
190 seasonal = decomposition.seasonal
191 residual = decomposition.resid

193 # Calculando a çãcorrelao entre o componente sazonal e a éserie original
194 # Removendo NaNs antes de calcular a çãcorrelao
195 seasonal_nonan = seasonal.dropna()
196 etanol_nonan = etanol['VENDAS'][seasonal_nonan.index]
197 correlation = seasonal_nonan.corr(etanol_nonan)

199 # Imprimindo o valor da çãcorrelao
200 print(f'çãCorrelao entre o componente sazonal e a éserie original: {correlation}')

202 # Teste Ljung-Box para ETANOL HIDRATADO
203 residuals_etanol = model_etanol.resid()
204 ljungbox_etanol = acorr_ljungbox(residuals_etanol, lags=[10], return_df=True)
205 print("Teste Ljung-Box para ETANOL HIDRATADO:")
206 print(ljungbox_etanol)

208 # Teste Ljung-Box para ÓLEO DIESEL
209 residuals_oleo = model_oleo_diesel.resid()
210 ljungbox_oleo = acorr_ljungbox(residuals_oleo, lags=[10], return_df=True)
211 print("Teste Ljung-Box para ÓLEO DIESEL:")
212 print(ljungbox_oleo)

214 def nash_sutcliffe(observed, predicted):
215     """
216     Calculate the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient.

```

```
218     Parameters:
219     observed (array-like): Array of observed values
220     predicted (array-like): Array of predicted values

222     Returns:
223     float: Nash-Sutcliffe efficiency coefficient
224     """
225     observed = np.array(observed)
226     predicted = np.array(predicted)
227     mean_observed = np.mean(observed)
228     numerator = np.sum((observed - predicted) ** 2)
229     denominator = np.sum((observed - mean_observed) ** 2)
230     nse = 1 - numerator / denominator
231     return nse

233 # Valores observados e previstos para ETANOL HIDRATADO
234 observed_etanol = forecast_df_etanol['VENDAS']
235 predicted_etanol = forecast_df_etanol['FORECAST']

237 # Valores observados e previstos para ÓLEO DIESEL
238 observed_oleo = forecast_df_ole['VENDAS']
239 predicted_oleo = forecast_df_ole['FORECAST']

241 # Calculando o NSE para ETANOL HIDRATADO
242 nse_etanol = nash_sutcliffe(observed_etanol, predicted_etanol)
243 print(f'Coeficiente de Nash-Sutcliffe para ETANOL HIDRATADO: {nse_etanol}')

245 # Calculando o NSE para ÓLEO DIESEL
246 nse_oleo = nash_sutcliffe(observed_oleo, predicted_oleo)
247 print(f'Coeficiente de Nash-Sutcliffe para ÓLEO DIESEL: {nse_oleo}')
```

APÊNDICE B – TEXTO PARA REDE SOCIAL

Lucas Leonardo Ciaramella Reis apresenta em seu Trabalho de Conclusão de Curso uma análise aprofundada do mercado de biocombustíveis no Brasil, focando em biodiesel e etanol, com uma abordagem inovadora de ciência de dados, utilizando o modelo *SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average)* para prever o consumo de biocombustíveis e compreender a dinâmica desses mercados, a fim de subsidiar a tomada de decisões estratégicas de produtores, distribuidores e formuladores de políticas públicas, destacando que o biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, enquanto o etanol é produzido a partir da fermentação de açúcares, principalmente de cana-de-açúcar e milho, utilizado como aditivo para gasolina ou como combustível puro, e apresentando insights valiosos sobre tendências de oferta e consumo, identificando fatores que influenciam preços e volumes comercializados, contribuindo para o avanço do conhecimento na área de análise de mercado de biocombustíveis e promovendo a sustentabilidade e a segurança energética no Brasil, sob a orientação do Prof. Dr. Edson Talamini da UFRGS.