

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS JURÍDICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO
MESTRADO ACADÊMICO

ÉRICA FERREIRA GUGLIELMIN

**ANÁLISE JURÍDICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA MATRIZ DOS
COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS: UM ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL
FRENTE A CHEGADA DOS MOTORES ELÉTRICOS SOB A PERSPECTIVA
AMBIENTAL**

CAXIAS DO SUL

2025

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS JURÍDICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO
MESTRADO ACADÊMICO

ÉRICA FERREIRA GUGLIELMIN

**ANÁLISE JURÍDICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA MATRIZ DOS
COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS: UM ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL
FRENTE A CHEGADA DOS MOTORES ELÉTRICOS SOB A PERSPECTIVA
AMBIENTAL**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Direito - Mestrado Acadêmico da Universidade de Caxias do Sul, sob orientação da Professora Doutora Maria Carolina Rosa Gullo, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Direito.

CAXIAS DO SUL

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

G942a Guglielmin, Érica Ferreira

Análise jurídica, econômica e ambiental da matriz dos combustíveis automotivos [recurso eletrônico] : um estudo da utilização do etanol frente a chegada dos motores elétricos sob a perspectiva ambiental / Érica Ferreira Guglielmin. – 2025.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Direito, 2025.

Orientação: Maria Carolina Rosa Gullo.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Direito tributário ambiental. 2. Biocombustíveis - Legislação. 3. Energia - Fontes alternativas. 4. Proteção ambiental - Legislação. 5. Transição energética. 6. Transporte rodoviário. I. Gullo, Maria Carolina Rosa, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 349.6:336.2

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

ÉRICA FERREIRA GUGLIELMIN

**ANÁLISE JURÍDICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA MATRIZ DOS
COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS: UM ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL
FRENTE A CHEGADA DOS MOTORES ELÉTRICOS SOB A PERSPECTIVA
AMBIENTAL**

A Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Direito junto ao Programa de Pós-Graduação em Direito, da Universidade de Caxias do Sul – UCS. Orientadora: Professora Doutora Maria Carolina Rosa Gullo.

Aprovada em 05/03/2025, Caxias do Sul/RS.

Apresentada à Banca Examinadora, integrada pelos seguintes professores:

Professora Dra. Maria Carolina Rosa Gullo (Orientadora)
Universidade de Caxias do Sul

Professor Dr. Adir Ubaldo Rech
Universidade de Caxias do Sul

Professora Dra. Cleide Calgaro
Universidade de Caxias do Sul

Professora Dra. Silvana Terezinha Winckler
Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Convidada)

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu marido, pelo amor, carinho e companheirismo incondicionais, que não mediu esforços durante o período do Mestrado.

A minha orientadora, professora Dra. Maria Carolina Rosa Gullo, expresso minha eterna gratidão, pelos ensinamentos, motivação e paciência. Sem o seu apoio e vasto conhecimento nada seria possível.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Direito da Universidade de Caxias do Sul pela oportunidade concedida. Um agradecimento especial a Francielly Pattis e a Caroline Suzin, que sempre estiveram prontas para ajudar no que fosse necessário e tornaram a caminhada acadêmica mais leve e tranquila.

Agradeço aos professores do Programa, por todo o conhecimento compartilhado, aos colegas que fizeram parte dessa trajetória, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO

O objetivo do presente estudo consiste em analisar a matriz dos combustíveis automotivos, a utilização do etanol frente a chegada dos motores elétricos, sob a perspectiva ambiental, a dissertação está inserida na linha de pesquisa do Direito Ambiental, Políticas Públicas e Desenvolvimento Socioeconômico, do Programa de Pós-graduação de Direito da Universidade de Caxias do Sul. Para tanto, o trabalho é dividido em três capítulos, inicialmente se verifica a evolução da matriz energética, com foco na matriz brasileira, como o país se utilizou dos recursos energéticos, bem como, da relevância do setor dos transportes neste contexto. Em seguida, verifica-se o Proálcool e as nuances do etanol como alternativa de combustível automotivo. Então, se avalia a legislação dos biocombustíveis e a chegada dos motores elétricos, neste cenário, assim como, por fim, se realiza um comparativo do etanol versus os veículos elétricos. A metodologia empregada será uma revisão bibliográfica com abordagens dialética e analítica, buscando compreender tanto os aspectos dinâmicos quanto os elementos estáticos relacionados ao tema. A conclusão do estudo ressalta que, diante da necessidade de substituição da gasolina, um combustível fóssil não renovável e altamente poluente, o etanol se apresenta como uma alternativa viável e sustentável. Considerando a predominância da tecnologia dos veículos flex no mercado nacional e a robusta produção de cana-de-açúcar no Brasil, o etanol destaca-se como um combustível renovável e econômico. No entanto, a sua sustentação no mercado brasileiro depende de políticas públicas seguras e eficazes.

Palavras-chave: biocombustíveis; etanol; matriz energética; transição energética; transportes;

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the automotive fuel matrix and the use of ethanol in light of the arrival of electric motors from an environmental perspective. The dissertation is part of the Environmental Law, Public Policies and Socioeconomic Development research line of the Postgraduate Law Program at the University of Caxias do Sul. To this end, the work is divided into three chapters. Initially, the evolution of the energy matrix is examined, focusing on the Brazilian matrix, how the country has used energy resources, as well as the relevance of the transportation sector in this context. Next, the Proálcool program and the nuances of ethanol as an alternative automotive fuel are examined. Then, the legislation on biofuels and the arrival of electric motors in this scenario are assessed, and finally, a comparison of ethanol versus electric vehicles is made. The methodology used will be a bibliographic review with dialectical and analytical approaches, seeking to understand both the dynamic aspects and the static elements related to the theme. The study's conclusion highlights that, given the need to replace gasoline, a non-renewable and highly polluting fossil fuel, ethanol presents itself as a viable and sustainable alternative. Considering the predominance of flex-fuel vehicle technology in the national market and the robust sugarcane production in Brazil, ethanol stands out as a renewable and economical fuel. However, its sustainability in the Brazilian market depends on safe and effective public policies.

Keywords: biofuels; ethanol; energy matrix; energy transition; transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de CO2 na atmosfera.....	20
Figura 2 - A origem das emissões de CO2	21
Figura 3 - Emissões de GEE no Brasil	21
Figura 4 - Emissões de GEE no Brasil por setor em 2023	22
Figura 5 - Consumo energético mundial por tipo de combustível de 2010 a 2050....	23
Figura 6 - A lenha na matriz energética brasileira	35
Figura 7 - Evolução das fontes renováveis na matriz energética brasileira.....	36
Figura 8 - Matriz energética brasileira, Ben 2024, ano base 2023	37
Figura 9 - Matriz energética mundial, 2021	38
Figura 10 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil, no mundo e na OCDE	39
Figura 11 - Percentual de renováveis Oferta Interna de Energia: Brasil e países selecionados	40
Figura 12 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil	41
Figura 13 - Diversificação de renováveis na matriz energética Brasileira	41
Figura 14 - Oferta de energia na matriz energética Brasileira	42
Figura 15 - Oferta de energia na matriz energética Brasileira	43
Figura 16 - Repartição da Oferta de Energia 2023.....	44
Figura 17 - Consumo final energético por setor	49
Figura 18 - Participação percentual dos principais energéticos utilizados no setor de transportes de 1970 até 2019.....	49
Figura 19 - Distribuição modal do consumo final de energia no setor dos transportes	50
Figura 20 - Consumo de energia do país por setor em 2023	51
Figura 21 - Participação das fontes energéticas nos transportes em 2023	52
Figura 22 - Ford modelo T, primeiro flex	55
Figura 23 - Fases do Próalcool	70
Figura 24 - Matriz energética brasileira no ano de 2007	71
Figura 25 - Primeiro modelo flex-fluel lançado no mercado brasileiro, o Gol da Volkswagen	77

Figura 26 - Evolução dos veículos leves no Brasil quanto ao tipo de combustível utilizado	79
Figura 27 - Colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sem queima	84
Figura 28 – Projeto Unimac desenvolvido como sistema “semimecanizado” de colheita de cana-de-açúcar	85
Figura 29 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil	90
Figura 30 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil – Quadro resumo	91
Figura 31 - Curva de aprendizado do etanol de cana-de-açúcar no Brasil	93
Figura 32 - Ciclo de vida do uso do etanol	98
Figura 33 - Ciclo de vida do biocombustível.....	120
Figura 34 - Fronteiras de análise de ciclo de vida	125
Figura 35 - Emissões CO2 evitadas com bioenergia em 2023	126
Figura 36 - Emissões CO2 totais em 2023 por setor.....	127
Figura 37 - Emissões CO2 evitadas com bioenergia nos últimos 5 anos.....	127
Figura 38 - Classificação geral dos veículos eletrificados quanto à fonte de energia de propulsão.....	131
Figura 39 - Categorias de eletrificados.....	132
Figura 40 - Comparação da eficiência dos veículos elétricos em relação aos veículos de motores de combustão interna	133
Figura 41 - Valor de financiamento público para o setor do etanol e do açúcar	139
Figura 42 - Licenciamento de veículos leves.....	140
Figura 43 - Licenciamento de veículos leves de 2023 a 2024.....	142
Figura 44 - Participação de renováveis na matriz de transportes em regiões selecionadas	143
Figura 45 - Análise de uma frota hipotética movida exclusivamente a etanol	144
Figura 46 -Frota de veículos leves de 2022 a 2034	145
Figura 47 - Preços médios anuais de etanol hidratado C e relativo	147
Figura 48 - Relação de preços entre o etanol hidratado e a gasolina C.....	147
Figura 49 - Formação de preço ao consumidor do etanol hidratado no Brasil em 2023	148
Figura 50 - Capacidade brasileira de tancagem de etanol por região em 2023	149

Figura 51 - Sistema integrado de logística para o etanol - Logum	151
Figura 52 - Distribuição percentual da produção de etanol anidro e hidratado, segundo grandes regiões em 2023.....	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e B combustíveis
BEN	Balanço Energético Nacional
BLUM	<i>Brazilian Land Use Model</i>
CF/88	Constituição da República Federativa do Brasil de 1988
CIDE	Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CTN	Código Tributário Nacional
EPE	Empresa Brasileira de Pesquisa Energética
FFV	<i>Flex-fluel Vehicle</i>
FINEP	Fundo Nacional de Estudos e Projetos
GEE	Gases do efeito estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
H ₂ O	Água
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
II	Imposto de Importação
IE	Imposto de Exportação
IOF	Imposto sobre Operações Financeiras
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto sobre Propriedade Territorial Urbana
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor
ITR	Imposto sobre Propriedade Territorial Rural
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PLANALSUCAR	Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar

PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
PRÓ-ÓLEO	Plano de Produção de Óleos Vegetais
RENOABIO	Política Nacional de Biocombustíveis
TCS	Tonelada de Cana por Safra
ÚNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia
USD	Usina Sustentável Dedini
USGA	Usina Serra Grande Alagoas
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico a Bateria
VHE	Veículo Elétrico Híbrido
VEH	Veículo Elétrico Híbrido Plug-In
VER	Veículo Eletricamente Recarregável

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	17
2.1. A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NA ESFERA AMBIENTAL	17
2.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: ORIGEM E EVOLUÇÃO.....	28
2.3. RELEVÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NA MATRIZ ENERGÉTICA.....	44
3. DA UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTOS NORMATIVOS E ECONÔMICOS PELO GOVERNO BRASILEIRO NO SETOR DOS COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS	53
3.1. DO PROGRAMA PRÓ-ÁLCOOL AO ETANOL: ASPECTOS JURÍDICOS E ECONÔMICOS;	53
3.2. O ETANOL COMO <u>ALTERNATIVA</u> DE COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO;....	73
3.3. A TRIBUTAÇÃO E A EXTRAFISCALIDADE COMO INSTRUMENTOS PARA A SUSTENTABILIDADE.....	100
4. DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL FRENTE A CHEGADA DOS MOTORES ELÉTRICOS CONSIDERANDO A PROTEÇÃO AMBIENTAL	117
4.1. LEGISLAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NO BRASIL;..	117
4.2. DA CHEGADA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	128
4.3. ETANOL X ELETRICIDADE CONSIDERANDO A MITIGAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL	138
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	154
REFERÊNCIAS	157

1. INTRODUÇÃO

No cenário de aquecimento global e mudanças climáticas, a análise da matriz energética é essencial para mitigar os impactos ambientais provenientes da utilização das energias. Nesta senda, o presente estudo tem como objetivo geral, propor uma análise jurídica econômica e ambiental da matriz dos combustíveis automotivos com enfoque na utilização do etanol frente a chegada dos motores elétricos, sob o prisma da proteção ambiental.

A matriz dos combustíveis automotivos implica em impactos ambientais, sendo assim, o governo brasileiro pode condicionar condutas, estimulando e/ou desestimulando o uso de diferentes combustíveis. O setor dos transportes é destaque na emissão de gases do efeito estufa, sendo assim, o combustível utilizado pelo setor vai refletir na esfera ambiental.

Na década de 1970, o Brasil desenvolveu um programa denominado Pró-álcool que tinha como objetivo apresentar e viabilizar um combustível alternativo ao uso da gasolina nos motores a combustão. Deste período até o final do século XX, o etanol assumiu protagonismo na matriz de combustíveis no Brasil (uso em veículos). Cabe ressaltar que o uso do etanol só foi possível com incentivos econômicos distribuídos em toda a cadeia produtiva, entretanto, nos anos 2000 estes incentivos findaram o que levou a inviabilidade econômica do uso do etanol.

Recentemente tem-se disseminado o uso dos motores elétricos mundo afora como substitutos de combustíveis fósseis tendo em vista a necessidade de mitigar os impactos ambientais.

Do ponto de vista ambiental, o uso do etanol é tão eficaz ou mais do que o uso de motores elétricos para mover uma frota de veículos, neste contexto, visando a proteção do meio ambiente, válida a reflexão sobre a utilização do etanol, frente a chegada dos motores elétricos, analisando os impactos jurídicos, econômicos e ambientais, assim como, dos reflexos da legislação e da extrafiscalidade neste contexto.

Para tanto, busca-se enfrentar a problemática de verificar quais fatores levaram o governo brasileiro a priorizar a implementação do uso dos motores elétricos como combustível alternativo nos veículos em detrimento do fortalecimento do uso do etanol.

A pesquisa envolve direito tributário, econômico, constitucional e ambiental, em que se propõe uma reflexão histórica acerca das tratativas nacionais com a matriz energética, a relevância do setor dos transportes e a análise da utilização dos instrumentos normativos e econômicos considerando o cenário dos combustíveis.

No que tange a metodologia, o presente trabalho se forma com uma pesquisa de abordagem qualitativa, considerando método dedutivo, serão utilizadas pesquisas bibliográficas com a finalidade de identificar obras literárias, artigos científicos, legislações e outras publicações pertinentes ao tema, além da pesquisa documental, buscando identificar a perspectiva histórica e conceitual do objeto proposto.

Tendo em vista a proposta de pesquisa apresentada e buscando alcançar o objetivo proposto, o trabalho foi dividido em 3 capítulos, sendo que, com a sequência escolhida, se busca explorar a temática de forma didática e considerando o eixo temporal.

No primeiro capítulo se busca analisar a matriz energética brasileira, para tanto, inicialmente se verifica a relevância da energia, num contexto de sustentabilidade, após é explorada a matriz energética nacional, num apontamento histórico e conceitual da evolução das informações energéticas, com destaque do primeiro balanço energético de 1970 até o momento atual, ao final do capítulo o enfoque é direcionado para o setor dos transportes e de forma mais específica, dos combustíveis automotivos.

O segundo capítulo se dedica a utilização de instrumentos normativos e econômicos pelo governo brasileiro no setor dos combustíveis automotivos, sendo assim, primeiramente se busca estudar os aspectos do Programa Pró-álcool, em que momento o programa ganhou força e quais foram os motivos que levaram o etanol a perder viabilidade como alternativa a gasolina, na sequência se analisa o etanol como alternativa de combustível automotivo e na última sessão do capítulo se verifica a tributação e a extrafiscalidade como ferramentas para conduzir condutas, sob um viés da proteção ambiental.

Ao final, o terceiro capítulo tem enfoque na utilização do etanol frente a chegada dos motores elétricos, para isso, num primeiro momento se busca estudar a legislação dos biocombustíveis automotivos no Brasil, em seguida do impacto da chegada dos motores elétricos, considerando o contexto nacional, em seguida, se

analisa os subsídios e instrumentos que o governo brasileiro com a chegada dessa nova tecnologia e após se propõe uma comparação do etanol frente a eletricidade, neste contexto dos combustíveis.

Desta forma, considerando a estruturação do trabalho apresentada e a relevância da temática dos combustíveis, sob o prisma da proteção ambiental, se busca ao final responder o problema de pesquisa proposto, dos aspectos jurídicos e econômicos da utilização do etanol, frente a chegada dos motores elétricos.

Por fim, esta pesquisa se enquadra na linha de pesquisa "Direito Ambiental, Políticas Públicas e Desenvolvimento Socioeconômico", do Programa de Pós-graduação em Direito da Universidade de Caxias do Sul, bem como às pesquisas da orientadora.

2. EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A energia e a proteção ambiental são temas correlatos, sendo assim, neste capítulo, inicialmente se tem por objetivo a análise da importância da energia, neste contexto, posteriormente, o estudo tem enfoque para a matriz energética brasileira, buscando verificar no cenário nacional, sob a perspectiva histórica e conceitual, como se tem tratado dos recursos energéticos desde 1970, quando elaborado o primeiro balanço energético nacional, até o momento atual, e, na sequência, a pesquisa se direciona ao setor dos transportes, em específico nos combustíveis automotivos.

2.1. A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NA ESFERA AMBIENTAL

A globalização, o capitalismo e o consumo em larga escala, trouxeram desafios para a conservação do equilíbrio do meio ambiente e da vida como um todo, visto que, ao utilizar-se dos recursos naturais de forma desmedida, como se infinitos fossem, a sociedade tem causado fortes impactos ambientais. Dentre os temas de maior relevância e de necessária discussão pela coletividade pode-se indicar o aquecimento global e as mudanças climáticas.

Nas palavras de Paulo de Bessa Antunes (2023, p. 399) “as mudanças climáticas globais estão na ordem do dia das discussões internacionais sobre meio ambiente, sendo a principal questão na agenda ambiental global”. Sarlet e Fensterseifer (2023, p. 46) afirmam que “o aquecimento global (*Global Warming*) e as mudanças climáticas (*Climate Change*) dele decorrente representam hoje o maior desafio já enfrentado pela humanidade para perpetuar a sua existência no Planeta Terra”.

Considerando o enfoque da sustentabilidade e da proteção ambiental, então, inicialmente, válido propor uma reflexão acerca dessa problemática mundial, neste contexto, Goldemberg (2023, p. 83) afirma que os problemas ambientais globais:

São os problemas ambientais que transcendem as fronteiras nacionais, como as emissões de dióxido de carbono (CO₂) dos combustíveis fósseis e o desmatamento das florestas nativas e as emissões de metano (CH₄) e de outros gases responsáveis pelo efeito estufa.

Percebe-se que a problemática global, neste sentido, é transfronteiriça, ou seja, os impactos ambientais decorrentes das mudanças do clima, por exemplo são sentidos mundialmente, desconsiderando os limites fronteiriços, sendo um tema de urgente discussão, frente aos reflexos causados. Sabe-se que conforme a estrutura do país, a faixa de renda da população e outros aspectos sociais influenciam na forma como as mudanças climáticas serão suportadas pela coletividade, entretanto, o impacto chega de formas diversas, mas alcança a todos. Ainda, se tratando da questão do aquecimento global e das mudanças do clima, Sarlet e Fensterseifer (2023, p. 46) indicam que:

[...] o tema alcançou proporções emergenciais na atualidade, sendo hoje o tema ecológico com maior ressonância na agenda política, tanto no plano nacional, quanto internacional, diante dos cada vez mais altos índices de poluição atmosférica que se verificam em praticamente todos os cantos do mundo, notadamente nos grandes centros e concentrações urbanas.

A sociedade está invadindo a natureza e modificando ecossistemas numa velocidade que pode estar caminhando para a inviabilidade da vida humana no planeta a longo prazo, assim sendo, válido refletir o que pode estar causando ou contribuindo para essas mudanças. Válido o destaque que além de tratar das questões atuais do clima, é possível que a sociedade esteja caminhando para uma situação limite que pode ser irreversível, tamanho o impacto das ações humanas na natureza (Sarlet e Fensterseifer, 2023).

O cenário caótico das mudanças climáticas e do aquecimento global é desencadeado especialmente pela emissão de gases geradores do efeito estufa, sendo assim, relevante compreender o que é esse efeito e como ele é causado, nesta toada, Goldemberg (2023, p. 84) explica:

A atmosfera terrestre é quase completamente transparente à radiação solar incidente. Uma pequena fração dessa radiação é refletida para o espaço, mas a maior parte dela atinge a superfície do planeta, principalmente na forma de luz visível, onde é absorvida e reemitida na forma de radiação térmica.

Prossegue, Goldemberg (2023, p. 84):

[...] a atmosfera contém uma pequena quantidade de gases, principalmente dióxido de carbono (CO₂), que não são transparentes à radiação térmica e atuam como um cobertor, o que aquece toda a atmosfera e a superfície da

Terra da mesma forma que uma estufa permanece quente o suficiente no inverno para permitir o cultivo de flores, verduras e legumes fora da estação.

É possível perceber que os gases de efeito estufa lançados na atmosfera causam esse efeito de “cobertor” o que mantém o aquecimento, prejudicando a reemissão do calor para o espaço.

Tucunduva e Natalini (2014, p. 4) afirmam que “os GEE são importantes para o equilíbrio térmico do planeta, possibilitando a existência da vida como é conhecida atualmente”, entretanto, o desequilíbrio no volume dos gases do efeito estufa que causam os problemas indicados. Ainda, Ibrahim (2014, p. 31) acrescenta que “foi a enorme poluição do ar um dos responsáveis pelo crescimento da quantidade de dióxido de carbono (gás carbônico) na atmosfera”. Sarlet e Fensterseifer (2023, p. 47) ao abordar a temática do efeito estufa, complementam que a problemática é:

[...] desencadeada especialmente pela emissão de gases geradores do efeito estufa (*greenhouse effect*), como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano, que são liberados na atmosfera especialmente pela queima de combustíveis fósseis e pela destruição de florestas tropicais.

Assim, sem o objetivo de esgotar a matéria, é possível verificar que o efeito estufa tem causado impactos negativos na via terrestre e que essa modificação é causada em grande parte pela emissão do dióxido de carbono na atmosfera. Goldemberg (2023, p. 84) indica que “desde o início da era industrial no começo do século XVIII, a combustão de quantidades crescentes de combustíveis fósseis resultou no aumento constante da quantidade de CO₂ na atmosfera”.

Neste sentido, válido propor uma reflexão da relação entre uma temática tão relevante da esfera mundial, a saber, o aquecimento global e as mudanças climáticas, com o objetivo do presente estudo, então, inicialmente, destaca-se Cleyton Martins da Silva e Graciela Arbilla (2022, p. 165) que afirmam que “os dois maiores contribuintes para o Efeito Estufa são: o dióxido de carbono (CO₂) e o vapor de água (H₂O)”.

Ainda, Goldemberg (2023, p. 86) ratifica que “os gases do efeito estufa mais relevantes são o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e os halons (clorofluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre)”. Considerando a prejudicialidade do CO₂ na atmosfera e a sua contribuição para questões negativas ambientais, primeiro importante compreender como a sociedade tem evoluído neste sentido e qual seriam os fatores que contribuem para o aumento da emissão desses gases. Sendo assim,

considerando o montante de CO₂ na atmosfera, válido propor uma comparação ao longo da história de como foram estabelecidas as concentrações do gás carbônico:

Figura 1 - Níveis de CO₂ na atmosfera

NÍVEIS DE CO ₂ NA ATMOSFERA	
Nível pré-industrial (< 1750)	280 ppm
Outubro de 2010	386,98 ppm
Outubro de 2020	411,51 ppm
Outubro de 2021	413,93 ppm
Janeiro de 2023	419,47 ppm
Nível seguro	350 ppm

Obs.: Leitura atmosférica de CO₂ do Laboratório de Mauna Loa, Hawaii (ppm – parte por milhão). Fonte: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)-ESRL (Earth System Research Laboratories).¹³³

Fonte: Sarlet e Fensterseifer (2023, p. 48)

É possível perceber da figura 1 que se tem tendência de aumento nos níveis de CO₂ na atmosfera ao longo do tempo e se tem aumentado ainda mais a distância do nível seguro, indicado como 350 partes por milhão. Considerando a relevância da emissão do CO₂, Goldemberg (2023, p. 86) ainda faz um destaque que o gás carbônico é o principal contribuidor para o efeito estufa quando indica:

Analisando a contribuição dos diversos gases do efeito estufa para o aquecimento global em 2005 temos que: o CO₂ contribuiu com 76% (60% do uso de combustíveis fósseis e 16% do desmatamento), o CH₄ contribuiu com cerca de 16%, o N₂O com cerca de 6% e os gases fluorados contribuíram com 2%.

Compreende-se então da prejudicialidade da presença de elevados níveis de CO₂ na atmosfera, das problemáticas causadas pela presença do gás carbônico, mas então pode-se refletir quais fatores ou setores são os principais emissores do gás, então se prossegue o estudo, com a análise da origem da emissão, na figura a seguir exposta:

Figura 2 - A origem das emissões de CO₂

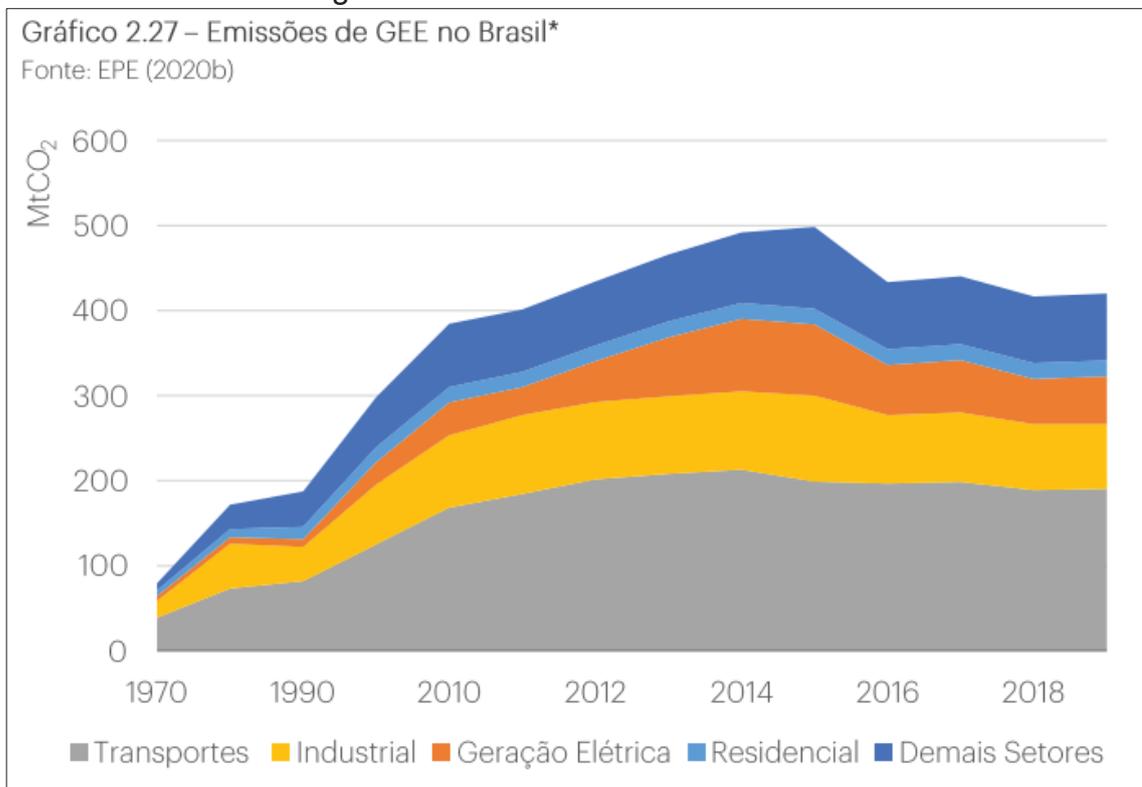
Emissões de CO ₂ em 2007 (%)	
Eletricidade e aquecimento	41
Transporte	23
Indústria	20
Residencial	6
Outros*	10
Total	100

*Outros incluem comercial, serviços públicos, agricultura/silvicultura/pesca

Fonte: Goldemberg (2023, p. 86)

Válido destacar na análise da figura 2, a relevância do setor dos transportes num contexto das emissões de CO₂ mundial, se colocando em segundo lugar, motivo pelo qual na sessão dos transportes do capítulo será dedicado a analisar em específico o enfoque dos transportes nesta temática. Então, pode-se citar o cenário brasileiro, na figura 3, a seguir, é possível perceber as emissões de gases do efeito estufa por setor, considerando do ano de 1970 até 2018:

Figura 3 - Emissões de GEE no Brasil

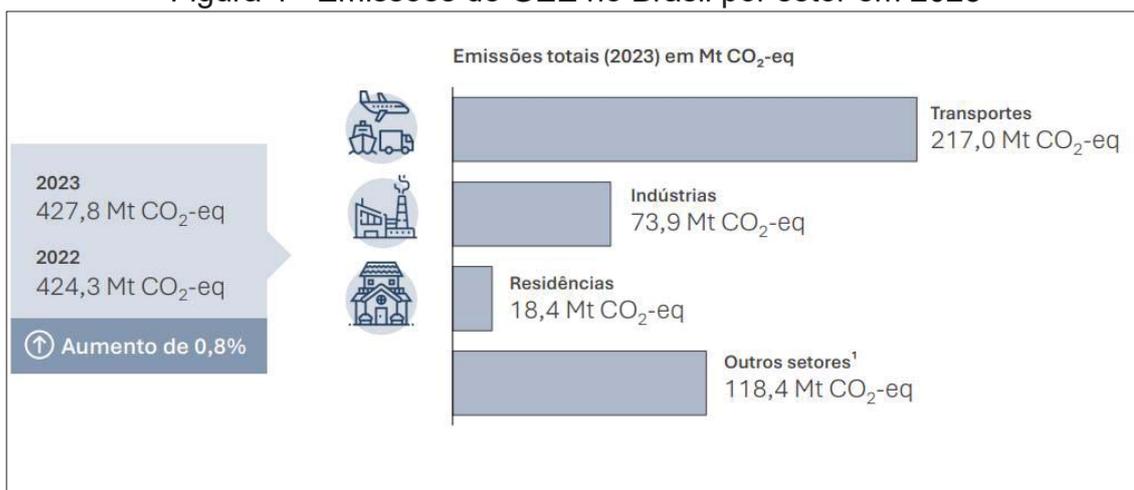


Fonte: BEN 2020, p. 18.

As emissões de gases do efeito estufa entre 1970 e 2010 quase quintuplicaram no cenário brasileiro, crescendo a taxa de 4,0% a.a, frente a diversas alterações como crescimento da economia e da população, movimentos migratórios, processos de industrialização e substituição de algumas fontes energéticas no período. Ainda, válido destacar a participação dos transportes nas emissões de gases do efeito estufa (BEN, 2020).

Ademais, o último Balanço Energético Nacional (2024, p. 9), publicado em 2024, com dados do ano anterior, destaca que “em 2023, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 428 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (217 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes”.

Figura 4 - Emissões de GEE no Brasil por setor em 2023



Fonte: BEN 2024, p. 54.

Percebe-se que além do aumento de 0,8% das emissões em relação ao ano anterior, o setor de transportes brasileiro em 2023, segue em destaque, ultrapassando as indústrias e residências, tamanha a problemática. Verifica-se que ao refletir questões relacionadas a proteção do meio ambiente e dos principais problemas ambientais atuais, em nível global, neste contexto, é essencial se voltar a origem, visto que, avaliar questões sobre a matriz energética, verificar como tratamos dos recursos energéticos no país, assim como, do futuro do setor dos transportes, são itens essenciais para definir as formas de amenizar o reflexo na natureza.

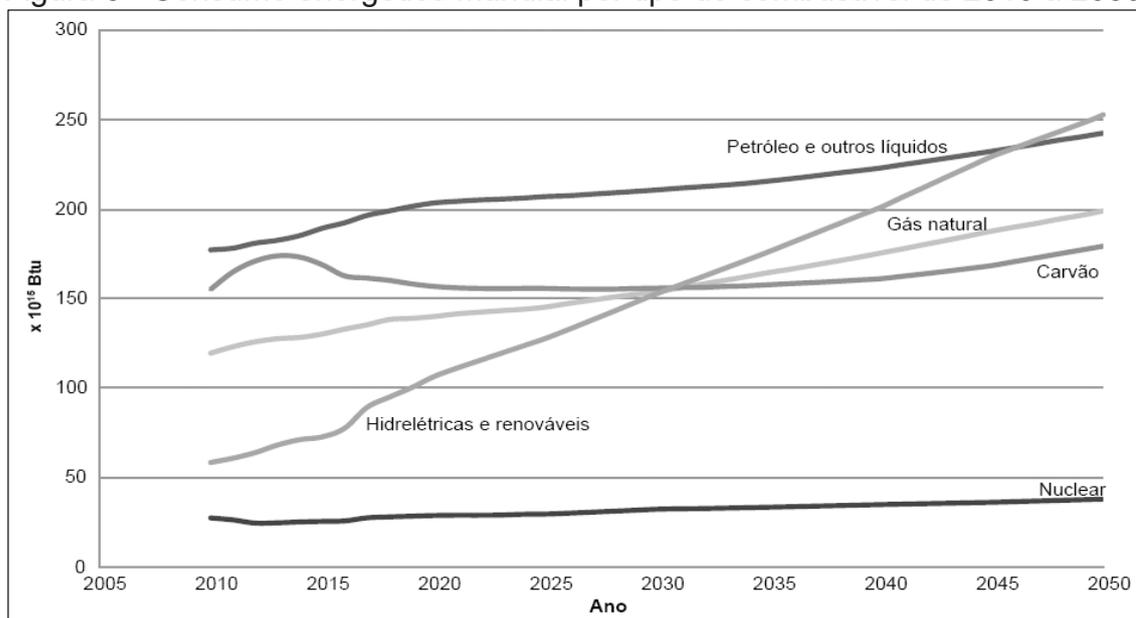
Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 4) lecionam que “o crescimento da utilização de combustíveis fósseis observado desde o início da era industrial causou o aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico em torno de 30%, assim como a elevação da temperatura global”. Então, pode-se destacar a participação dos combustíveis fósseis na questão ambiental estudada. Smil (2024, p. 380) afirma que:

A provisão e o uso de combustíveis fósseis e eletricidade são as maiores causas de poluição antropogênica da atmosfera e de emissões de gases do efeito estufa e estão entre os principais contribuidores para a poluição das águas e mudanças no uso da terra.

Neste cenário, pode-se perceber que as mudanças climáticas estão diretamente relacionadas com a utilização dos combustíveis fósseis, são eles carvão, gás natural e petróleo, que são combustíveis não renováveis (Antunes, 2023).

Ainda, válido a indicação de Moreira (2021, p. 8) que analisa o consumo energético mundial por tipo de combustível de 2010 a 2050 utilizando a fonte IEA:

Figura 5 - Consumo energético mundial por tipo de combustível de 2010 a 2050.



Fonte: IEA (2017)apud Moreira, 2021)

Então, Moreira (2021, p. 8) afirma que “percebe-se que os combustíveis fósseis continuarão a fornecer a maior parte da energia utilizada no mundo”. Neste contexto, verifica-se que a utilização dos combustíveis fósseis é um fator com forte participação na emissão de gases do efeito estufa, mas para analisar como a

sociedade tem aplicado esse combustível, se faz necessário tecer considerações acerca da energia, como a coletividade tem tratado da temática energética.

Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 2) afirmam que “inquietações relacionadas com o aquecimento global, a chuva ácida e os resíduos radioativos ainda hoje nos perseguem, e cada um desses temas está relacionado à forma como usamos a energia”. Nesta toada, Paulo de Bessa Antunes (2023, p. 987) afirma que “energia e meio ambiente são temas siameses e, seguramente, sem uma política energética amigável para o meio ambiente, não há que se falar em proteção ambiental efetiva”.

Percebe-se que discussões importantes gravitam em torno da utilização da energia e nas palavras de JR e Reis (2016, p. 6) “forte dependência da matriz energética mundial em relação aos combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados e carvão mineral, cujo uso para produção de energia impacta significativamente as mudanças climáticas”. Ainda, Goldemberg (2012, p. 9) indica que:

A exaustão das reservas de combustíveis fósseis e os problemas ambientais causados pelos poluentes emitidos por eles evidenciam que esses recursos energéticos não poderão continuar a ser fontes principais de energia utilizadas pelo homem.

Prossegue Goldemberg (2012, p. 9) que “daí a importância fundamental de se discutir e desenvolver o uso de energias renováveis, essencialmente por não serem poluentes e não dependerem de fatores geopolíticos”. Importante o destaque que os combustíveis fósseis além de poluentes e causadores de impactos ambientais devastadores, são fontes de energia não renováveis, ou seja, estamos tratando de recursos finitos. Neste sentido, Paulo de Bessa Antunes (2023, p. 987) ensina que:

A produção e o consumo de energia são das questões ambientais mais relevantes e, qualquer que seja a configuração da matriz energética de um país, as suas repercussões sobre o meio ambiente serão sempre importantes e significativas.

Ainda, JR e Reis (2016, p. 5) lecionam que:

Nos últimos anos, a temática ambiental tem se juntado à social no centro das discussões relacionadas à sustentabilidade, e a energia tem participação significativa nesse contexto como potencial causadora de grandes e importantes impactos ambientais, tais como a poluição do ar urbano; a chuva

ácida; o efeito estufa e as mudanças climáticas; o desmatamento e a desertificação; a degradação marinha e costeira, assim como a de lagos e rios; o alagamento ou perda de áreas de terra agricultáveis ou de valor histórico, cultural e biológico; e a contaminação radioativa.

Assim, pode-se propor outra reflexão, em virtude da preocupação com o fenômeno do aquecimento global e das mudanças climáticas, reduzir a quantidade de combustíveis fósseis, investindo em uma fonte de energia alternativa, mais limpa e renovável, poderia contribuir na mitigação da problemática?

Então, com objetivo de aprofundar a análise da temática sob a perspectiva da matriz energética e da proteção ambiental, com recorte no setor dos transportes e combustíveis automotivos, inicia-se a reflexão da temática da energia neste contexto.

A energia é essencial para a vida e carrega consigo um viés econômico para além da sua essencialidade, nesse sentido, Smil (2024, p. 1) destaca que “[...] a energia é a única moeda de troca universal: alguma de suas muitas formas precisa ser transformada para que qualquer ação aconteça”. Nessa toada, percebe-se que a relação entre energia e civilização ao longo da história mundial é profunda e complexa. Desde os primórdios da humanidade, o desenvolvimento das civilizações tem sido intimamente ligado à disponibilidade e ao uso de diferentes formas de energia. Smil (2024, p. 2) afirma que “não é preciso ser um cientista para estabelecer um elo entre suprimento de energia e avanços sociais”.

Importante destacar que a energia além de fazer parte da história é a causa de diversos conflitos entre nações e a segurança energética é essencial para um país, ao tratar de questões energéticas, estamos diante de problemas complexos que envolvem economia, trabalho, desenvolvimento, dentre outros, os reflexos são disparados aos mais diversos setores da vida em sociedade, ou seja, as mudanças são de aplicação a longo prazo e muito sensíveis. Ainda, a energia se relaciona a qualidade de vida das pessoas, por vezes se está diante de um dilema complexo entre o consumo, o bem-estar para uma parte da população e preservação ambiental, por exemplo. Smil (2024, p. 1) leciona que:

De uma perspectiva biofísica, tanto a evolução humana pré-histórica quanto o curso da história podem ser vistos como a busca por controlar maiores quantidades e fluxos de formas de energia mais concentradas e versáteis, e por convertê-las a custos mais acessíveis e com maior eficiência em calor, luz e movimento.

É possível perceber o valor da disponibilidade de energia e o “poder” que a segurança energética pode proporcionar ao país detentor dessa moeda, então, propor transição energética ou diversificação da matriz energética por fontes renováveis, por exemplo, são propostas sensíveis e complexas.

Neste sentido, válido compreender alguns pontos importantes da temática energia, sendo assim, na busca por um conceito de energia, Moreira (2021, p. 1) afirma que “o conceito científico de energia é de difícil entendimento, por se tratar de uma grandeza física proveniente do inter-relacionamento entre dois sistemas físicos”. Goldemberg (2023, p. 2), por sua vez, afirma que “a energia pode ser definida como a capacidade de produzir trabalho”.

Prossegue Moreira (2021, p. 1) que “a origem da palavra energia provém do grego, e seu significado está associado com a capacidade de realização do trabalho”. Smil (2024, p.1) ao abordar a dificuldade em dar uma resposta satisfatória do que é energia afirma que é tarefa difícil até mesmo para ganhadores de Prêmio Nobel e indica:

O que sabemos é que toda a matéria é energia em repouso, que a energia se manifesta das mais diversas formas e que essas formas distintas de energia estão ligadas por inúmeras conversões, muitas delas universais, onipresentes e incessantes, outras altamente localizadas, infrequentes e efêmeras

Ainda, a energia se apresenta de diversas formas na natureza e pode ser transformada, pode-se citar as principais formas de energia como a energia solar, energia eólica, energia atômica ou nuclear, energia química, energia elétrica, energia térmica, energia mecânica e energia eletromagnética (Moreira, 2021).

Dentre as formas de energia, tem-se as renováveis e não renováveis, os impactos de cada das formas são diversos, sendo assim, a análise da utilização dessas formas é fundamental, considerando a necessidade de proteção dos recursos e da natureza, visto que, a matriz energética demonstra como estamos tratando e consumindo energia e corresponde ao impacto ambiental que a sociedade está causando, possibilitando o estudo das alternativas e de uma possível transição e/ou diversificação energética. Goldemberg (2023, p. 29) tece considerações acerca das fontes de energias renováveis, quando:

As fontes de energia renovável são aquelas produzidas por fontes geofísicas ou biológicas naturalmente repostas à taxa de extração. A biomassa, hidreletricidade, energia eólica, energia solar fotovoltaica, energia termossolar de alta temperatura, energia solar de baixa temperatura, energia geotérmica e energia oceânica na forma das ondas e marés são renováveis. A energia nuclear não é estritamente renovável, pois as reservas de urânio (a partir do qual a energia nuclear é produzida) são finitas, mas ainda podem durar por muito tempo, à taxa de consumo atual.

A energia, conforme leciona Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 1) é “um dos principais constituintes da sociedade moderna” necessário indicar que a coletividade se utiliza dos recursos naturais e busca o desenvolvimento, sendo assim, não é possível projetar o futuro sem qualquer impacto ambiental, entretanto, deve-se buscar alternativas energéticas “limpas” e renováveis trabalhando com o mínimo de afronta a natureza.

Prossegue Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 1) que a energia “é necessária para se criar bens com base em recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços com os quais temos nos beneficiado”. Ainda, considerando o desenvolvimento econômico, Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 1) lecionam que “os altos padrões de vida são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia”.

Verifica-se que não é possível pensar na sociedade moderna sem a energia que é essencial para vida, entretanto, a complexidade encontra-se em conciliar o crescimento econômico com menor impacto a natureza, se utilizando da menor quantidade possível de recursos. Neste sentido, JR e Reis (2016, p. 3) afirmam que “[...] as diversas formas e tecnologias de produção e consumo de energia estão intimamente associadas à evolução histórica do desenvolvimento econômico da humanidade e seus consequentes efeitos sociais e ambientais”.

A sociedade moderna enfrenta desafios no que tange a matriz energética, depende-se de extração de quantidades extraordinárias de combustíveis fósseis que não vão se recuperar nem em escalas temporais de magnitudes maiores que a existência da nossa espécie, assim, compreende-se a necessidade de avaliação de alternativas energéticas (Smil, 2024).

Num contexto das energias, os combustíveis fósseis, foram relevantes ao longo da história, pode-se citar Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 1):

A modernização do Ocidente, passando de uma sociedade rural para outra, urbana e rica, foi possível pela utilização de tecnologia moderna firmada em uma ampla série de avanços científicos, os quais foram energizados por combustíveis fósseis”.

Entretanto, atualmente se alcançou a extremos da utilização desmedida dos recursos energéticos, assim como, dos combustíveis fósseis, não será possível zerar a utilização, entretanto, é latente o debate do consumo de forma consciente e das alternativas energéticas. A energia encontra-se em todos os setores da sociedade, pode-se citar a economia, o trabalho, a moradia, o transporte, as relações internacionais, entretanto, além do impacto ambiental, os suprimentos de energia limitam o desenvolvimento econômico (Hinrichs e Kleinbach, 2014).

Ademais, importante o destaque de Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 3) que “entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais da sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão forte e intimamente conectados”. Nesta toada, prosseguem Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 4):

O crescimento econômico sustentável neste século, juntamente com o incremento da qualidade de vida de todos os habitantes do planeta, apenas pode ser possível com o uso bem planejado e eficiente dos limitados recursos energéticos e o desenvolvimento de novas tecnologias de energia.

Assim, após a compreensão dos aspectos da energia num contexto da sustentabilidade, verifica-se a relevância da análise da matriz energética, itens como, controle da poluição, redução da emissão de gases do efeito estufa, utilização de energia de forma consciente, dentre outros aspectos, são essenciais para mitigação dos impactos ambientais.

Desta forma, na próxima sessão o estudo tem foco na matriz energética, mais especificadamente, como o Brasil trata dos recursos energéticos, ao longo da história até o momento atual, para que seja possível traçar a importância dos combustíveis automotivos neste contexto.

2.2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: ORIGEM E EVOLUÇÃO

Compreender a forma como um país utiliza dos recursos energéticos é essencial para a proteção ambiental, frente a relevância dos recursos energéticos

neste contexto, assim como indicado anteriormente, sendo assim, se prossegue o estudo no sentido de analisar os aspectos da matriz energética, com enfoque para a matriz energética brasileira. Então, inicialmente, válida a indicação de um conceito de matriz energética, que nas palavras de Moreira (2021, p. 7):

A matriz energética é o panorama de distribuição real de aproveitamento dos recursos energéticos dentro de um país, de uma região ou do mundo. Sua determinação está diretamente vinculada ao balanço energético, e sua aplicação consiste em estudos setoriais que têm por finalidade apresentar a evolução da demanda e da oferta de energia de um país, região ou de todo o mundo.

Importante distinguir, ainda, matriz energética de matriz elétrica, que pode causar certa confusão por se tratar de conceitos próximos, sendo que, a matriz elétrica é um subconjunto da matriz energética e lida com a produção, consumo e demanda da energia elétrica, em contrapartida a matriz energética, conforme leciona Moreira (2021, p. 7):

[...] é criada tendo como base o período de um ano e a análise de um cenário específico. Projetada para determinado período, propõe cenários de como deve ser o desenvolvimento energético de uma região nesse espaço de tempo. A construção da matriz é feita levando-se em consideração os diversos setores de produção (industrial, residencial, agropecuário) e de serviços do lado da demanda e, do lado da oferta, os centros de transformação das principais fontes de energia.

Ademais, matriz energética engloba um conjunto de recursos naturais, assim como, nas palavras de Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 314):

[...]os setores do petróleo e do gás natural, o setor carbonífero, as fontes de energia nuclear e os recursos energéticos renováveis já tradicionais ou em suas formas com maior possibilidade de aplicação em médio e longo prazo: energias solar, hidráulica, eólica, da biomassa, oceânica, geotérmica e do hidrogênio.

Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 313) ainda, destacam a importância da matriz energética, afirmando que “a Matriz Energética é instrumento fundamental para a execução de um planejamento correto e para o estabelecimento de políticas e estratégias, quando elaborada para cenários futuros, em geral de 20 a 30 anos”. Ao tratar da matriz energética, é relevante destacar a complexidade da temática, visto que, qualquer modificação/transição energética é um processo moroso e difícil. Neste

sentido, Moreira (2021, p. 7) ao abordar a matriz energética mundial explica que a problemática global inclui:

[...] estrutura da demanda; conteúdo energético da produção; reservas naturais; recursos naturais energéticos; tecnologias de exploração; importação e exportação de energéticos; produção de energia primária; produção dos centros de transformação; consumo de energia pelos setores da sociedade; consumo de energia útil por setor e por fonte; destino da energia útil por setor e por serviço; preços e tarifas do setor energético e custos de produção, transporte e armazenamento.

É imprescindível apontar que o mundo está preocupado com a segurança no abastecimento de energia juntamente com a temática ambiental, sendo assim, de certa forma, são pontos que tem feito parte das políticas governamentais, por vezes, com inclinação para fontes de energias renováveis (Moreira, 2023).

Ainda, Moreira (2021, p. 9) destaca que “o estudo da Matriz Energética é um instrumento importante no planejamento do desenvolvimento e, por conseguinte, para as pretensões do desenvolvimento sustentável”. Nesta toada, Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 314) destacam que “[...] a matriz energética de determinado país, em suas perspectivas de evolução ao longo do tempo, é um instrumento fundamental para a execução de um planejamento energético adequado”.

Reis (2011, p. 109) ainda destaca que “[...] a visão mais completa do panorama energético é apresentada pela matriz energética, que é uma representação integrada e quantitativa da energia no mundo, em um país ou região”. Então, neste sentido, voltando a análise para o cenário nacional energético, Reis (2011, p. 109) ensina que “No Brasil, a matriz energética é apresentada na forma do BEN, disponível anualmente no site da EPE (www.epe.gov.br)” tema que será examinado a seguir.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE, assim como citado anteriormente, presta serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. A empresa foi criada por meio de medida provisória convertida em lei pelo Congresso Nacional - Lei 10.847 de 15 de março de 2004. E a efetivação se deu em um decreto de agosto de 2004.

No presente estudo no campo das informações energéticas, se utiliza dados coletados a partir das pesquisas da EPE, disponíveis no site <https://www.epe.gov.br/pt>. Anualmente a EPE, cumprindo a legislação de criação

elabora e publica o BEN - Balanço Energético Nacional, no balanço constam informações relativo à oferta e consumo de energia do Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia. (BEN, 2024)

Aborda-se até o momento a matriz energética e agora se explana do balanço energético, sendo assim, para clarear o estudo, válido destacar a diferença conceitual dos termos citados. Reis (2011, p. 110) leciona que “qual é a diferença entre balanço energético e matriz energética? Basicamente é a mesma coisa: a matriz energética do Brasil é o resultado do BEN”. Prossegue Reis (2011, p. 110) que:

Apenas quando se cita as prospecções futuras da matriz energética (no caso brasileiro, o PNE 2030 aludido anteriormente) para auxiliar no estabelecimento de planejamento e políticas energéticas, surge uma diferença temporal com relação ao BEN. O BEN enfoca o cenário atual e a trajetória do passado até quinze anos, como se apresentará adiante, enquanto as prospecções enfocam alternativas para o futuro. Não há motivos para dúvidas ou confusão, desde que se declare do que se está tratando.

Ainda, Reis (2011, p. 113) afirma que:

Simplificadamente, pode-se dizer que a prospecção futura da matriz energética é um conjunto de balanços energéticos periódicos, construídos para um período futuro, considerando diferentes cenários (por meio da aplicação da técnica de cenários enfocada anteriormente) de evolução dos fatores que podem afetar a matriz.

Buscando a melhor compreensão dos dados disponibilizados pelo BEN, necessária a explicação de alguns conceitos básicos que serão citados no presente estudo e no relatório utilizado. Inicialmente, os relatórios BEN indicam que a renovabilidade é calculada com base na oferta interna de energia, conceito que merece ser explicado.

BEN (2024, p. 6) esclarece que a oferta total de energia é o “total de energia disponibilizada no país”. Necessário também tecer considerações acerca das fontes de energia, Reis (2011, p. 108) leciona que:

[...] as fontes de energia são submetidas a transformações para produzir as formas de energia que usamos em nosso dia a dia. Mas a maioria dessas fontes, os recursos naturais, encontra-se longe dos centros consumidores e requer um conjunto de atividades para que a energia possa chegar da forma

desejada onde será usada. Esse conjunto de atividades forma a cadeia energética, que engloba a produção, o transporte e a transformação.

Válida a compreensão da composição das cadeias energéticas, sendo assim, Reis (2011, p. 108) ensina que “os principais componentes das cadeias energéticas são as diversas fontes primárias, as formas de transporte, os centros de transformação, a energia secundária e o consumo final”. Sendo assim, ainda, importante o entendimento do que são as fontes primárias, em que Reis (2011, p. 109) assegura que “são associadas ao que se chama de energia primária, são os recursos naturais utilizados para a produção de energia, como petróleo, GN, carvão mineral, energia hidráulica, energia solar, energia dos ventos (eólica), lenha etc”. Goldemberg (2023, p. 29) complementa que:

As fontes primárias de energia são: Solar, responsável pela energia hidrelétrica, eólica, fotovoltaica e termosolar, além da produção de biomassa e, em última análise, dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás); Energia geotérmica, originária do núcleo derretido da Terra; Energia das marés (ou maremotriz), originária da atração gravitacional da Lua; e Energia nuclear, originária dos núcleos dos átomos.

No que tange aos centros de distribuição, nas palavras de Reis (2011, p. 109) são “os locais onde a maior parcela da energia primária é transformada. Como, por exemplo, as refinarias de petróleo, as usinas termelétricas, as usinas hidrelétricas etc.”. A energia secundária, por sua vez, conforme leciona Reis (2011, p. 109) “é a energia convertida nos centros de transformação, como gasolina, eletricidade, óleo diesel etc. A eletricidade é uma forma secundária de energia, pois só pode ser obtida após transformação”. Goldemberg (2023, p. 32) complementa que:

As fontes primárias de energia (petróleo, carvão, gás, hidráulica, urânio e renováveis) normalmente precisam sofrer transformações significativas antes que possam ser utilizadas. Por exemplo, há um longo caminho entre a extração de carvão (que é uma fonte primária de energia) e a usina termelétrica, que o converte em eletricidade (uma fonte secundária de energia) e sua distribuição por meio da rede elétrica para uso final, como em lâmpadas domésticas.

Por fim, se tratando dos conceitos citados, tem-se o consumo final, Reis (2011, p. 109) afirma que “corresponde à outra parcela de energia primária ou à secundária que é consumida diretamente nos diversos setores da economia”. Ainda,

considerando os elementos da matriz energética, é possível incluir uma terceira dimensão, o tempo, que permite analisar e conhecer a evolução da matriz energética.

Assim sendo, após a exposição dos conceitos utilizados no balanço energético, é possível compreender as informações disponibilizadas no BEN e avançar no estudo com a análise da matriz energética brasileira. A EPE publicou em 2020, o Balanço Energético 50 anos, uma edição histórica dos 50 anos do BEN, considerando o período de 1970 a 2019, visto que o primeiro relatório foi publicado em 1970 pelo Ministério do Planejamento.

Válido o destaque que o presente estudo toma como base a série histórica publicada pela EPE e considera as informações desde o registro do primeiro balanço energético brasileiro, ou seja, o ano de 1976. O relatório destaca que de 1970 a 2019 alguns movimentos causaram mudanças no setor das energias brasileiro e estiveram fortemente ligados com a matriz energética, fatores econômicos, sociodemográficos e tecnológicos que impulsionaram fortes alterações no cenário nacional.

O relatório no sumário executivo, destaca quatro pontos relevantes nessas alterações do contexto brasileiro das energias, nesse período histórico, como a migração do campo para as áreas urbanas, a expansão das cidades, reflexos de uma nova sociedade e mecanização do campo.

Na migração do campo para a área urbana, pode-se destacar que em 1970 mais da metade dos brasileiros já viviam nas cidades, num processo de urbanização e evasão do campo, esse movimento causa impacto nos empregos, serviços, saúde, transporte, educação e fortemente na disponibilidade de energia (BEN, 2020). Na esfera da expansão das cidades, o impacto no deslocamento urbano da força de trabalho e mercadorias também foi destaque nesse período dos 50 anos considerados (1970 a 2020), visto que a descentralização das indústrias e o modal rodoviário para o transporte de cargas e passageiros, refletiu diretamente nos combustíveis utilizados para veículos pesados (óleo diesel) e veículos leves (etanol e gasolina) (BEN, 2020).

A nova sociedade urbana também refletiu na matriz energética desse período, quando surgem novos hábitos, rotinas, tipos de consumo e renda da população, visto que a mudança do perfil da população tem relação com o consumo energético. Por fim, o relatório indica a mecanização do campo, visto que a área rural também sofreu

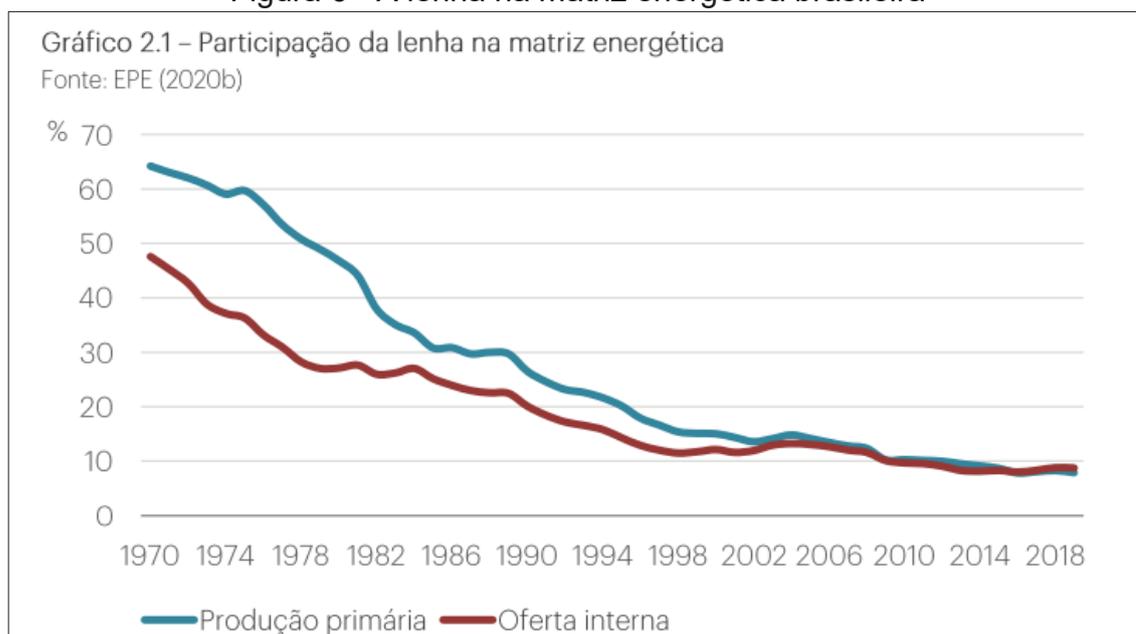
transformações. com a substituição do trabalho animal, dos resíduos e dos rejeitos da produção (BEN, 2020).

Importante ressaltar que a energia, a economia e os aspectos sociodemográficos foram pontos que acompanharam a evolução da matriz energética brasileira, assim como destacado anteriormente, a sociedade e a economia passaram por transformações que refletiram no modo de vida e de consumo e consequentemente no setor das energias (BEN 2020).

Ainda, se tratando de termos demográficos, o ritmo de crescimento populacional, a ocupação da área urbana e a estrutura etária da população aliados a reflexos econômicos globais e nacionais impactaram na estrutura energética. Destacando os aspectos demográficos, de 1970 até 2019, a população brasileira cresceu em média 1,7% a.a, depois as taxas vão reduzindo, o relatório ainda salienta que poderia levar a uma menor pressão no setor das energias, porém outros fatores como, as atividades econômicas, a velocidade de aquisição de equipamentos eletrodomésticos e a taxa de motorização impactaram no consumo energético. A desaceleração, ainda, se deve à redução da taxa de natalidade, já que nos últimos anos tem-se uma queda no número de filhos por família (BEN, 2020).

Assim, compreendendo alguns aspectos sociais e econômicos da população brasileira, nesse período, tem-se condições para aprofundar o estudo, com a análise do cenário nacional da matriz a partir de 1970 até o último balanço energético de 2023, publicado em 2024. Inicialmente na análise da oferta interna de energia brasileira, válido o destaque da lenha que chegou a representar 64,20% de toda a produção primária de energia nacional em 1970 e ao longo dos 50 anos que o Ben analisa sofreu fortes modificações, assim como segue:

Figura 6 - A lenha na matriz energética brasileira



Fonte: BEN 2020, p. 18.

A utilização forte da lenha na matriz energética nacional é decorrente da utilização de práticas rudimentares de atividades econômicas da época, como a produção de alimentos, a agropecuária, olarias, dentre outros, além da utilização no setor residencial para aquecimento e cocção de alimentos. Válido ressaltar que considerando a utilização residencial, a substituição da lenha por combustíveis mais modernos, menos poluentes e eficientes, como o GLP teve forte impacto na matriz (Ben, 2020).

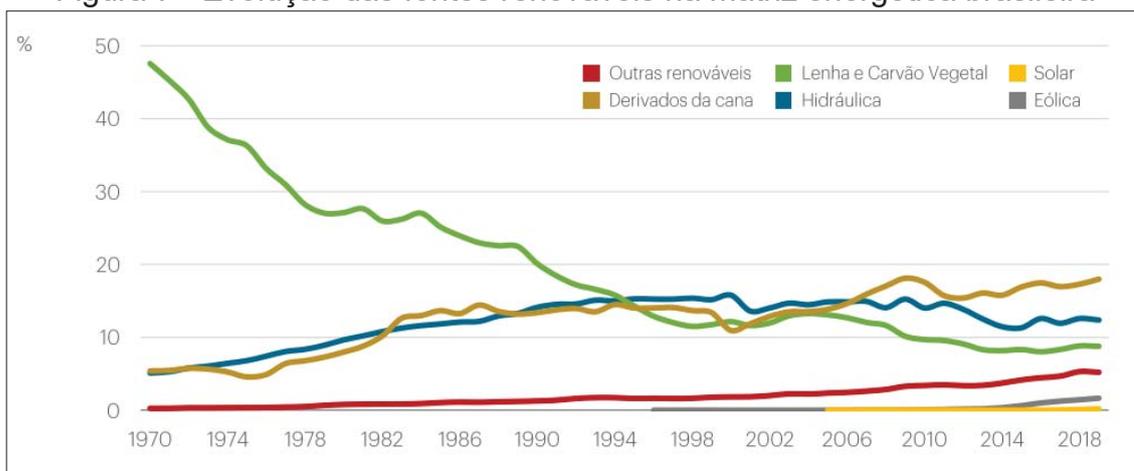
Ainda, na figura 6, pode-se perceber uma forte redução na participação da lenha do ano de 1970 até os anos 2000, exceto o início de 1980, quando da elevação dos preços internos de óleo combustível e do gás natural que favoreceu a utilização da lenha e do carvão vegetal. Assim pode-se considerar que a lenha foi marcante na matriz energética brasileira de 1970 até 1989, declinando em 1990, quando o petróleo se consolida como a fonte de energia primária do Brasil (Ben, 2020)

Neste sentido, o relatório BEN, (2020, p. 21) destaca que:

O desenvolvimento da produção de petróleo no Brasil se deu a partir de investimento vultosos nos setores de prospecção e exploração. Isso possibilitou a aplicação de tecnologias pioneiras no mundo na extração de petróleo em águas profundas com lâminas d'água superiores a 5.000 metros, o que resultou no desenvolvimento de grandes reservatórios da Bacia de Campos e nas áreas do Pré-sal.

Ainda, o Ben (2020, p.21) informa que “nos últimos 50 anos a produção de petróleo passou de 164 mil barris por dia em 1970 para 2,79 milhões de barris por dia em 2019”. Assim se direciona a um panorama amplo das fontes de energia no cenário nacional. Nesta senda, o Ben apresenta um gráfico da evolução da participação das fontes renováveis de 1970 a 2018:

Figura 7 - Evolução das fontes renováveis na matriz energética brasileira



Fonte: BEN 2020, p. 32.

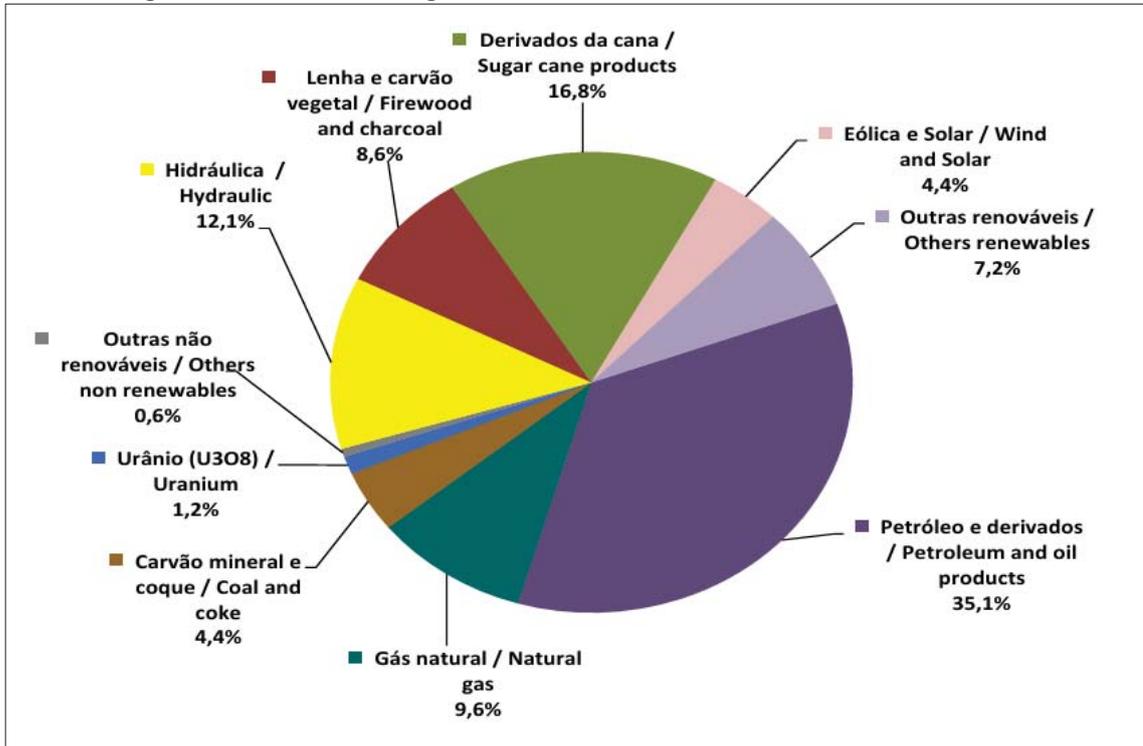
O relatório destaca que em 1970 verifica-se a participação de 58% de lenha e carvão vegetal e que houve redução para 44% em 1979, frente a entrada de novas fontes da indústria e na área residencial a substituição da lenha por combustíveis, mesmo sendo não renováveis. Então, percebe-se que a matriz energética brasileira é altamente renovável, neste contexto, o Ben (2020, p. 31) destaca que:

Além da extensa província petrolífera e da presença de uma das principais reservas de urânio do mundo em território nacional, dominando todo o ciclo de combustível nuclear, o País dispõe de uma matriz energética com ampla diversidade de fontes e se sobressai mundialmente pelo seu elevado grau de renovabilidade, atributo observado em pouco países do mundo.

Após uma abordagem histórica da matriz energética brasileira, então o estudo se volta a matriz energética atual, a partir do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2024 – ano base 2023, disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024> (acesso em setembro de 2024), documento referência para os dados ne energia do país. Válido o destaque, que o presente estudo se dedica a matriz energética brasileira, com foco na proteção

ambiental, se utilizando do recorte dos transportes e dos combustíveis automotivos, frente a relevância do setor e numa possível transição energética. Neste contexto, na figura 8, tem-se a matriz energética brasileira 2023, com base no Ben - 2024:

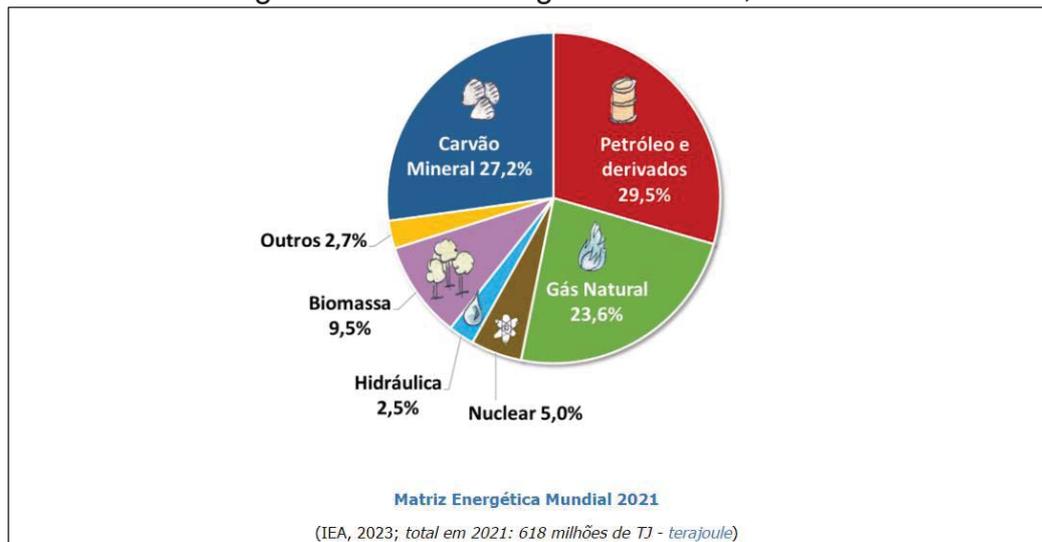
Figura 8 - Matriz energética brasileira, Ben 2024, ano base 2023



Fonte: BEN 2024, p. 21.

De pronto, se apresenta a matriz energética mundial para que sejam possíveis os comparativos do Brasil como um player no cenário global, buscando informações de como tratamos da energia atualmente, com base nesse comparativo, sendo que, na sequência, volta-se ao aspecto energético nacional. Nessa toada, na figura 9, pode-se destacar que a matriz energética global é composta principalmente, por fontes não renováveis, assim como segue:

Figura 9 - Matriz energética mundial, 2021

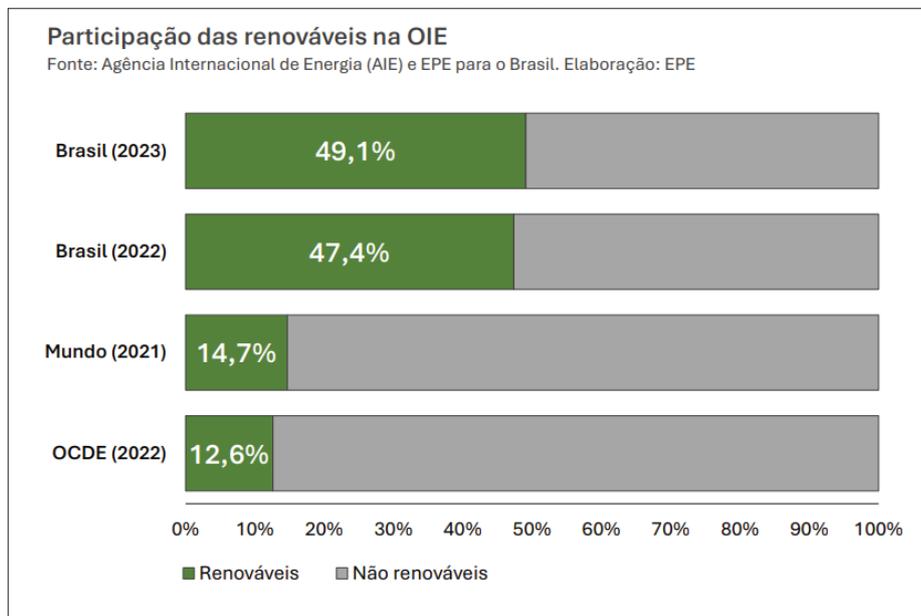


Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> (acesso em 19/06/2024).

A partir da análise da matriz energética mundial, pode-se perceber o significativo percentual de fontes não renováveis, é possível verificar que o petróleo (29,50%), carvão mineral (27,20%) e gás natural (23,60%) são os destaques da matriz, sendo que, estamos diante de fontes não renováveis, conforme citado anteriormente. Ademais, somando os percentuais das principais fontes energéticas mundiais, tem-se em total de 80,30% da matriz energética de fontes não renováveis, ou seja, um dado significativo, quando se destaca a temática ambiental, os impactos negativos da utilização dessas fontes, assim como a insegurança e os problemas geopolíticos gerados são deveras preocupantes.

O presente estudo não tem como objetivo aprofundar a matriz energética mundial, portanto, apenas se demonstra de forma breve os dados energéticos para que seja possível a partir dessa introdução da tratativa global verificar a matriz energética brasileira. A matriz energética brasileira difere da matriz energética global, de forma exemplar, o Brasil se destaca com a utilização de fontes renováveis, um ator importante no cenário global. Então, com o objetivo de confrontar as informações da utilização da energia global e brasileira, a figura 10, a seguir, demonstra, num gráfico comparativo a diferença em percentual da utilização das energias renováveis, no Brasil (2022 x 2023), no mundo e na OCDE:

Figura 10 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil, no mundo e na OCDE



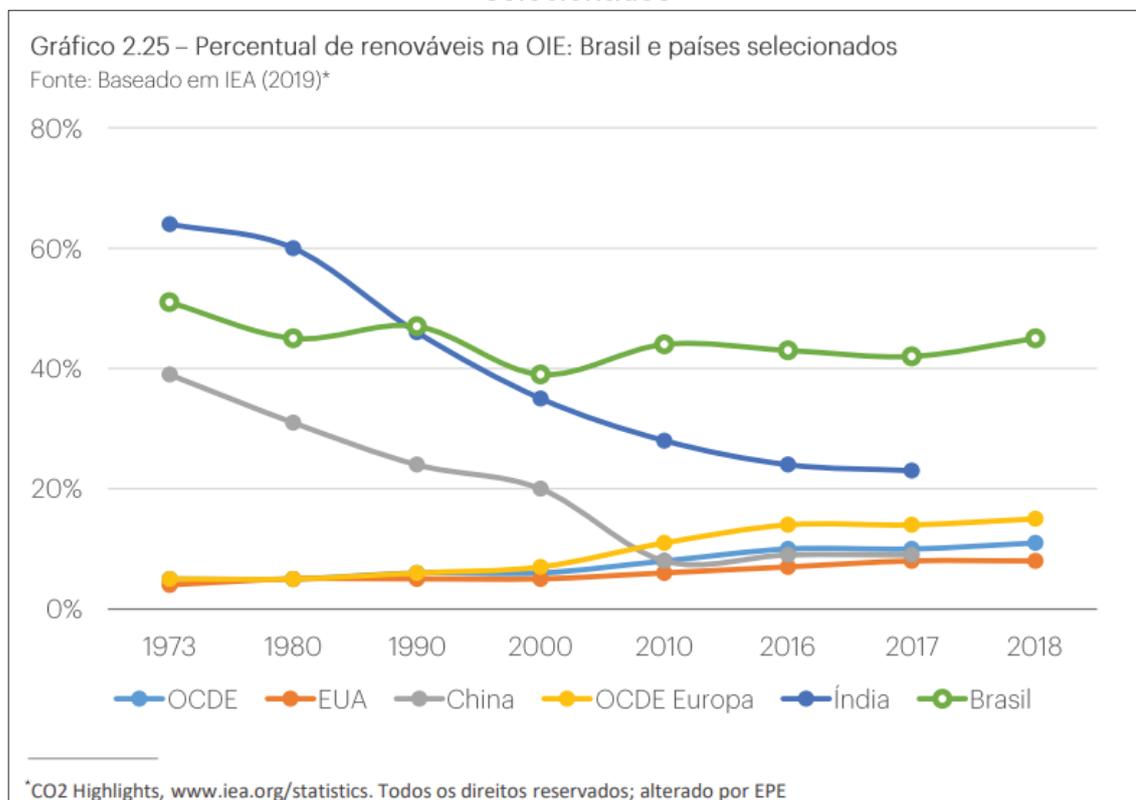
Fonte: BEN 2024, p. 12.

Válido o destaque que o relatório Ben (2024, p. 12) indica que “a participação de fontes renováveis na matriz energética foi marcada pelo aumento da oferta interna de biomassa, eólica e solar. A energia hidráulica manteve-se estável com regime hídrico favorável. Importante ressaltar que a renovabilidade é calculada com base na oferta interna de energia (Ben, 2024).

Ainda, no relatório tem-se a comparação das fontes renováveis do Brasil (2022 e 2023) do mundo e da OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, organização internacional composta por 38 países. Os países membros da OCDE são: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Colômbia, Coreia, Costa Rica, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia, Suíça e Turquia. (Fonte: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/ocde/membros-e-estrutura-organizacional-da-ocde>, acesso em 19/06/2024)

O Ben (2020, p. 38) ainda faz um comparativo dos países da OCDE, Estados Unidos, China OCDE Europa, Índia e o Brasil na renovabilidade:

Figura 11 - Percentual de renováveis Oferta Interna de Energia: Brasil e países selecionados



Fonte: BEN 2020, p. 38.

Valido o destaque que a composição das matrizes energéticas está associada a diversos fatores como os recursos naturais, as tecnologias, o desenvolvimento das economias, os hábitos da população e certamente ao compromisso dos países com as políticas públicas visando a sustentabilidade do planeta (Ben, 2020).

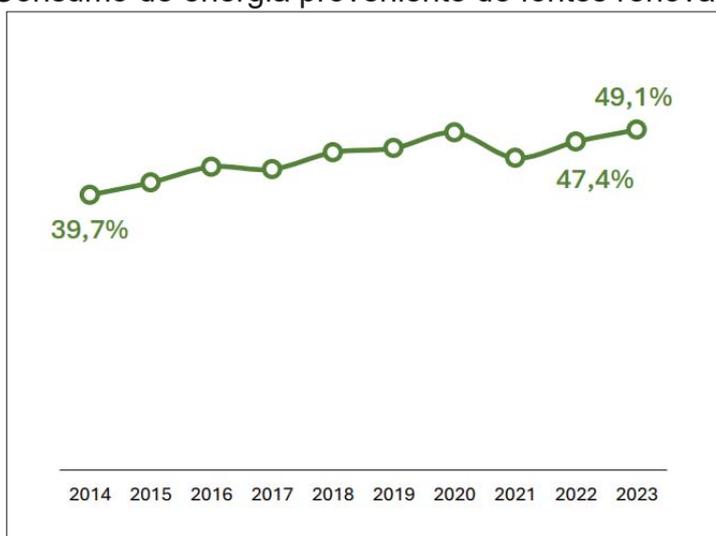
Percebe-se que o Brasil está a frente quando se trata de utilização de renováveis, comparando aos dados globais, o país se destaca com 49,1% de participação de energias renováveis (2023) frente a 14,7% do mundo (2021) e 12,6% da OCDE, assim como demonstrado na figura 10. Verifica-se a relevância do Brasil no cenário global, considerando as energias renováveis e o potencial do país de estar à frente do mundo quando se aborda a temática ambiental aliada as energias. Ademais, Moreira (2021, VII) no Prefácio do livro *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência energética* afirma que:

O Brasil desfruta de uma situação ímpar em relação aos demais países no tocante à disponibilidade de fontes energéticas renováveis e seu potencial uso. A dimensão territorial e a faixa de latitude geográfica favorável fazem desta nação uma das poucas do mundo em que a abundância de recursos

hídricos, incidência de radiação solar, ventos e biomassa podem alavancá-lo em direção a uma matriz elétrica praticamente renovável em sua totalidade.

Ainda, o relatório Ben 2024 faz um comparativo das energias renováveis o Brasil de 2014 até 2023, assim como segue:

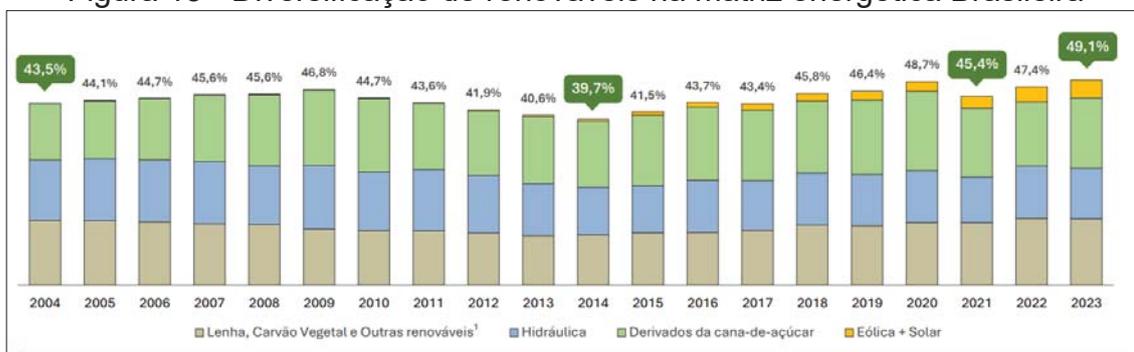
Figura 12 - Consumo de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil



Fonte: BEN 2024, p. 12.

É possível perceber que o Brasil além de ser um destaque na utilização das energias renováveis vem em tendência de aumento dos percentuais, considerando que em 2014 tem-se 39,7% frente a 2023 com 49,1%, demonstrando o potencial do país. No relatório ainda consta a diversidade das energias renováveis no cenário nacional, considerando dados de 2004 até 2023, assim como segue:

Figura 13 - Diversificação de renováveis na matriz energética Brasileira

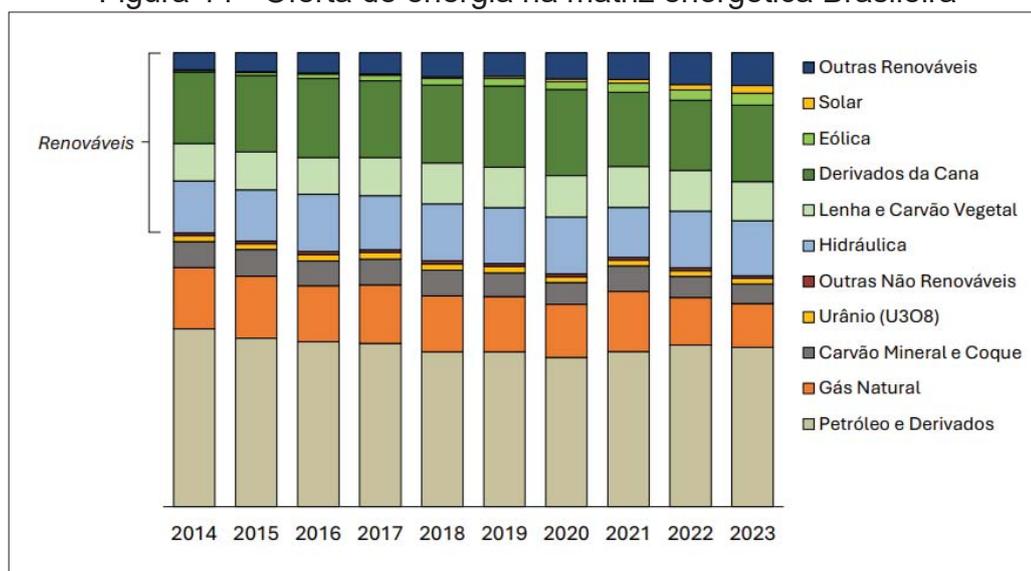


Fonte: BEN 2024, p. 13.

O relatório destaca que em 20 anos o Brasil tem evidenciado que vem praticando ações que visam à transição energética por meio da diversificação das

fontes renováveis. Válido o destaque que ao tratar da matriz energética é relevante não somente as fontes renováveis, mas também a diversificação das fontes, visto que a segurança energética também é um elemento importante e quando se tem opções energéticas diversas renováveis a transição se torna mais certa e confiável. Neste contexto, a oferta de energia, considerando os últimos 20 anos, o relatório demonstra a diversificação das fontes:

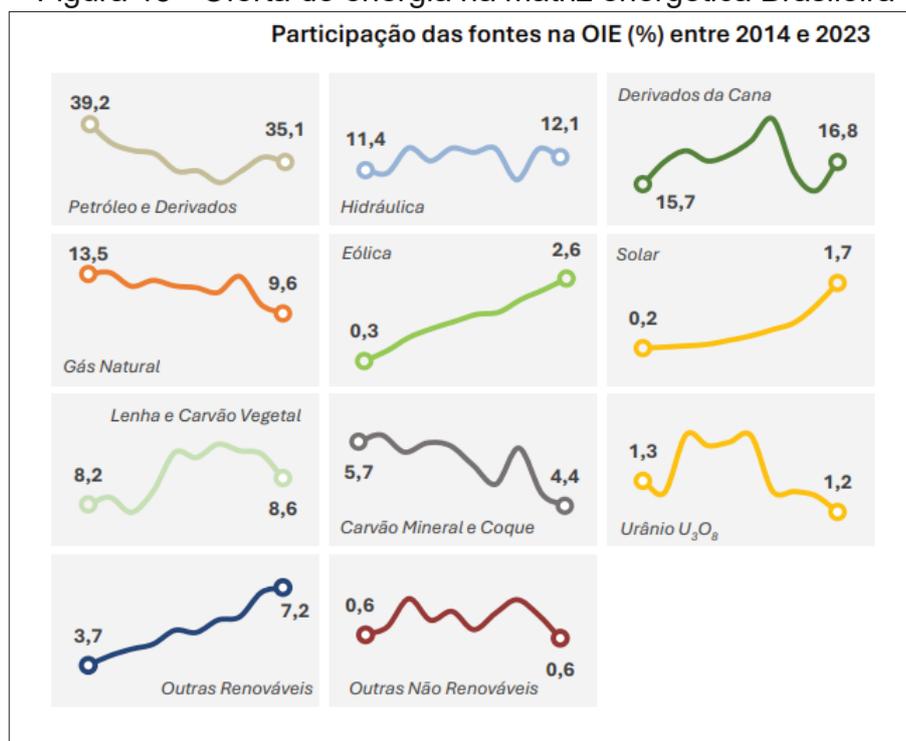
Figura 14 - Oferta de energia na matriz energética Brasileira



Fonte: BEN 2024, p. 20.

Em forma de complemento da figura 14 supracitada, tem-se os percentuais por fonte, veja-se:

Figura 15 - Oferta de energia na matriz energética Brasileira



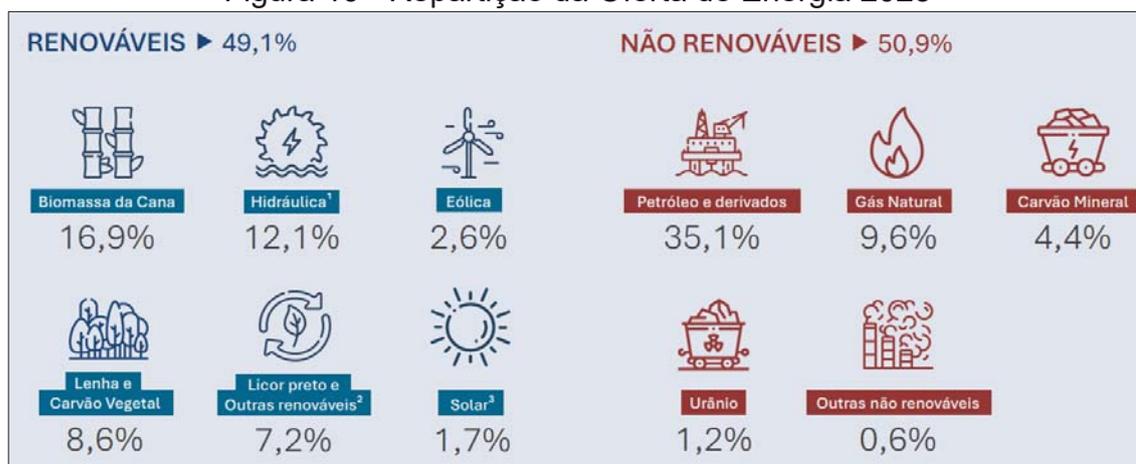
Fonte: BEN 2024, p. 20.

Na análise da figura 15, é possível perceber que nos últimos 20 anos o país tem tendência de aumento das fontes renováveis, pode-se destacar a energia eólica que em 2014 tinha 0,3% e em 2023 tem um salto para 2,6%, assim como a energia solar e a estabilidade da energia hidráulica. No relatório Ben (2024, p. 20) tem-se que:

A menor participação das renováveis na matriz energética em 2014 foi devida à queda da oferta hidráulica naquele ano. A partir de 2015, as fontes renováveis retomam uma trajetória de crescimento atingindo 45% de participação em 2021 e 49,1% em 2023, em função principalmente do aumento da geração de eletricidade a partir da biomassa e das fontes eólica e solar.

Sabe-se então que o Brasil tem um percentual importante de energias renováveis na sua matriz energética, então, pode-se considerar quais são as fontes utilizadas, o relatório faz uma divisão interessante, veja-se:

Figura 16 - Repartição da Oferta de Energia 2023



Fonte: BEN 2024, p. 13.

Pode-se perceber que a principal fonte de energia não renovável da matriz brasileira é decorrente do petróleo e derivados, que corresponde a 35,1% dos não renováveis, assim como exposto. Na próxima sessão, o estudo será dedicado aos combustíveis automotivos e será possível avaliar de que forma os combustíveis impactam na matriz energética brasileira e na utilização do petróleo e derivados.

Entretando, após a compreensão da relevância da análise da utilização da energia quando se aborda questões ambientais e da necessidade de a matriz energética seguir o compromisso da sustentabilidade do planeta, se prossegue com o estudo focando no setor dos transportes, de forma mais específica dos combustíveis automotivos na matriz energética, objeto do presente estudo.

2.3. RELEVÂNCIA DOS COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NA MATRIZ ENERGÉTICA

Considerando a relevância do estudo da energia e da matriz energética brasileira, explanados anteriormente, sob a ótica da proteção ambiental, nesta seção, se realiza um recorte da importância do setor dos transportes neste contexto, com enfoque aos combustíveis automotivos.

Após a análise da origem e evolução da matriz energética brasileira, quando da divisão do balanço por setores, importante estabelecer a participação do setor dos transportes neste histórico e como o Brasil trata atualmente da temática. Assim, com o objetivo de aprofundar o estudo, se inicia com a análise dos transportes para que

seja possível considerar, ao final, a participação dos combustíveis automotivos nessa dinâmica. Neste contexto, válido compreender uma definição para o setor, em que JR e Reis (2016, p. 625) definem:

O setor de transportes pode ser caracterizado como conjunto dos diversos modais de locomoção de mercadorias e de pessoas, compreendendo o meio (elemento transportador), a via (trajetória percorrida), as instalações complementares (terminais) e a forma de controle (logística).

Neste contexto, Hoel, Garber e Sadek (2012, p. 1) afirmam que se tratando do setor dos transportes “ele é definido como o movimento de pessoas e bens para atender às necessidades básicas da sociedade que demandam mobilidade e acessibilidade”. É possível perceber a complexidade do setor, visto que além de envolver transportes de cargas e passageiros, tem-se a cadeia produtiva, a via e as instalações, que também impactam na matriz energética. Nesta toada, prosseguem JR e Reis (2016, p. 625) caracterizando o setor:

Geralmente, entre regiões, estados e países, predomina a movimentação de cargas, sendo que, nas cidades, predomina o deslocamento de pessoas. Os transportes regionais são compostos de ferrovias, rodovias, hidrovias e aerovias, ao passo que o transporte urbano engloba o uso de ônibus, metrô, trens suburbanos e automóveis, helicópteros, caminhões, motos, bicicletas e até animais.

Então, considerando a estrutura do setor, por seus componentes ou subsetores principais, tem-se os modais, em que Barbosa, Santos e Leão (2022, p. 12) ensinam que “o termo modal de transportes está relacionado ao modo como é feita a locomoção de cargas e pessoas, ou seja, aos meios de transporte, que podem ser rodoviários, ferroviários, hidroviários, aeroviários e dutoviários”. Válido o destaque que o presente trabalho foca no modal de transporte rodoviário, em que, encontra-se os automóveis de forma específica. No Brasil, em termos energéticos, pode-se apontar dois pontos principais da categoria, sendo a forte utilização de fontes energéticas derivadas do petróleo e a predominância do transporte rodoviário, conforme será exposto a seguir.

Pode-se perceber o desafio de aplicar métodos mais sustentáveis quando tratamos dos combustíveis automotivos, visto que, é um mercado com destaque para utilização de combustíveis não renováveis e com impacto na matriz energética do

país. Neste sentido, ao tratar do transporte rodoviário, Volpatto, Lucchesi e Girotti (2019, p. 16) destacam que:

É um transporte terrestre, cujos veículos se deslocam sobre estradas pavimentadas ou não pavimentadas. A propulsão predominante desses veículos é o motor à combustão interna, e os combustíveis são, na sua maioria, derivados do petróleo (gasolina, diesel e gás natural veicular).

Sendo assim, considerando a forte participação dos combustíveis fósseis nos transportes, em especial no rodoviário, JR e Reis (2016, p. 624) asseguram três pontos essenciais para alcançar a evolução energética, quando tratamos dos combustíveis automotivos, sendo a “maior utilização de fontes alternativas renováveis de energia, o aumento da eficiência energética no setor de transportes como um todo e a valorização dos subsetores (modais) menos intensivos em energia”. No que tange as fontes alternativas de energia, neste trabalho, o foco será na utilização do etanol frente a chegada dos motores elétricos, considerando o mercado de combustíveis, sob a perspectiva da proteção ambiental.

Ainda, válida a indicação da complexidade para a aplicação efetiva de qualquer medida no setor, sendo que, as alterações na tecnologia não impactam somente nos combustíveis, mas também na cadeia produtiva, JR e Reis (2016, p. 624) ao tratar da temática lecionam que:

O que acontece não só quanto às alternativas energéticas, mas também quanto à adequação da infraestrutura disponível e da logística de transporte, num contexto cuja superação requer um processo de planejamento integrado de longo prazo, que seja consistente e esteja incluído nas prioridades da busca por sustentabilidade. O que pode ser distinguido, no cenário atual do país, deixa muito a desejar, pois acumulam-se planos e projetos desagregados, que vão sendo adiados, sem grandes perspectivas de realização, sendo alguns até mesmo abandonados.

No que se trata de planos e projetos desagregados, que vão sendo adiados, assim como citado, sem grandes perspectivas, nos próximos capítulos do presente estudo se busca estabelecer uma análise da legislação dos combustíveis, do Proálcool e dos instrumentos que o governo brasileiro tem utilizado quando se trata dos combustíveis automotivos, bem como do alinhamento com a sustentabilidade. Importante o destaque que o trabalho não se dedica a aspectos energéticos associados a cadeia do setor, sendo o foco a utilização dos combustíveis, sendo que,

de modo eventual, essas informações podem aparecer em segundo plano com objetivo de contribuir para a compreensão do estudo do problema proposto.

Neste contexto, válido o destaque, ainda, que dentre as dificuldades de mudanças do setor, tem-se a questão da durabilidade de automóveis, quando JR e Reis (2016, p. 624) afirmam que “os equipamentos de tração do setor de transportes apresentam, no geral, longa duração: um automóvel dura em média 15 anos; uma aeronave, entre 25 e 35 anos; e navios, mais ainda”, percebe-se que qualquer alteração proposta enfrentará um prazo para mudanças, visto que, o consumidor não irá prontamente trocar o seu veículo, numa alternativa de combustível sustentável.

Acrescentam JR e Reis (2016, p. 624) que “a incorporação de nova tecnologia de tração na linha de produção de uma fábrica requer adaptações e investimentos que não são viáveis a curto prazo”, então, importante salientar que quando é proposto uma mudança no setor, que envolve a produção de veículos, o impacto econômico é evidente, modificar uma linha de produção é uma tarefa complexa e morosa, sendo assim, qualquer avaliação de alterações no setor, requer estudo e tempo. Nesta toada, verifica-se a relevância do estudo do etanol, temática que será dedicada no próximo capítulo, visto que o Brasil conta com uma frota de veículos *flex-fuel* (combustível flexível) e pode ter de forma mais rápida e econômica uma alternativa de combustível renovável.

Além disso, sem a intenção de antecipar a temática do capítulo 4, apenas a título de exemplo, pode-se citar que a chegada dos motores elétricos, requer uma estrutura diferenciada de abastecimento, sendo que, atualmente a nível nacional, os postos estão aptos para os combustíveis tradicionais, como a gasolina, o etanol, o diesel e o gás natural veicular, então, preparar todo esse mercado para a eletrificação é uma tarefa complexa, até mesmo em termos da necessidade de investimentos para tanto.

O setor de transportes, considerando forte rodoviário no Brasil, tem impactos no meio ambiente, positivos e negativos, sendo assim, considerando os positivos, é possível citar o intercâmbio entre regiões e facilidade de acesso de pessoas, mercadorias e serviços, porém, tratando-se dos aspectos negativos, o principal é o reflexo no meio ambiente, a poluição causada, potencializada pela utilização dos combustíveis fósseis. Neste contexto, a energia de tração, ou seja, a força motriz

utilizada tem relação direta com o impacto ambiental subsequente. Neste cenário, os autores JR e Reis (2016, p. 626) lecionam que:

[...] os meios de transporte apresentam uma relação intrínseca com a energia em sua tração (força motriz), que vai desde o uso direto da própria energia humana até o desenvolvimento de tecnologias mais sofisticadas, em busca de maior eficiência energética, aumento de utilização de fontes renováveis e melhor adequação ambiental, nos rumos da sustentabilidade.

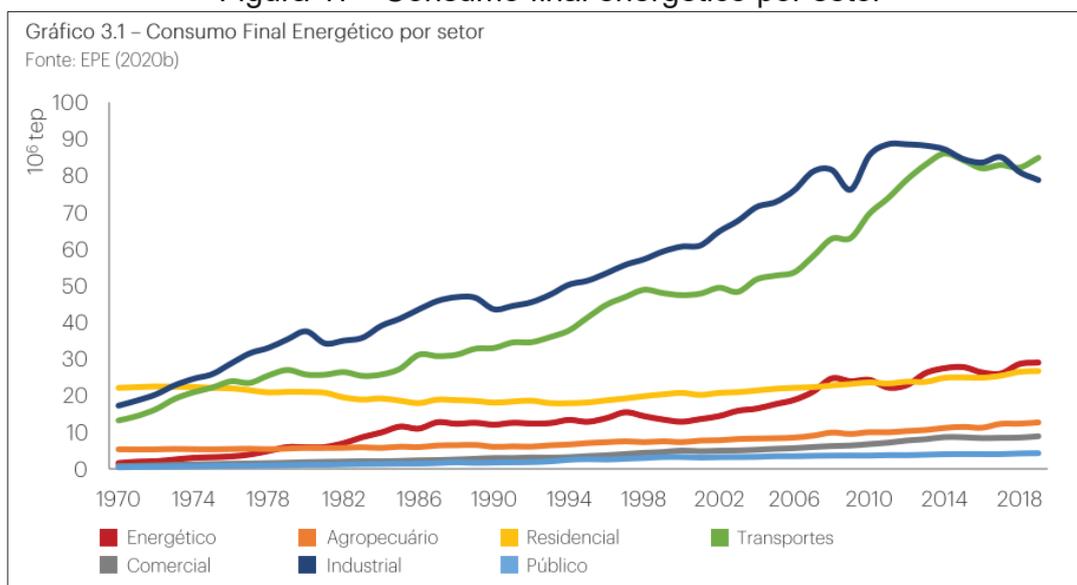
Pode-se verificar que a escolha do sistema de combustíveis utilizada no setor de transportes é fundamental para a sustentabilidade, a análise deve abranger diversas áreas, como a tecnologia empregada e a viabilidade jurídica e econômica. JR e Reis (2016, p. 640) complementam que “o uso de derivados do petróleo no transporte rodoviário é responsável por expressiva parcela da poluição atmosférica, devido às emissões de dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos”. Neste sentido, acrescentam Barbosa, Santos e Leão (2022, p. 143) que:

A poluição atmosférica é um dos principais impactos ambientais decorrentes dos sistemas de transportes, responsáveis por grande parte das emissões de gases poluentes em todo o mundo, sobretudo nas áreas urbanas, tendo em vista que esses meios consomem combustíveis fósseis como fonte de energia.

Diante das reflexões expostas até aqui, pode-se perceber a temática energias é essencial se quisermos avançar na redução e/ou neutralização dos impactos ambientais negativos. Nesta senda, necessária a análise dos combustíveis automotivos, sob a perspectiva da proteção ambiental. Sendo assim, utilizando os dados fornecidos pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética no Balanço Energético Nacional, conforme citado na sessão anterior, pode-se compreender em números como o setor dos transportes se comporta no cenário brasileiro.

Considerando a partir de 1970, quando disponibilizado o primeiro Balanço Energético, até 2020, ao longo desse período, o setor dos transportes se destacou entre os principais consumidores finais de energia e demonstra trajetória de crescimento, considerando 3,9% a.a, se colocando acima dos setores residenciais e industrial, assim como demonstra a figura que segue:

Figura 17 - Consumo final energético por setor



Fonte: BEN 2020, p. 44.

Verifica-se que em 1970 o setor residencial era o destaque no consumo de energia, em 1973 já foi ultrapassado pela indústria, o residencial perdeu força de crescimento frente a redução do consumo da lenha e aumento do consumo de energias mais eficientes como o GLP e a eletricidade. Então, pode-se perceber nesse período a tendência de aumento do setor dos transportes e da indústria, sendo que o setor dos transportes se torna o setor de maior relevância, ultrapassando o industrial (Ben, 2020).

Considerando o destaque do setor no consumo de energia, válido verificar quais são os principais energéticos utilizados por modais, conforme figura 18 a seguir exposta.

Figura 18 - Participação percentual dos principais energéticos utilizados no setor de transportes de 1970 até 2019

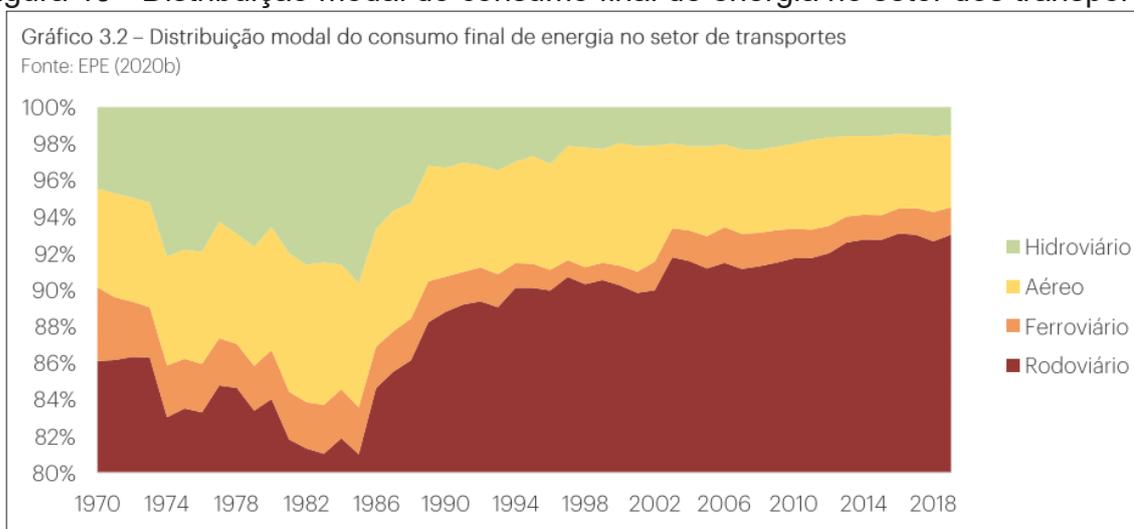
Segmento	1970	1980	1990	2000	2010	2019
Modo Rodoviário	65% 34% 1%	53% 41% 6%	55% 25% 18%	55% 31% 7%	49% 27% 13%	43% 27% 15%
Modo Ferroviário	66% 15% 10%	85% 10% 3%	83% 16% 1%	79% 21%	83% 13% 4%	77% 15% 8%
Modo Aéreo	89% 11%	96% 4%	98% 2%	98% 2%	98% 2%	99% 1%
Modo Hidroviário	53% 46% 2%	58% 42%	70% 30%	70% 30%	70% 30%	75% 25%

■ Óleo combustível ■ Biodiesel ■ Gás natural veicular ■ Eletricidade
■ Óleo diesel ■ Etanol anidro ■ Carvão vapor ■ Gasolina de Aviação
■ Gasolina ■ Etanol hidratado ■ Lenha ■ Querosene de Aviação

Fonte: BEN 2020, p. 45.

Percebe-se que as principais fontes energéticas utilizadas no setor são óleo diesel, gasolina automotiva, etanol anidro e hidratado e o querosene de aviação. Na década de 1970 o transporte rodoviário utilizava do carvão vapor, lenha e óleo combustível, motivo pelo qual a partir de 1980 o consumo destes foi se tornando residual até se extinguirem. Ainda, quando se foca o estudo ao cenário brasileiro, importante estabelecer a distribuição por modal, para compreensão de qual deles impacta de forma mais relevante na matriz energética (Ben, 2020):

Figura 19 - Distribuição modal do consumo final de energia no setor dos transportes



Fonte: BEN 2020, p. 46.

Verifica-se o destaque do modal rodoviário no setor dos transportes quando na figura 19, é possível perceber a participação de mais de 80% do consumo de energia. Identifica-se uma queda de participação entre 1970 e 1985 em função do crescimento dos modos rodoviários e aéreo, no entanto após esse período apresentou tendência de crescimento e se mantém se consolidando como o principal modo de transportes de cargas e passageiros do país (Ben, 2020).

Fatores históricos também contribuíram para o transporte rodoviário figurar como destaque no cenário nacional, quando os movimentos de consolidação da indústria automotiva nacional como parte de políticas públicas, presentes desde 1950, a opção pela logística rodoviária para escoamento de grande parte da produção agrícola, o crescimento da renda per capita da população que gerou um aumento da aquisição de automóveis e motocicletas e também, válido destacar, da carência de transporte público para os municípios (Ben, 2020).

Ainda, válida a indicação que considerando o modal rodoviário no consumo de energia, tem-se ainda o uso de caminhões movidos a óleo diesel, para cargas e para passageiros uma variedade de alternativas como automóveis, veículos comerciais leves, vans, ônibus e motocicletas que podem utilizar a gasolina, o etanol, o GNV (gás natural veicular), dependendo da motorização de casa veículo (Ben, 2020).

Após a análise do setor num período histórico e a sua relevância, válido compreender como o setor dos transportes se apresenta no último Balanço Energético Nacional, publicado em 2024, considerando dados de 2023. O consumo de energia dos transportes em 2023 continuou a sua trajetória de aumentos e apresentou crescimento de 4,4% em relação ao ano anterior, com destaque para 19,2% do biodiesel, de 6,9% da gasolina e de 6,3% do etanol (anidro + hidratado). Importante o destaque que no mercado de veículos leves, o etanol perdeu participação em relação à gasolina automotiva, passando a representar 38% do consumo, contra 39% em 2022 (BEN, 2024).

Ainda, em 2023, 64,80% do consumo de energia do país foram destinados a indústria e aos transportes, sendo que o setor dos transportes correspondeu a 33% do consumo total, aumentando 4,0% em relação no anterior e novamente se consolidando como líder no país em termos de consumo (BEN, 2024).

Figura 20 - Consumo de energia do país por setor em 2023

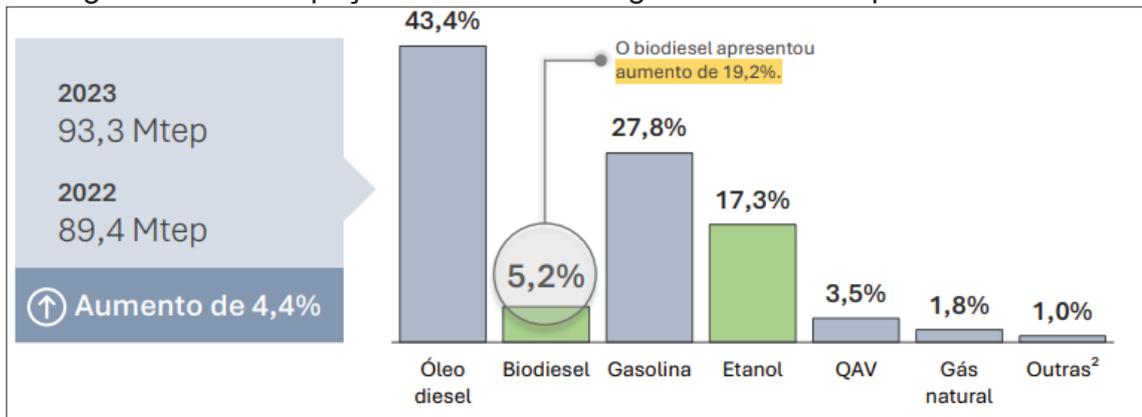


Fonte: BEN 2024, p. 26

Com base nos dados do último Balanço Energético, verifica-se a continuidade do setor como principal consumidor de energia do país com tendência de aumento.

Ainda, pode-se destacar, no cenário atual quais as fontes de participação energética no setor:

Figura 21 - Participação das fontes energéticas nos transportes em 2023



Fonte: BEN 2024, p. 30.

Os grandes destaques foram o aumento do consumo de biodiesel (+19,2%) de gasolina (+6,9%) e de etanol (+6,3%). No capítulo 4 o estudo enfoca na legislação brasileira dos combustíveis, assim, é possível analisar quais foram os fatores que contribuíram para os dados apresentados e em que sentido as ações do governo brasileiro tem estimulado ou desestimulado condutas, no que tange os combustíveis automotivos, visto que, os combustíveis utilizados no modal rodoviário terão forte impacto na matriz energética do país, temática de necessário enfrentamento para o contexto ambiental.

Desta forma, após compreender a relevância da energia, da matriz energética brasileira e dos transportes, neste contexto, o próximo capítulo será dedicado ao estudo da utilização dos instrumentos legais e econômicos, no cenário nacional com enfoque para o programa do Pró-álcool, do etanol e suas peculiaridades.

3. DA UTILIZAÇÃO DE INSTRUMENTOS NORMATIVOS E ECONÔMICOS PELO GOVERNO BRASILEIRO NO SETOR DOS COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS

Considerando a problemática do aquecimento global e das mudanças climáticas frente a relevância do setor dos transportes, como principais emissores de gases do efeito estufa, neste contexto, o combustível utilizado pelos automóveis, reflete diretamente na matriz energética brasileira com forte impacto ambiental, sendo assim, neste capítulo, inicialmente se tem por objetivo analisar o Programa Nacional do Álcool, o Próálcool, os destaques do programa, bem como, do declínio das iniciativas. Posteriormente, o estudo foca no etanol como alternativa de combustível renovável e sustentável, buscando verificar os impasses e benefícios, e, por fim, da tributação e da extrafiscalidade como instrumento para a proteção ambiental.

3.1. DO PROGRAMA PRÓ-ÁLCOOL AO ETANOL: ASPECTOS JURÍDICOS E ECONÔMICOS;

Ao verificar a história do Brasil, encontra-se proximidade com a temática da biomassa, em que, o próprio nome “Brasil” teve sua origem da madeira pau-Brasil, madeira explorada com objetivo da obtenção de um corante natural (Cortez, 2016).

Silva (2010, p. 103) complementa que “o Brasil, como país de bons solos, onde sol e água são abundantes, é um grande produtor de biomassa”. Neste sentido, a cana-de-açúcar, também fez parte da história brasileira, quando considerando a alta valorização do açúcar na Europa, com objetivo da produção de açúcar e “ocupar e desenvolver” as novas terras portuguesas, em 1532 foi introduzida a cana-de-açúcar nas terras brasileiras (Cortez, 2016).

Nas palavras de Cortez (2016, p.16) a plantação da cana-de-açúcar em terras brasileiras se deu da seguinte forma:

[...] inicialmente na parte meridional da demarcação estabelecida pelo Tratado de Tordesilhas, na capitania de São Vicente, por seu primeiro donatário Martim Afonso de Souza, utilizando mudas trazidas da Ilha da Madeira ou de Cabo Verde. Poucos anos depois, a produção de açúcar de cana foi introduzida com sucesso na capitania de Pernambuco, por Duarte Coelho Pereira.

O Brasil, do ponto de vista energético, já chamava a atenção do mundo, visto que, assim como leciona Cortez (2016) “bioenergias de diferentes origens (madeira, carvão vegetal, cana-de-açúcar, ceras, entre outros) foram utilizadas desde o início da colonização, e ainda vêm sendo, até os dias de hoje no Brasil”.

Ribeiro (2020, p. 38) ensina que “o país tem aptidão climática para o cultivo da cana-de-açúcar, principal fonte de sacarose para a produção de etanol no Brasil”. Prossegue Silva (2010, p. 103) que “o primeiro ciclo de expansão econômica do Brasil, em meados daquele século, deveu-se a cana plantada no Nordeste para produzir açúcar”.

Até o final do século XIX, havia um domínio da bioenergia tradicional, considerando a utilização da madeira, na matriz energética brasileira, entretanto, principalmente na Europa, estavam sendo desenvolvidas diversas tecnologias ligadas a fabricação do açúcar e do álcool (Cortez, 2016).

Cortez (2016, p. 20) explica que:

Já no início do século XX observou-se a introdução da eletricidade no Brasil, tendo a geração iniciado com o aproveitamento do potencial hídrico. Também nas primeiras décadas do século XX, pode-se notar a introdução das fontes fósseis (carvão mineral e petróleo), dando maior complexidade à nascente matriz energética brasileira.

Nesta toada, ocorria um processo de modernização da indústria açucareira, com objetivo de aumentar os rendimentos da cana-de-açúcar e transformar os engenhos em modernas usinas, nascendo então nessa época os “engenhos centrais” (Cortez, 2016).

No ano de 1903, o presidente em exercício a época, Rodrigues Alves, inaugurou a Exposição Internacional de Aparelhos de Álcool e o Primeiro Congresso Nacional de Aplicação Industrial do Álcool, ambos sediados no Rio de Janeiro. Cortez (2016, p. 20) citando Silva e Franchetti (2008) indica que a mídia da época afirmava “O querosene, importado do estrangeiro a bom dinheiro e que não tem as mesmas vantagens de higiene, duração e economia que a do álcool produzido em nossos engenhos, precisa ser, por este imediatamente substituído”.

Então em 1908, Henry Ford cria o Ford modelo T, nos Estados Unidos da América que utilizava álcool e gasolina como combustível, o primeiro modelo *flex*, conforme figura abaixo:

Figura 22 - Ford modelo T, primeiro flex



Fonte: Cortez, 2016, p. 20.

Ainda, por volta de 1908, Arthur Harden e William John Young elaboram a equação da fermentação alcoólica. Na década de 1920, no Brasil, observou-se o surgimento das empresas do setor açucareiro, como exemplo, a Dedini, empresa relevante no cenário nacional que posteriormente se tornou destaque no setor sucroalcooleiro do Brasil (Cortez, 2016).

Gomes (2020, p. 54) afirma que “as primeiras experiências com motores movidos a álcool aconteceram em 1925 e no mesmo ano ocorreu a conferência “O álcool como combustível industrial”. Então, nas palavras de Cortez (2016, p. 21) “em 23 de junho de 1927, a Usina Serra Grande Alagoas (USGA) lançou o álcool-motor, no Recife, o combustível a base de álcool alternativo à gasolina. Foi o primeiro grande empreendimento brasileiro em álcool combustível”.

No contexto brasileiro, o crescimento da frota de veículos foi rápido, alcançando 220 mil unidades em 1929, aumentando o consumo da gasolina importada, então verifica-se que a troca da gasolina importada pelo álcool nacional, poderia ser uma estratégia energética e econômica importante (Cortez, 2016).

Então, nas palavras de Cortez (2016, p. 21) “em 23 de junho de 1927, a Usina Serra Grande Alagoas (USGA) lançou o álcool-motor, no Recife, o combustível a base de álcool alternativo à gasolina. Foi o primeiro grande empreendimento brasileiro em álcool combustível”.

Nos primeiros passos na conversão energética da biomassa no cenário brasileiro, em fevereiro de 1931, via Decreto nº 19.717 fica estabelecido a adição obrigatória de 5% de álcool à gasolina importada, ainda, em 1932 é criada a Estação Experimental de Combustíveis e Minérios, que em 1933 é transformada no Instituto Nacional de Tecnologia, local onde Eduardo Sabino de Oliveira e Lauro de Barros Siciliano fizeram estudos do uso automotivo de álcool (Santos, 2013).

Destarte, em 1933 o então presidente Getúlio Vargas criou o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), diante de uma crise no setor açucareiro, com o objetivo de auxiliar os produtores de açúcar a arbitrar entre a produção de açúcar e de etanol, ao mesmo tempo que reduziria o consumo da gasolina importada (Santos, 2013).

Sendo assim, nas palavras de Cortez (2016, p. 21) “[...] pode-se creditar a Vargas o nascimento da ideia de um Estado empreendedor usando a bioenergia da cana-de-açúcar como vetor de desenvolvimento”.

Santos (2013, p. 27) destaca que “em 1938, a mistura de 5% de etanol à gasolina foi estendida para toda a gasolina produzida no país, decorrente do início da operação da primeira refinaria de petróleo do Brasil”. Válido o destaque que nas décadas de 1920, 1930 e 1940, nas palavras de Cortez (2016, p. 22):

[...] foram marcadas pela discussão sobre a existência e a exploração de petróleo no Brasil. Vale a lembrança do empenho de Monteiro Lobato na questão do petróleo (O escândalo do petróleo e ferro, 1936). O movimento “O petróleo é nosso!”, encabeçado por intelectuais da época, levaria à criação da Petrobras na década de 1950.

O decreto que passou a exigir a adição de 5% de álcool à gasolina importada sofreu alterações ao longo do tempo até 1970, considerando a disponibilidade do álcool no país. Cortez (2016, p. 22) afirma que “durante a Segunda Guerra Mundial, com a gasolina importada em falta, há relatos de uso de teores de álcool superiores a 50%”.

Então, em setembro de 1942, via Decreto-Lei nº 4.722, o governo brasileiro declara a indústria alcooleira de interesse nacional e estabelece preço mínimo para o produto. Prossegue Cortez (2016, p. 22) que:

[...] mesmo antes do fim da Segunda Guerra Mundial, o petróleo passou a dominar os transportes e a hidroeletricidade assumiu importância crescente. Apesar disso, a bioenergia, tanto tradicional (lenha e carvão vegetal) como

moderna (etanol e bagaço de cana), mantinha sua importância. A lenha perdia peso na matriz, enquanto o uso da cana para fins energéticos tornava-se cada vez maior, sobretudo a partir de 1975.

O Brasil chama a atenção do mundo com a sua biodiversidade e do ponto de vista energético, utilizou desde a colonização até os dias de hoje, bioenergias de diversas origens, bem como, a madeira, o carvão vegetal, a cana-de-açúcar, dentre outros. Percebe-se, assim como citado no capítulo anterior, que a lenha, a partir de 1970 sofreu uma forte redução de participação na matriz energética brasileira, até os anos 2000, deixando de ser uma fonte relevante, quando o petróleo se firma como uma forte fonte primária de energia.

No início do século XX tem-se uma mudança na matriz energética brasileira, com a introdução da eletricidade no Brasil e o potencial hídrico do país. Ainda, explica Cortez (2016, p. 20) que “[...] nas primeiras décadas do século XX, pode-se notar a introdução das fontes fósseis (carvão mineral e petróleo), dando maior complexidade à nascente matriz energética brasileira”. Neste contexto, Cortez (2016, p. 23) leciona que:

A Segunda Guerra Mundial trouxe problemas para o abastecimento de gasolina do país. Como toda a gasolina era importada, outros combustíveis vieram a ser valorizados além do álcool, como o carvão vegetal. Carros, ônibus e caminhões a gasogênio eram vistos circulando nas ruas das grandes cidades brasileiras.

Considerando um cenário de escassez de combustível importado, o governo brasileiro começa a repensar alternativas para o uso da gasolina, então em 1953 tem-se a criação da Petrobrás, por meio da Lei nº 2.004 de 1952. Cortez (2016, p. 24) afirma que:

A nova empresa ficou responsável pela execução do monopólio estatal do petróleo para exploração, refino do produto nacional e estrangeiro, transporte marítimo e sistema de dutos, tendo como objetivo tornar o país autossuficiente em petróleo.

Nesta toada, percebe-se a atenção do Estado brasileiro para o petróleo, buscando uma alternativa de autossuficiência, porém baseada nos combustíveis fósseis. Então, explica Cortez (2016, p. 24) que:

Com a criação da Petrobras e a introdução da indústria automobilística na década de 1950, pensava-se que o país rapidamente alcançaria a autossuficiência em petróleo e que, mais do que isso, poderia criar um modelo de desenvolvimento econômico baseado na produção de veículos, leves e pesados, usando o petróleo como energia.

Assim, considerando o setor sucroalcooleiro, tem-se em 1963 a criação da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, com o objetivo básico, já naquela época, de propiciar o intercâmbio científico e cultural entre as várias regiões produtoras de cana-de-açúcar, álcool e derivados, não só no Brasil como também no exterior, em 1969 a criação do Centro de Tecnologia Copersucar, em uma iniciativa de um grupo de usinas da região de Piracicaba, com o objetivo de investir no desenvolvimento de variedades mais produtivas e agregar qualidade à produção de açúcar e álcool, em 2011 o centro se transformou em uma empresa de tecnologia sem fins lucrativos, ganhando eficiência e produtividade para o setor (Cortez, 2016).

Ainda, o contexto brasileiro não conta com ações governamentais relevantes para o setor, que tinha praticamente impulso próprio para o desenvolvimento de tecnologias. Cortez (2016, p. 26) salienta a relevância do Centro de Tecnologia Copersucar no cenário do álcool no país naquela época:

Mais importante centro de pesquisas em cana-de-açúcar do mundo, o CTC manteve o mesmo caráter inovador e a busca pela excelência em seus resultados que agora norteiam uma empresa moderna e independente, cujos acionistas respondem por cerca de 60% da cana-de-açúcar moída na região Centro-Sul do Brasil.

Prossegue Cortez (2016, p. 27) que:

O processo etanol se desenvolveu com intensidade principalmente com recursos nacionais, a partir da base existente, e o processo açúcar brasileiro não evoluiu, pois não existiram investimentos em açúcar por não haver pressão de demanda por aumento de capacidade.

No ano de 1971 é criado o Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (Planalsucar), órgão ligado ao IAA, voltado ao desenvolvimento de novas variedades, cujo objetivo era contribuir com o aumento da produtividade da atividade canavieira no país, os estudos do Planalsucar tiveram um papel importante no Próalcoól, assim como será demonstrado na sequência. Cortez (2016) afirma que o Planalsucar foi antecedente e o berço do Próalcoól.

Em 1973 ocorre o primeiro choque do petróleo, tendo como a principal causa o embargo dos países membros da recém-criada Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), os preços do petróleo passaram de 1,9 dólar/barril em 1972 a 11,2 dólares/barril em 1974. O Brasil nessa época importava 80% do petróleo que consumia, dado que representava 50% do total das importações, sendo assim, com forte impacto na economia brasileira, algo precisava ser feito (Cortez, 2016).

Ainda, no que tange a problemática da importação do petróleo, Santos (2013, p. 28) afirma que “[...] o que fez aumentar as despesas com importações no país de US\$ 6,2 bilhões, em 1973, para US\$ 12,6 bilhões, em 1974”. Neste mesmo momento, o setor açucareiro estava passando por dificuldades, com preços baixos do açúcar no mercado internacional, o que gerou o interesse na produção do álcool combustível. Válido o destaque que há variação do preço do etanol conforme o preço do açúcar, visto que, quando o açúcar tem alta de preços, há preferência das usinas em produzir açúcar, deixando, o álcool de lado (Gomes, 2020).

Caldeira, Sekula e Schabib (2020) sintetizam o cenário da época que o etanol ganhou espaço na matriz energética brasileira na coincidência dessas duas crises, do açúcar e do petróleo.

No que tange ao açúcar, num momento de interesse estatal pela produção, o governo concedera subsídios para ampliação da capacidade produtiva de 5,4 para 11 milhões de toneladas, entretanto, quando as novas usinas estavam sendo inauguradas, o preço do açúcar despencou no mercado internacional, projetando um cenário de superprodução. Neste mesmo momento havia uma crise inversa no mercado de petróleo, conforme citado anteriormente, o Brasil era obrigado a importar muito petróleo, visto que produzia apenas 15% do consumo (Caldeira, Sekula e Schabib, 2020).

Considerando a possibilidade de adaptação de motores e o contexto da época, cientistas e técnicos percebem que o setor açucareiro poderia se adaptar rapidamente à produção do álcool. Essa equação permitiu definir um objetivo, de transformar álcool em combustível de uso geral para a frota de veículos.

Neste cenário, considerando a crise do petróleo e as dificuldades do setor açucareiro, em 14 de novembro de 1975 o governo brasileiro cria o Programa Nacional do Álcool, pelo decreto nº 76.593, conhecido como o Próalcohol.

Caldeira, Sekula e Schabib (2020) afirmam que “na época, como a questão do meio ambiente era restrita a especialistas de ciência básica, ninguém sequer cogitou em empregar a faceta ambiental como norte do projeto”. Sendo assim, o decreto instituiu o programa e no art. 1º definiu os objetivos, definido atender as necessidades do mercado interno e externo, bem como, da política de combustíveis. Verifica-se que no artigo que elenca os propósitos do programa, não há menção em qualquer ponto relacionado a proteção ambiental, basicamente, uma política de mercado.

Ainda, o art. 2º determinava o incentivo da produção de álcool, oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo, por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras.

Lora e Venturini (2012, p. 51) afirmam que:

O Programa Brasileiro de Álcool (PROALCOOL), que foi criado na década de 1970, com o objetivo de estimular a produção de álcool carburante visando à diminuição das importações de petróleo, assim como para a mitigação do problema da flutuação do preço do açúcar no mercado internacional, é reconhecido como o mais importante programa de energia a partir da biomassa no mundo.

No art. 3º ficou definida a Comissão Nacional do Álcool, composta por representantes do Ministério da Fazenda, Ministério da Agricultura, Ministério da Indústria e do Comércio, Ministério das Minas e Energia, Ministério do Interior e Secretaria de Planejamento da Presidência da República, sendo presidida pelo Secretário-Geral do Ministério da Indústria e do Comércio.

Os artigos 4º e 5º do decreto inovaram ao estabelecer prazo de apenas um mês para o comitê encarregado de gerir o programa, dar o parecer final sobre os projetos de qualquer natureza apresentados, tanto pelo setor público ou privado, bem como, a legislação determinava os responsáveis pelo financiamento no setor privado como pela adequação das finanças públicas, pontos que conferiram agilidade

incomum às decisões, visto que envolviam muitos setores de forma concomitante (Caldeira, Sekula e Schabib, 2020).

Dentre os principais instrumentos políticos do Proálcool aplicados, Lora e Venturini (2012, p. 51) destacam:

[...] a) linhas de crédito com empréstimos em condições favoráveis para os usineiros incrementarem sua capacidade de produção; b) garantia de um preço menor ao consumidor do bioetanol hidratado que o preço da gasolina; c) garantia de remuneração competitiva para o produtor de bioetanol, mesmo frente a preços internacionais mais atrativos para o açúcar do que para o bioetanol (subsídio de competitividade); d) estabelecimento da obrigatoriedade de venda de bioetanol hidratado nos postos; e) definição de níveis mínimos mais altos no teor de bioetanol anidro na gasolina; f) redução dos impostos para os veículos que funcionam com bioetanol hidratado.

Ainda, JR e Reis (2016, p. 321), tratando dos incentivos estabelecidos pelo Próalcool, (2016, p. 321) afirmam que:

Um incentivo importante do Proálcool consistiu no estabelecimento de níveis mais significativos no teor de etanol anidro na gasolina até atingirem 25%. Por outro lado, o governo definiu que o preço do etanol hidratado para o consumidor devia ser menor que o preço da gasolina.

Prosseguem, JR e Reis (2016, p. 321) que “também foram abertas linhas de crédito favoráveis para que os usineiros incrementassem sua capacidade de produção”. O programa ainda determinava incentivos, por meio de redução da tributação para a venda de carros E-100, viabilizando a compra pelo consumidor do veículo à álcool (JR e Reis, 2016).

Importante o destaque da relevância do programa e da diversidade de políticas aplicadas para viabilizar a produção e consumo do etanol. Nesta toada, Ribeiro (2020, p. 38) afirma que:

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, graças ao Próalcool – política pública do Governo Federal, que promoveu pesquisa e desenvolvimento tecnológico, tanto na etapa agrícola quanto na industrial, e também no desenvolvimento de motores de combustão interna.

Então, verifica-se a dimensão do programa, visto que, levou o Brasil ao destaque da produção do etanol, bem como, um destaque de modelo na produção do álcool. Gomes (2020, p. 54) ainda afirma que “o cenário brasileiro é distinto do panorama mundial, principalmente com relação ao etanol, uma vez que diversas

políticas de incentivo foram criadas”. Válido o destaque, que diante dos incentivos, das ações governamentais e da agilidade do programa, foi possível levar o Brasil ao destaque mundial como país inovador no cenário dos combustíveis e produtor de etanol.

Com muito entusiasmo, neste contexto, se defendia o uso automotivo do álcool de cana-de-açúcar e Cortez (2016, p. 31) leciona do marco inicial do Programa Proálcool:

Lamartine Navarro Júnior propôs a criação do Proálcool ao apresentar o estudo Fotossíntese como fonte energética (1974). Os engenheiros Cicero Junqueira Franco e Mircea Manolescu participaram do estudo, que foi encaminhado ao presidente do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), Araken de Oliveira, sugerindo que incentivos fossem criados para a produção de etanol diretamente da cana-de-açúcar.

Neste momento, Navarro Júnior, identificou a oportunidade de ampliar o uso do etanol no setor automotivo, substituindo a gasolina, e já se refletia da importância dos incentivos fiscais necessários para estimular o uso do etanol, assim como da elaboração de preços, visto que se trata de pontos que definem a escolha do combustível e o perfil de utilização. (Cortez, 2016)

Ademais, válido o destaque da preocupação com o preço do produto no mercado, visto que os produtores teriam a possibilidade da venda do álcool versus o açúcar, neste cenário, Cortez (2016, p. 31) leciona que:

[...] o preço do etanol foi estabelecido em paridade com o preço do açúcar, devendo ser 35% superior ao preço de 1 quilo de açúcar. Essa relação de preços iria influenciar o mix para o açúcar e álcool produzidos nas usinas. O cálculo da relação de paridade entre o etanol e a gasolina foi formulado pelo engenheiro Cicero Junqueira Franco.

Percebe-se que naquela época foram necessários estímulos para que o preço do álcool tivesse competitividade para o consumo e para os produtores, visto que deve haver viabilidade econômica para que parte ou toda a produção esteja voltada para o etanol como combustível. Nesta toada, considerando que o produtor poderia considerar tanto a produção do açúcar como do etanol, Silva (2010) explica que:

Do ponto de vista comercial, é uma boa solução, pois o produtor pode direcionar sua usina para o produto que tem melhor rentabilidade no mercado, a partir do processamento da mesma matéria-prima, uma das

razões do sucesso e, paradoxalmente, do fracasso do programa brasileiro de álcool combustível.

Então, percebe-se que apesar da facilidade dos produtores de açúcar em migrar para a produção do etanol, visto que na base do trabalho se tem a mesma matéria prima, levou também a uma instabilidade, visto que o mercado poderia impactado de forma importante, considerando as variações de preço do açúcar, por exemplo, na redução da produção do etanol.

Considerando ações de longo prazo do governo brasileiro e incentivos bem-sucedidos, públicos e privados, conquistou-se a liderança da produção mundial de produção e etanol de cana-de-açúcar. (Cortez, 2016).

Acrescenta (Cortez, 2016, p. 32) que:

Quando o Proálcool foi implementado, o Brasil já era um relevante produtor de cana-de-açúcar, moendo 68,3 milhões de toneladas de cana (tc)/ano e produzindo 5,9 milhões de toneladas de açúcar, embora a produção de etanol combustível fosse ainda modesta, de 555,6 milhões de litros, dos quais 232,6 milhões de litros de etanol anidro e 323,0 milhões de litros de etanol hidratado.

Válido o destaque da crescente produção de álcool com o Programa do Próálcool, quando de 1975 até 1976 a produção cresceu 600 milhões de litros ao ano, com um salto de crescimento de 3,4 bilhões de litros ao ano de 1979 a 1980 (Cortez, 2016).

Durante os anos de 1970, numa alta do debate acerca das energias, frente a crise energética instalada, tem-se um destaque nas pesquisas no campo das energias, Cortez (2016) cita que o marco bibliográfico do Próálcool foi a publicação de um trabalho na Revista *Science*, pelo professor José Goldemberg, físico brasileiro, acadêmico e membro da Academia Brasileira de Ciências com título “*Energy Balance for Ethyl Alcohol Production from Crops*”, mostrando que o álcool, na verdade, é “energia solar líquida”.

A década de 1970 ainda foi importante frente ao desenvolvimento dos motores *flex-fuel*, motores estes que, JR e Reis (2016, p. 632) lecionam “que permitem a utilização de dois combustíveis, a gasolina e o próprio etanol”. No Brasil, o engenheiro, Urbano Ernesto Stumpf, é considerado o pioneiro no desenvolvimento do motor a álcool brasileiro, com importantes estudos sobre a tecnologia, com estudos objetivando evitar os royalties pagos na fabricação dos motores importados e

projetados no exterior e viabilizar o uso do combustível em larga escala. (Cortez, 2016).

No ano de 1979 ocorre o segundo choque do petróleo em decorrência da Guerra do Golfo Pérsico entre o Irã e o Iraque, o que reflete diretamente o preço do barril de petróleo, assim como afirma Cortez (2016, p. 40):

Os preços do petróleo voltam a aumentar significativamente, passando de 12,9 dólares/barril em 1978 para 30,5 dólares/barril em 1980, levando a uma nova deterioração das contas brasileiras, já bastante prejudicadas devido ao primeiro choque e ao crescente endividamento externo mantido pelo governo brasileiro.

Este segundo choque do petróleo leva novamente a discussão de alternativas energéticas, levando o cenário brasileiro a segunda fase do Proálcool, nesta fase, Cortez (2016, p. 40) ensina que:

[...] o álcool passou a ser produzido também em destilarias autônomas, dedicadas exclusivamente à produção de álcool, sem produção de açúcar. Nesta fase, dá-se início à produção de álcool hidratado, o que permitiria seu uso generalizado em carros a álcool.

Ainda, em 1979 houve acordos entre governo, montadoras e empresários do setor, possibilitando a fabricação de carros a álcool no Brasil. As oportunidades também foram criadas para o setor privado, com recursos financeiros, via empréstimos do governo federal, também com recursos de órgãos externos, como Banco Mundial que concedeu dois empréstimos ao Proálcool para investimento, pesquisa e desenvolvimento. Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 269) afirmam que “[...] nesse ano foram lançados carros movidos exclusivamente a álcool, o que permitiu um aumento explosivo da produção”.

Já em meados dos anos de 1980, notadamente de 1985 a 1986, a safra chegou a 11,8 bilhões de litros, demonstrando a tendência de crescimento na produção do etanol. Com este aumento, houve incremento nos investimentos no setor com a expansão da área plantada de cana-de-açúcar e a construção de novas destilarias. Cortez (2016, p. 41) leciona que “o governo federal, por meio da Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL) produziu uma série de documentos tratando das questões mais relevantes, como “O Proálcool e as culturas alimentares” e outros de orientação”.

Na área da pesquisa brasileira, o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e o Fundo Nacional de Estudos e Projetos (FINEP) foram importantes promovendo a pesquisa no país com a temática da bioenergia e da produção do etanol (Cortez, 2016).

Novamente válida a reflexão que uma ação governamental deve contar com diversas áreas de apoio para obter sucesso, visto que, a pesquisa acadêmica, a indústria, a economia e o poder público são pilares importantes para o desenvolvimento.

No que tange a tecnologia industrial na produção, no início do programa, Cortez (2016, p. 43) afirma que “[...] como o parque industrial compunha-se de usinas de açúcar, a solução inicial adotada foi o uso do melaço – resíduo da produção de açúcar – para a produção do etanol, o que atendeu às primeiras demandas do produto”.

Prossegue Cortez (2016, p. 44) que “com o crescimento do consumo, as usinas foram solicitadas a produzir mais etanol do que se poderia obter do melaço, adicionando-se então a este o caldo, que progressivamente foi aumentando no teor da mistura”. Então, num cenário de alta demanda do etanol, foram necessárias adequações da indústria, sendo assim, conforme ensina Cortez (2016, p. 44):

A elevação do consumo de etanol gerou, no fim da década de 1970 e início da de 1980, uma nova solução industrial: a usina dedicada de etanol, na época denominada “destilaria autônoma”, concebida, projetada e implantada exclusivamente para a produção de etanol, utilizando o bagaço como fonte de energia gerada exclusivamente para uso nos processos internos.

Com novos equipamentos e tecnologias se forma a “usina de etanol”, Cortez (2016) destaca que é a primeira inovação do setor sucroenergético do Brasil. Considerando o crescimento do setor e a implementação de novas tecnologias, a expansão foi acelerada até metade dos anos 1980, atingindo um volume de produção de 12 bilhões de litros por ano, permanecendo estagnado até 2002/2003. No período de estagnação e decréscimo do consumo e do interesse, percebe-se uma mudança no cenário da produção do etanol, então Cortez (2016, p. 48) leciona:

Durante uma década, iniciada no ano de 1987, as pesquisas e desenvolvimentos sobre o uso de etanol em motores foram praticamente

interrompidos, em face da nova realidade de produção limitada de etanol e do desinteresse governamental em incentivar o uso do biocombustível.

Ainda, Cortez (2016) afirma que quando há o desinteresse do mercado e das pesquisas na temática, as pesquisas começam a se voltar para alternativas energéticas, assim como, o uso do gás natural.

Em julho de 1985 a Copersucar realizou em São Paulo o primeiro encontro para discutir assuntos relacionados ao açúcar e ao álcool, um evento com grande repercussão contando com 549 participantes de 32 países e recebendo grande destaque na imprensa nacional e internacional, sendo o primeiro debate sobre a internacionalização do etanol como substituto dos derivados de petróleo, notadamente a gasolina. O encontro ainda discutiu máquinas, tecnologias, equipamentos e processos para o setor para a produção do etanol no país com três principais objetivos, a redução do custo do investimento, aumento da produtividade e aumento do rendimento energético (Cortez, 2016).

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) numa forte relevância no Brasil, assim como destacado anteriormente, trouxe destaque para estudos e incentivos da utilização do etanol, porém, com o fim do regime militar e o começo da Nova República, em meados de 1980, deixou formalmente de existir e com ele os incentivos perderam força. Neste cenário, considerando o fim do programa, Santos (2013, p. 29) explica que:

A partir de 1986, o Pró-Álcool entrou em declínio. Segundo referências bibliográficas distintas, o declínio do programa foi atribuído a uma série de fatores que vão desde falta de planejamento do programa, queda acentuada dos preços internacionais do petróleo, aumento da produção nacional de petróleo, até a elevação dos preços do açúcar no mercado internacional, tornando a sua produção mais atrativa para o setor sucroalcooleiro, que absorveu assim grande parte da produção de cana-de-açúcar.

Neste contexto, Cortez (2016) indica alguns dos principais impasses ao desenvolvimento do Proálcool que foram significativos para o programa perder a força no cenário nacional, como com a escala de produção, a matéria prima, o fertilizante, dos subsídios, da concentração da produção, da termoconversão, que serão explicados na sequência.

Dos problemas relacionados ao volume de produção das usinas, inicialmente o governo propôs que a destilaria padrão produziria 120 mil litros de álcool/dia,

quantidade contestada por pesquisadores, que indicavam um modelo baseado em “minidestilarias” capazes de produzir 20 mil litros de etanol/dia e que poderia, em teoria, tornar-se uma versão “mais socializada” do programa de etanol. As produções em menores escala não conseguiriam atingir os níveis de produtividade, qualidade e economicidade das usinas maiores, especialmente dada a enorme escala do mercado de combustíveis líquidos, gerando uma grande controvérsia sobre a escala da produção (Cortez, 2016)

No que tange ao uso de outras matérias primas, nas palavras de Cortez (2016, p. 56) “os documentos do Proálcool mencionavam, entre outras, a mandioca e o sorgo sacarino”, com tentativa de prolongar a safra da cana.

O fertilizante utilizado, a vinhaça, era apontado como um problema ambiental relevante, visto que havia resíduo líquido da destilação do etanol, produzida na proporção de 10 a 14 litros de vinhaça por litro de etanol, gerando problemas com seu despejo, ocasionando alta carga orgânica em cursos d’água, posteriormente, o CTC desenvolveu estudos e hoje essa prática ajuda o setor a economizar quantidades significativas de potássio, elemento do qual a vinhaça é bastante rica. (Cortez, 2016)

O Próalcool, no período inicial de 1975 até 1980, contou com investimentos subsidiados, subsídios que contavam desde a formação do canavial até a implantação das usinas, por meio de empréstimos a juros muito baixos ou até mesmo negativos. Com a mudança do regime, de militar para civil-democrático, nas palavras de Cortez (2016, p. 58):

[...] houve uma fase de liberalização que não permitia mais haver setores subsidiados na economia bastante debilitada pelas sucessivas crises. As variações consideráveis de preços do petróleo e do açúcar, além de crises econômicas e políticas na década de 1980, levaram à liberalização do setor. A partir desse período já não existia o Proálcool, entendido como um programa de incentivos do governo federal.

Além disso, o Próalcool tinha previsão de redução das desigualdades regionais do país, então, houve incentivos para a região nordeste em relação a região sudeste, sendo que em 1975 a produção de cana-de-açúcar representava quase a metade do total produzido do país, entretanto, ao longo do tempo, as usinas foram instaladas em sua grande maioria nos estados da região Sudeste, provavelmente

frente a disponibilidade de terras aptas, mão de obra qualificada e infraestrutura (Cortez, 2016).

Por fim, das questões relacionadas aos estudo sobre a termoconversão, Cortez (2016, p. 59) afirma que:

Até hoje não há consenso no mundo quanto ao processo que possibilita o melhor aproveitamento das fibras da biomassa. A questão que se coloca é se a rota bioquímica (hidrólise) é ou não mais vantajosa do que a rota termoquímica (combustão, gaseificação ou pirólise).

Então no ano de 1985, no fim do Regime Militar, tem-se o fim do programa de subsídios, data que pode ser considerada como o fim do Próalcool, apesar do termo continuar a ser empregado, nas palavras de Cortez (2016, p. 64) como “designando o esforço do setor, da academia e do governo para o desenvolvimento de tecnologias e disseminação do uso do etanol combustível no Brasil”.

Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 269) lecionam que “em 1986 caiu o preço do petróleo no mercado internacional. Alívio para o governo às voltas com problemas em suas contas externas, gerando maior capacidade de competição para a estatal petrolífera”.

Ainda, no final da década de 1980, válido o destaque que houve uma desproporcional produção de veículos à álcool e produção do álcool, gerando no ano 1989 falta de álcool devido à falta de planejamento combinado com uma alta do preço do açúcar no mercado externo, levando o governo a importar metanol para formular uma mistura ternária de metanol (33%), etanol (60%) e gasolina (7%), chamada de MEG, permitindo o funcionamento normal dos automóveis produzidos para usar etanol hidratado (Cortez, 2016).

A mistura permitiu a economia do etanol e desempenho equivalente, entretanto, num momento de forte de produção de veículos a álcool, diante da falta do etanol no mercado, Cortez afirma que (2016, p. 65):

[...] a escassez do etanol, mesmo durante apenas alguns meses, levou a um descrédito do carro a álcool, fazendo suas vendas despencarem e trazendo de volta o interesse pelo carro à gasolina, o que levou as montadoras a desistirem de investir na evolução do carro a álcool.

Verifica-se então que além dos problemas enfrentados pelo Próalcool, o cenário de falta de subsídios e falta do etanol contribuiu para que os automóveis à

álcool perdessem força no mercado nacional. Silva (2010, p. 103) afirma que “O Brasil ficou sem álcool combustível, matando o Programa Próálcool”. Nesta toada, Santos (2013, p. 29) leciona que:

O fim dos incentivos fiscais para a produção de carros a etanol e a crise de abastecimento de 1989 promoveram o desgaste da imagem do Pró-Álcool perante os consumidores e os produtores de veículos, que voltaram a preferir carros a gasolina a carros a etanol.

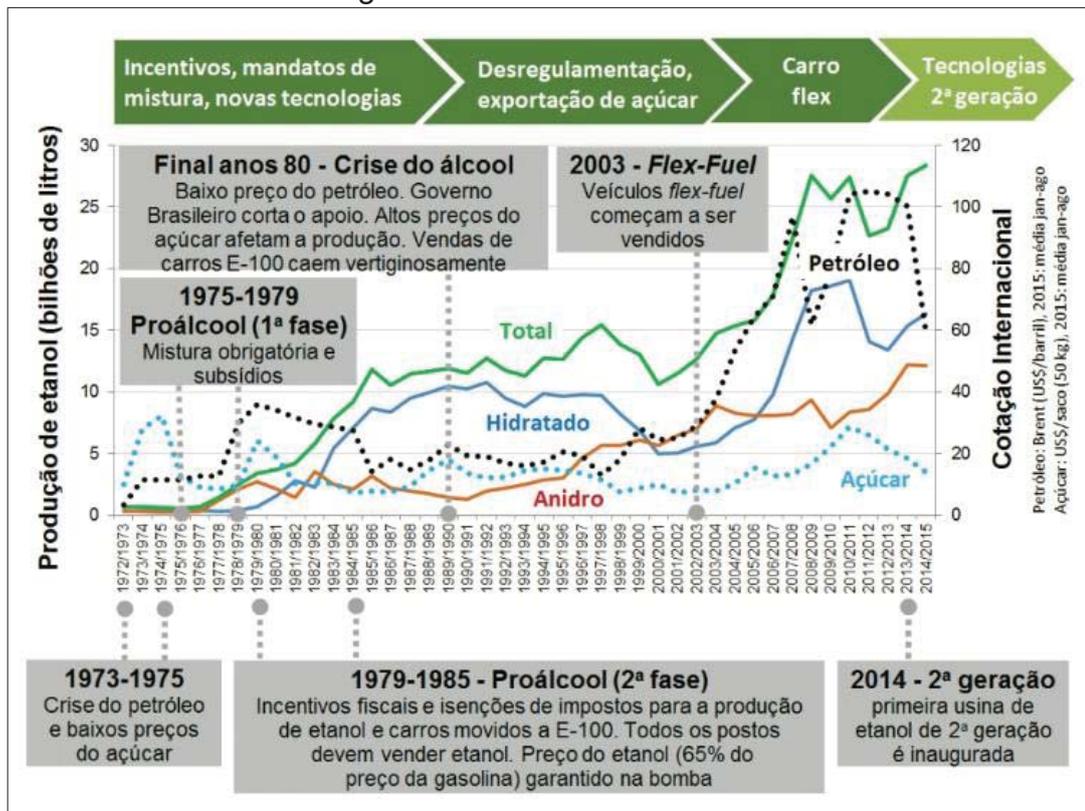
Além do desgaste do programa diante da falta de álcool no mercado e a ausência dos subsídios, afirma Santos, (2013, p. 29) “na década de 1990 as vendas de carros a etanol tornaram-se irrelevantes em comparação às de carros à gasolina, sendo produzidos somente sob encomenda”. Neste contexto, Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 269) destacam:

Para piorar, em 1990 uma guinada ainda mais radical da ação governamental gerou não apenas a extinção do Próálcool como uma completa liberalização do setor, que incluiu a permissão de venda de combustíveis produzidos no mercado externo.

Então, a partir da Eco-92, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, o etanol brasileiro entrou no radar das discussões mundiais como alternativa de combustível sustentável do petróleo (Caldeira, Sekula e Schabib, 2020). No ano de 2003 com a tecnologia dos flexíveis, volta-se a discussão do etanol, Silva (2010, p. 103) destaca que [...] um programa ressuscitado muito recentemente, com a introdução dos motores *flex*, que dão ao consumidor a tranquilidade de poder optar pelo bioetanol ou pela gasolina”.

Se tratando do impacto da chegada dos veículos *flex* na utilização do etanol, tema que será abordado com mais profundidade na próxima seção, quando da abordagem do uso do etanol como alternativa aos combustíveis fósseis. Cortez (2016, p. 84) demonstra numa figura os estágios da produção do etanol no Brasil ao longo do tempo, veja-se:

Figura 23 - Fases do Próalcool



Fonte: Cortez, 2016, p. 20.

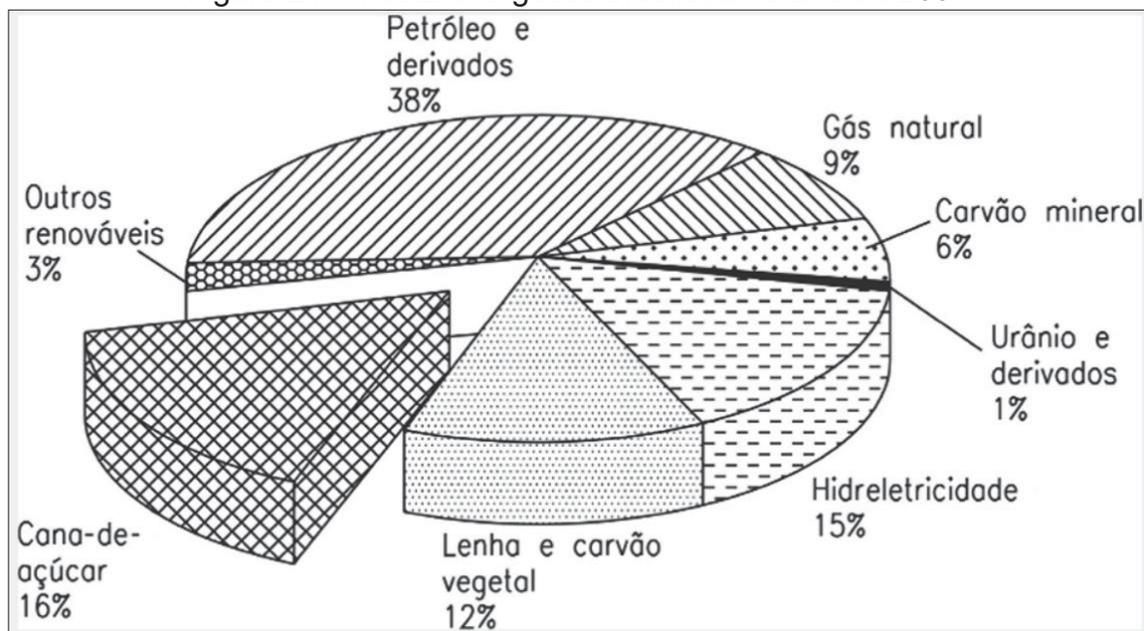
Neste capítulo que é dedicado a fase do Próalcool, se considera a análise inicial do programa de 1975 até a data considerada final de 1985, quando terminaram os subsídios do setor. Posteriormente, nos próximos tópicos do trabalho, que tem por objetivo analisar o etanol versus a chegada dos motores elétricos, verifica-se a continuidade do uso do etanol, mesmo após a finalização do programa, visto que o termo Próalcool ainda é utilizado quando se trata das questões relacionadas ao álcool no cenário brasileiro.

Sendo assim, a figura supracitada demonstra que a crise do petróleo de 1973 combinada com as baixas no preço do açúcar foi o marco inicial da produção do etanol brasileiro, de 1979 até 1985 a produção total manteve-se em alta. Verifica-se, como se destaca na figura 23 que nessa fase de tendência de aumento da produção, tem-se incentivos fiscais e isenções de impostos para a produção do etanol e para a produção dos veículos, assim como a relação com o preço de 65% do preço da gasolina, garantido na bomba.

Ainda, Lora e Venturini (2012) afirmam que o sucesso do Próalcool pode ser demonstrado analisando a matriz energética brasileira de 2007, quando frente a

relevância que o programa teve no cenário energético brasileiro fez com que a cana-de-açúcar ultrapassasse a energia hidrelétrica, perdendo apenas para o petróleo e derivados.

Figura 24 - Matriz energética brasileira no ano de 2007



Fonte: Lora e Venturini, 2012, p. 25.

Num comparativo com a matriz energética brasileira atual (2024) a forte relevância dos derivados da cana, assim como na figura 8, correspondendo a 16,80% da oferta de energia do país.

Ainda, após o final do Próalcool tem-se os carros com tecnologia *flex-fuel* que modificaram a relação com o mercado, novas tecnologias, dentre outros fatores que levam a oscilação da produção do etanol, porém é evidente que ações governamentais frente aos combustíveis tem impacto direto na produção e consumo.

Verifica-se, assim como destacado anteriormente das problemáticas do programa e os motivos que contribuíram para alguns pontos do fracasso, entretanto, com ações governamentais voltadas para a produção e consumo do etanol levou-se a um aumento significativo, demonstrando a eficiência do uso de instrumentos para a escolha de determinado objetivo.

Ainda, Cortez (2016, p. 164) destaca que “o Próalcool contribuiu efetivamente para aumentar a segurança energética do país. Hoje, cerca de 18% da matriz energética é suprida pela cana-de-açúcar, basicamente para a produção de etanol e

bioeletricidade”. Além da segurança energética, o programa contribuiu para redução de GEE, viabilizando a utilização do etanol de forma significativa, contribuindo para a proteção ambiental, válido o destaque que muitos países olham para o programa como um exemplo a ser seguido, que atrai desenvolvimento e sustentabilidade (Cortez, 2016).

Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 269) ensinam que o programa ainda é um modelo de destaque, quando:

[...] um modelo de relações entre Estado e agentes privados que combina um papel do primeiro como garantidor de uma meta central, fornecedor de apoio vis instituições de pesquisa ou linhas de financiamento específicas, agência central na qual empresários de todo tipo e agentes públicos conferem o andamento dos projetos e calibram decisões.

A análise do Proálcool então, pode auxiliar na verificação da importância da participação do governo quando tratamos dos combustíveis, frente a importância nos incentivos, subsídios e ferramentas do mercado para viabilizar e estimular a utilização de determinado combustível. Verifica-se a necessidade da participação do Estado, utilizando-se de ferramentas legislativas e extrafiscais para estimular um setor de transportes mais sustentável. Tamanha a relevância do programa Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 327) afirmam que:

[...] o Proálcool é o que mais se aproxima do modelo de relações entre Estado, entes estatais e empresariais, tecnologia desenvolvida em instituições, empresários e agentes privados necessários para um Paraíso Restaurável. Mas foi montado em momento de férreo regime ditatorial.

Quando da criação do programa, o governo brasileiro estava diante da crise do petróleo, refém de um alto percentual de importação de gasolina, sendo assim, o pontapé inicial não foi uma preocupação ambiental com o uso da gasolina ou etanol pelos automóveis e sim uma inquietação diante da necessidade do mercado, Então, válido o destaque da importante reflexão sobre os combustíveis, se atualmente o governo brasileiro tem buscado opções mais favoráveis sob uma análise somente de mercado e econômica ou a ótica da proteção ambiental está entrando no jogo.

Tem entrado na pauta a “novidade” dos carros elétricos, como uma opção verde, sustentável, ecológica, porém, assim como citado no capítulo anterior, estamos diante de graves problemas ambientais relacionados as mudanças climáticas,

contamos com uma frota de veículos *flex*, dos quais podem ser ferramentas para a redução das emissões de gases poluentes com a alternativa do combustível elegível para a utilização.

Cortez (2016) cita o exemplo do pré-sal no ano de 2007 que é um fator que mudou a política energética do Brasil, muda o objetivo e com prioridades de investimentos forte neste setor, considerando a prioridade de tecnologia e investimentos totalmente focados na exploração do petróleo nas camadas do pré-sal.

Considerando estas mudanças de cenário nacional, percebe-se que válido o estudo da postura do governo brasileiro frente a política energética, pois conforme os objetivos do Estado, teremos impactos no mercado de energias que por vezes, não privilegiam as questões ambientais. Desta forma, no próximo tópico será explorado a utilização do etanol como um combustível alternativo para a gasolina, visto que o etanol é uma energia renovável e sustentável, frente a gasolina, um combustível fóssil.

3.2. O ETANOL COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO;

Após a compreensão da relevância do Proálcool no cenário brasileiro, válido prosseguir o estudo no sentido do impacto da utilização do etanol como alternativa da gasolina, visto sob o prisma da proteção ambiental.

Ao longo do estudo foi possível verificar que num cenário mundial de consequências climáticas, relacionadas ao aquecimento global, a relevância da matriz energética sustentável, neste contexto. Com foco no Brasil, tem-se o destaque do setor dos transportes, sendo o maior emissor de gases do efeito estufa no país, portanto, o combustível utilizado na frota de veículos leves impacta diretamente na matriz e, por fim, nas questões ambientais. Então, inicialmente, importante tecer algumas considerações acerca do etanol, para posteriormente avançar para os aspectos da viabilidade como alternativa de combustível sustentável.

Lora e Venturini (2012, p. 389) ensinam que "o álcool etílico ou etanol é uma substância orgânica ternária, constituída por carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), cuja fórmula molecular é C_2H_5OH ". O etanol é classificado como primário.

Diferentes misturas de gasolina e etanol são utilizadas em veículos, requerendo modificações no motor, visto se tratar de elementos com propriedades diferentes. Lora e Venturini (2012, p. 389) lecionam que:

O álcool etílico tem algumas desvantagens em relação à gasolina, como, por exemplo, um menor poder calorífico (vide tabela 5.1), o que aumenta o seu consumo específico. Porém, devido a sua octanagem mais alta, o álcool pode ser utilizado em motores com taxa de compressão elevada, o que se traduz em aumento de potência.

No que tange ao etanol tem-se duas modalidades, o etanol anidro (ou álcool etílico anidro) e o etanol hidratado (ou álcool etílico hidratado), em que Lora (2012, p. 389) explicam a diferença que "" [...] aparece apenas no teor de umidade no etanol: enquanto o etanol anidro tem um teor de umidade em torno de 0,5%, o etanol hidratado, vendido nos postos de combustíveis, possui cerca de 5% de água, em volume".

Nos motores de combustão interna, o etanol anidro é misturado com a gasolina, enquanto o etanol hidratado combustível é consumido diretamente nos veículos multicompostíveis (*flex-fuel*) (Lora e Venturini, 2012).

As principais matérias-primas para a produção do etanol são de origem agrícola, em três grandes grupos, as açucaradas (de mostos e sucos de diferentes frutas, beterraba e cana-de-açúcar), as amiláceas (de cereais como, milho, cevada, malte, trigo, aveia, centeio e arroz ou tubérculos, como batata, batata-doce e raiz de girassol) e celulósicas (de madeira, bagaço e palha de cana-de-açúcar, palha de trigo, resíduos de milho e polpa de beterraba) (Lora e Venturini, 2012).

As matérias-primas são utilizadas em diversos países atendendo a disponibilidade e condições climáticas, Lora e Venturini (2012, p. 390) destacam os principais produtores:

Nos principais países produtores de etanol utilizam-se as seguintes matérias-primas: cana-de-açúcar na Índia e no Brasil, milho nos Estados Unidos, beterraba açucareira, sorgo açucareiro e trigo na União Europeia e cana-de-açúcar e milho na China.

O etanol ainda pode ser classificado como de primeira ou segunda geração, sendo que se trata de combustíveis com a mesma fórmula química, porém produzidos de forma diferente. O etanol de primeira geração é obtido a partir do caldo e do melaço

da cana-de-açúcar e a produção é feita por meio de hidrólise e fermentação, em contrapartida, o etanol de segunda geração é obtido a partir de resíduos vegetais, como bagaço, palha, folhas e cavaco e a produção é feita por meio de fermentação controlada e destilação, além de pré-tratamento e purificação (Gomes, 2020)

Goldemberg (2012, p. 28) afirma que “no Brasil, a matéria-prima utilizada para produção de etanol é a cana-de-açúcar que, segundo os balanços energéticos, comparado com outras biomassas, se destaca como a melhor matéria-prima para produção de energia renovável”. Sendo assim, válido o destaque que o presente estudo toma como base a cana-de-açúcar como matéria prima para produção do etanol, considerando o etanol de primeira geração. A base territorial é o cenário brasileiro e a utilização do etanol como alternativa de combustível renovável.

Após o recorte das delimitações do estudo, se prossegue, considerando que com o final do Próalcool em 1985 e com a crise do desabastecimento de álcool que levou ao descrédito da utilização do etanol, na década de 1990, conforme citado anteriormente, já se percebe uma mudança do cenário do etanol em automóveis, Cortez (2016, p. 65) afirma que:

[...] já no início da década de 1990, uma queda na demanda por álcool hidratado e a elevação, proporcional, do consumo de álcool anidro adicionado à gasolina, em consequência das mudanças no mercado de combustíveis para veículos leves no país.

Nesta conjuntura, percebe-se que diante de uma mudança de postura do consumo e do mercado, após o final do programa o etanol vai perdendo força, viabilizando o uso da gasolina. Então, nesta época, a empresa Bosch, que tinha uma filial norte-americana com patente de 1988 sobre uma técnica de detecção de combustível por meio do uso de sonda de oxigênio, que media a condutividade elétrica do ar e estabelecia uma correlação com a quantidade de oxigênio presente no reservatório, inicia a pesquisa sobre o motor biocombustível no Brasil, Cortez (2016) afirma que seria a base para o desenvolvimento da tecnologia *flex-fuel*.

Cortez (2016) ainda destaca que frente ao envelhecimento da frota de veículos, fim dos incentivos e demais problemas, tem-se uma redução da demanda de álcool no país, entretanto em 1997 há uma retomada de pesquisas sobre o etanol como combustível, frente a uma queda do preço do açúcar no mercado.

Então na primeira década do século XXI, frente a um novo aumento do preço do petróleo, o etanol de cana-de-açúcar ganha um novo impulso. A indústria automobilística, neste cenário percebeu que o consumidor demandava um motor flexível, que funcionasse com qualquer proporção de etanol na mistura do combustível (Cortez, 2016).

Goldemberg (2023, p. 131) ensina que “a tecnologia FFV utiliza sensores eletrônicos para identificar qual mescla de gasolina e etanol entra no sistema de injeção do veículo e ajusta as condições de combustão”.

Nesta época, nos Estados Unidos, a tecnologia *flex* já vinha sendo aplicada, então já havia uma disseminação e conscientização sobre o potencial da tecnologia. Cortez (2016, p. 116) destaca que “a introdução da tecnologia *flex-fuel* representou um verdadeiro marco para o uso de biocombustíveis no Brasil”.

O mercado demandava um veículo flexível, buscando maior segurança e liberdade de escolha do combustível, visto que, frente as oscilações de preços do petróleo, diante das crises sofridas, havia problemas relacionadas ao preço da gasolina, mas o álcool, em contrapartida, também de certa forma apresentou instabilidades e chegou a faltar para o consumidor, como citado em 1989, demonstrando sua vulnerabilidade.

Os Estados Unidos então, já contando com modelos FFV (*flex-fuel vehicle*), operando com misturas de gasolina e etanol anidro, em 2002 a Ford apresentou o Ford Fiesta no Brasil, entretanto, o primeiro veículo FFV no mercado brasileiro foi lançado pela Volkswagen em 2003, o Gol, que operava com misturas de gasolina C e etanol hidratado.

Figura 25 - Primeiro modelo flex-fuel lançado no mercado brasileiro, o Gol da Volkswagen



Fonte: Cortez, 2016, p. 117.

Após o lançamento do Gol, outras montadoras foram aderindo as novidades, até mesmo pela demanda de mercado, entretanto, o Brasil foi inovador ao utilizar um novo conceito de modelos de veículos flexíveis, nesta senda, Cortez (2016, p. 117) ensina que:

Em vez dos tradicionais sensores de etanol na linha de combustível do veículo, a Magneti Marelli (MM) desenvolveu e apresentou um pedido de patente de um “sistema de controle de motor” simples e inovador baseado na medição de oxigênio no gás de escapamento pela “sonda lambda”, sensor já utilizado nos veículos para o controle da emissão de poluentes. O sinal gerado por esse sensor é enviado para o módulo eletrônico que gerencia a operação do motor e do sistema de controle de emissão, que ajusta a mistura ar/ combustível para o valor estequiométrico. O desenvolvimento desse sistema no Brasil permitiu ao motor *flex* um salto qualitativo considerável em relação aos seus congêneres produzidos nos EUA e Europa. A tecnologia MM, por ser simples e barata, ganhou aceitação e hoje é referência no Brasil.

Verifica-se o potencial brasileiro de inovação, quando foi destaque no lançamento do Proálcool em 1975 e depois na entrada dos veículos *flex* no mercado, novamente aparece como um país relevante no cenário mundial, desenvolvendo uma tecnologia de referência. Neste contexto, Goldemberg (2023, p. 131) ensina que:

Com o veículo flex, os consumidores têm total liberdade de escolha, determinada principalmente pelo preço nos postos de combustível. Avanços recentes tornaram a tecnologia flex relativamente barata (representando um custo adicional de US\$ 100 ou menos por automóvel), com emissões próximas às da gasolina, ou até menores.

O Brasil em parceria com os Estados Unidos, pelos governos Bush e Lula, lançaram uma cooperação importante no ano de 2005, estabelecendo colaboração em tecnologias e ciência na área dos biocombustíveis, em especial do etanol. Válido o destaque que o etanol de cana-de-açúcar brasileiro, foi considerado pela *Environmental Protection Agency*, que é a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, de “biocombustível avançado” e conforme leciona Cortez (2016, p. 121) “o etanol brasileiro é ainda o único que satisfaz ao critério de “*advanced*” na quota do *Renewable Fuel Standards* (RFS) americano”.

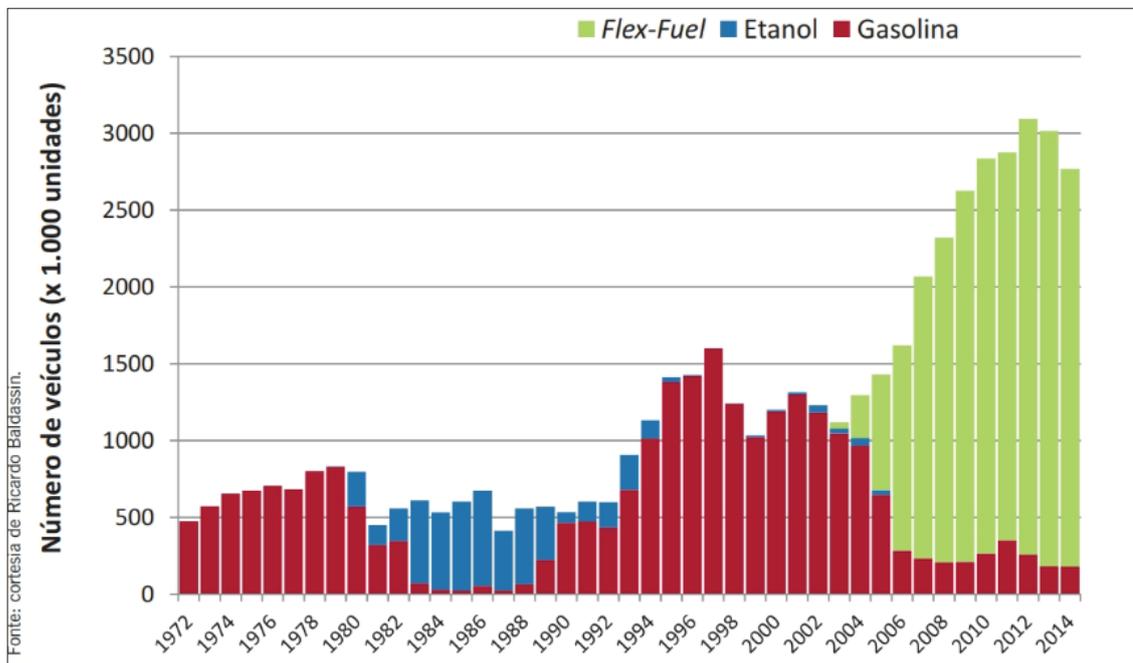
Além da qualidade do etanol brasileiro, se tratando ainda da frota de flexíveis Cortez (2016) destaca que, no ano de 2010, 88% dos carros novos vendidos já contavam com a tecnologia, então, no ano de 2014 os veículos *flex* tiveram outro salto de inovação, relacionada a partida a frio, que antes eram utilizados os “tanquinhos” de gasolina e foram substituídos por dispositivos de preaquecimento do etanol nos sistemas de injeção do combustível no motor, além das alterações nos sistemas de injeção direta de combustível e motor turbinado, e outros dotados de sistema *start-stop*, modificações que impactaram na economia de combustível, redução de poluentes e melhor desempenho. No ano de 2023, Goldemberg (2023, p. 131) afirma que “mais de 95% dos carros vendidos no Brasil são veículos flex”.

Cortez (2016, p. 169) resume as fases do etanol no Brasil em três momentos, quando:

Em um primeiro momento, até 1989, prevaleceu o uso de etanol em carros a álcool (hidratado) e a mistura do etanol anidro à gasolina. Em um segundo momento, após a crise de 1989 até 2002, prevaleceu o declínio e o desaparecimento do carro a álcool, e aumento das quantidades de etanol anidro na mistura. Por último, o período de 2002 até hoje foi marcado pela introdução do carro flex-fuel no país.

Pode-se perceber nas diferenças fases do etanol o reflexo nos combustíveis, conforme segue:

Figura 26 - Evolução dos veículos leves no Brasil quanto ao tipo de combustível utilizado



Fonte: Cortez, 2016, p. 117.

A figura demonstra que no ano de 1980 os veículos à álcool começam a ganhar força e depois nos anos de 1990 perdem espaço até ser praticamente substituídos pela gasolina. Porém, uma nova alteração o mercado aparece com a tecnologia dos automóveis flexíveis, que atualmente é a maioria na frota brasileira.

Ainda, válido o destaque do cenário atual dos veículos flex no Brasil, com base na nota técnica da Empresa de Pesquisas Energéticas, emitida em 2024, que em 2023, foram licenciados 2,2 milhões de veículos leves novos no Brasil. Desse total, 79% foram automóveis e 21% comerciais leves. Na separação por combustível, a categoria *flex fuel* representou 83% do licenciamento total, seguida com distância pelos veículos movidos a diesel, com 9,9%. Os veículos a gasolina representaram 2,8% e os eletrificados (elétricos, híbridos e híbridos plug-in) chegaram a 4,3% (Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024).

Importante ressaltar que no próximo capítulo, que será dedicado ao estudo do comparativo do etanol frente aos motores elétricos, será abordado de forma mais completa os dados atuais dos veículos *flex* no cenário nacional.

Voltando-se ao etanol, em um contexto de crescimento da produção e consumo fez também crescer o interesse das empresas petroleiras neste mercado, Cortez (2016, p. 122) leciona que “empresas como a Petrobras, Shell e British

Petroleum investiram pesadamente no mercado brasileiro, comprando e construindo novas usinas e destilarias, chamadas de *green field*". O impulso do setor privado colaborou para o aumento da produção e os investimentos no processo de diversificação do produto para ir do canavial ao posto de serviço.

No ano de 2007 o etanol recebeu críticas de ambientalistas por ser um possível "culpado" pelo desmatamento da Amazônia e pelo encarecimento dos custos dos alimentos, neste momento, os Estados Unidos precisavam de provas que o etanol brasileiro importado não era o vilão. Cortez (2016, p. 130) afirma que "o Brasil respondeu prontamente, demonstrando que a cana-de-açúcar não se expandia sobre vegetação nativa, mas principalmente em pastagem, e que o desmatamento direto não existia". Goldemberg (2023, p. 133) afirma que:

O aumento dos preços dos produtos agrícolas entre 2000 e 2008, após várias décadas de quedas dos preços reais, é visto por muitos como uma causa da fome e levou a uma controvérsia política em torno da ideia de combustível versus alimentos.

Ainda, neste cenário de críticas a produção do etanol, no que tange ao desmatamento, Goldenberg (2023, p. 134) leciona:

A afirmação está claramente incorreta: os índices de desmatamento históricos na Amazônia são de 0,5 a 1 milhão de hectares por ano e têm diminuído, apesar da expansão das plantações de cana-de-açúcar no sudeste brasileiro. Na realidade, o desmatamento da Amazônia tem causas complexas, a principal das quais é a expansão da pecuária e do cultivo de soja, ambos não relacionados à expansão do plantio de cana-de-açúcar.

No que se refere ao uso da terra, na sequência ao tratar do zoneamento ecológico será possível compreender de forma mais clara a análise das localidades e condições das plantações brasileiras.

Então, nesta conjuntura, avaliando as críticas quanto ao etanol brasileiro, a *Environmental Protection Agency* ficou responsável por calcular em quanto o etanol de cana reduzia a emissão de gases de efeito estufa (GEE), incluindo possíveis emissões referentes ao efeito indireto de uso da terra. Foi desenvolvida uma ferramenta, chamada BLUM, que significa *Brazilian Land Use Model*, ou Modelo de uso da terra para a agropecuária brasileira. O BLUM que é um modelo econômico dinâmico de equilíbrio parcial, multirregional e multimercados do setor agropecuário brasileiro,

capaz de mensurar a mudança no uso da terra e estimar a expansão das principais atividades do setor no longo prazo (Cortez, 2016).

Além disso, o BLUM tem sido usado como ferramenta para análise e formulação de políticas públicas no Brasil e internacionalmente. O estudo então foi realizado pelo Instituto Icone, hoje Agroicone, em conjunto com a Universidade de Iowa, capitaneado por André M. Nassar, diretor geral do Instituto, com sua equipe de pesquisadores, que realizaram estudo que mudou o panorama do etanol brasileiro no cenário internacional (Cortez, 2016).

Para além do estudo classificar o etanol brasileiro como um “combustível avançado”, conforme citado anteriormente, Cortez (2016, p. 130) menciona que “com uma redução de 61% das emissões de GEE em relação à gasolina, o etanol de cana-de-açúcar é significativamente melhor em termos ambientais que o etanol de milho (para o qual a redução é de apenas 21%)” gerando um selo de qualidade ao etanol brasileiro e abrindo um mercado internacional interessante ao país.

Verifica-se que afora a relevância do etanol brasileiro, tivemos comprovado no estudo a redução da emissão de GEE utilizando o etanol como combustível alternativo a gasolina. Nesta toada, Goldemberg (2023, p. 130) menciona que “[...] o bioetanol é um combustível bastante limpo e renovável”.

Ainda, válido o destaque da redução de GEE durante o período do Proálcool, quando Cortez (2016, p. 164) afirma:

A contribuição do Proálcool no que se refere à diminuição das emissões de GEE pode ser estimada considerando o volume produzido entre 1975 e 2015 de 800 bilhões de litros (20 bilhões de litros/ano × 40 anos) e 2,5 kg CO₂/litro, portanto cerca de 2 trilhões de quilos de CO₂. Uma avaliação mais precisa, considerando o ciclo de vida completo da produção de etanol e bioeletricidade, mostra um valor de 370 bilhões de quilos de CO₂ entre 1975 e 2006 (Pacca e Moreira, 2009), que, extrapolada para 2015, alcança 600 bilhões de quilos de CO₂.

No que tange a nomenclatura, ano de 2009 a Resolução n. 39 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustíveis (ANP) obrigou os postos a venderem álcool com o nome de etanol, técnicos do setor justificaram o objetivo de diferenciar o combustível do álcool farmacêutico (Cortez, 2016).

Neste contexto, se tratando dos combustíveis e da sustentabilidade, JR e Reis (2016. P. 641) destacam que:

Para obtenção de baixos níveis de emissão de poluentes, não é necessário apenas a existência de motor de tecnologia avançada, mas também de combustíveis adequados, que possam reduzir os danos ao meio ambiente — como nos casos do etanol (álcool), no Brasil, e do metanol (obtido a partir do milho), nos Estados Unidos.

Pode-se verificar, neste cenário, que o etanol é uma alternativa de combustível para reduzir os impactos causados pelo setor dos transportes. Ainda, JR e Reis (2016, p. 632) afirmam que “o Brasil credenciou-se como um país inovador, com o desenvolvimento do carro a álcool (etanol), cujo ápice se deu durante as décadas de 1970 e 1980”, conforme destacado no tópico anterior, considerando o período do Próálcool.

Nesta toada, válido o destaque de Gomes (2020, p. 50) que salienta que “um dos grandes desafios da sociedade para chegarmos a um desenvolvimento sustentável está na substituição do petróleo dentro da matriz energética mundial”, sendo assim, repensar o combustível utilizado nos automóveis é uma temática relevante. Nas questões ambientais relacionadas a saúde, Cortez (2016, p.104) afirma que:

[...] o Laboratório de Poluição Atmosférica da Faculdade de Medicina (USP), estudou como o uso de etanol combustível e a redução das emissões geradas na cidade de São Paulo, por mais de 5 milhões de carros (a maioria dos quais flex-fuel), ajudam a aliviar a contaminação do ar.

Prossegue o autor (Cortez, apud Saldiva, 2016, p. 104) que “[...] o uso do etanol combustível, em substituição à gasolina, é uma importante medida de política pública na saúde da população brasileira que vive nas grandes cidades”. Ainda, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (atualmente Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) realizou um estudo sobre a emissão de poluentes atmosféricos pelos veículos a álcool e a gasolina, demonstrando que as emissões associadas ao uso do etanol (puro e em mistura com gasolina) apresentam menor impacto ambiental que as emissões associadas à gasolina pura (Cortez, 2016).

Em 20 anos do lançamento do primeiro carro *flex* no Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energia, tem-se quase 800 milhões de toneladas de emissões de CO₂ evitadas.

Verifica-se então que o etanol, após diversos estudos, tem comprovada a sua viabilidade como combustível alternativo menos poluente, visto que em comparativo

com a gasolina, emite menos GEE, sendo assim, colaborando de forma significativa na mitigação dos impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas.

Entretanto, além da anterior preocupação com a qualidade do etanol brasileiro, que posteriormente após estudos, serviu como um selo de qualidade para o produto, tem-se preocupações relacionadas ao processo produtivo e a viabilidade econômica do etanol no mercado.

No que tange ao processo produtivo do etanol, importante o destaque das preocupações relacionadas a plantação da cana-de-açúcar, a matéria prima, visto que apesar de se tratar de uma opção renovável, há inquietações e críticas com pontos como as queimadas, o desmatamento, uso da água e segurança alimentar, temas que serão abordados a seguir.

Nesta toada, Cortez (2016) afirma que as queimadas que antecedem a colheita são consideradas um relevante problema ambiental, causando poluição e problemas de saúde, então, como exemplo, cita o autor, nos anos 2000 o estado de São Paulo, formulou a Lei Estadual sob nº 11.241/02, por José Goldemberg, Secretário de Meio Ambiente do Estado na época, que estabelece medidas para a eliminação gradual da queima da palha da cana-de-açúcar. A lei prevê que a queima só pode ser realizada mediante autorização do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN). Além disso, a lei estabelece que a queima não pode ser realizada em determinadas situações, como, quando houver risco de vida humana, quando houver danos ambientais, com as condições meteorológicas desfavoráveis, quando a qualidade do ar estiver prejudicando a saúde humana ou quando a fumaça da queima comprometer as operações de transporte. A legislação também estabelece que a queima não pode ser realizada em áreas maiores que 500 hectares.

Neste contexto, Cortez (2016, p. 88) acrescenta que:

Além da lei, houve também o estabelecimento de uma parceria entre a Secretaria Estadual de Meio Ambiente, a Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento e a Unica, permitindo o estabelecimento do Protocolo Agroambiental, que estimulou uma ação voluntária de intensificação rápida do corte mecanizado da cana pela indústria sucroenergética, o que possibilitou o atingimento dos 90% de colheita sem queima.

Prossegue Cortez (2016, p. 88) que:

Hoje, a colheita de “cana crua” (sem queima) já é praticada em mais de 90% da área colhida em São Paulo, onde é cultivada mais de 50% da cana do Brasil. No entanto, a colheita de cana sem queimar introduziu um novo desafio tecnológico: como colher mecanicamente e economicamente a cana integral sem compactar o solo, danificar a soqueira e trazer muitas impurezas para a indústria.

Válido o destaque que o exemplo citado do estado de São Paulo é relevante, visto que, conforme afirma o autor Cortez (2016), é o local em que é cultivada mais da metade da cana do Brasil. A figura 27 a seguir demonstra o processo de colheita mecanizada, sem queima:

Figura 27 - Colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sem queima

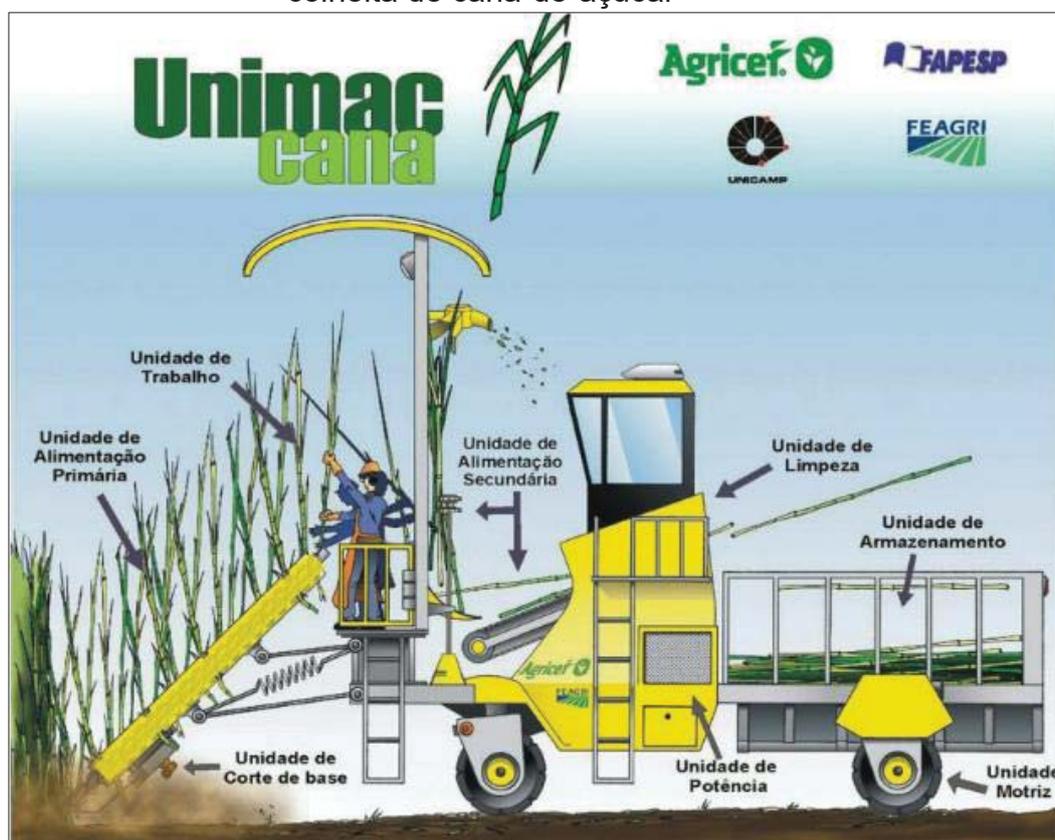


Fonte: Cortez, 2016, p. 89.

A mecanização do processo da colheita da cana contribuiu para a redução do impacto das queimadas, porém afetou o mercado de trabalho, o desemprego na zona rural foi uma preocupação da mudança da tecnologia, porém foram realizados projetos, pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA), como o Projeto Renovação, permitindo a requalificação dos cortadores de cana e o Projeto Unimac, por Oscar Braunbeck, então na Unicamp e hoje no Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), na Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp) possibilitando o uso de mão de obra nas operações de corte e ordenamento da cana, as quais requerem mais habilidade que esforço físico (Cortez, 2016).

Considerando o projeto Unimac, supracitado, com o processo semimecanizado, tem-se a figura 28 que ilustra o procedimento abaixo:

Figura 28 – Projeto Unimac desenvolvido como sistema “semimecanizado” de colheita de cana-de-açúcar



Fonte: Cortez, 2016, p. 89.

Verifica-se que no processo semimecanizado tem-se a unidade de trabalho, reduzindo o impacto nos empregos, principalmente em locais onde a questão social é mais crítica e o solo é mais declivoso (Cortez, 2016).

Com o fim das queimadas, ainda há questões relacionadas a palha de cana que era eliminada no momento da queima, Cortez (2016, p. 91) afirma:

O fim da queimada e correspondente início da colheita mecanizada de cana crua significaram uma mudança no processo de limpeza da cana, anteriormente feito com o uso de água, por meio da lavagem da cana. Com a introdução da colheita mecanizada, a cana passou a ser colhida não inteira, como no corte manual, mas picada em toletes. Os toletes são muito mais suscetíveis à perda de açúcar no processo de limpeza com água. Assim, as usinas passaram a utilizar a limpeza de cana “a seco”, com ar, reduzindo o consumo industrial de água, mas levando um pouco mais de impurezas ao processo.

Verifica-se que na temática da palha, ainda é necessária atenção para desenvolvimento de tecnologias para reduzir o impacto do resíduo no processo produtivo da cana-de-açúcar.

No ano de 2003 com o Protocolo Etanol Verde, uma iniciativa do governo estadual paulista e o setor sucroenergético se antecipa o prazo de colheita queimada no estado de São Paulo, citado como exemplo, para 2014, nas áreas mecanizáveis (superiores a 150 ha e declividade máxima de 12%) e fica prevista a concessão anual de um certificado de conformidade aos produtores que adotarem boas práticas de manejo. Ainda, é estruturado um consórcio Canasat entre Fapesp, CTC, Unica, Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) e Divisão de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta (LAF), estes dois últimos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com objetivo de monitoramento por satélite da área e da colheita de cana-de-açúcar (Cortez, 2016).

Importante que o processo de produção do etanol seja também sustentável, visto que não é possível pensar o etanol como combustível viável economicamente e ambientalmente, sem levar em conta o processo de produção.

Ainda na esfera da produção e das possibilidades de ações governamentais viabilizando o produtor, válido o destaque do exemplo da empresa Dedini, relevante no setor sucroenergético, localizada no estado de São Paulo. A Dedini é uma empresa que atua no setor sucroenergético, fornecendo equipamentos e tecnologias para a produção de açúcar, etanol, biodiesel, entre outros. A empresa também atende outros setores, como a indústria de alimentos e bebidas, a mineração, a siderurgia e a petroquímica.

A Dedini, em parceria com técnicos do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em 2009 lançou no *Ethanol Summit* (2009) o projeto denominado Usina Sustentável Dedini (USD), um conceito de Base para o desenvolvimento de plantas de açúcar e etanol mais sustentáveis, Cortez (2016, p. 75) afirma que “ao final, a USD produz seis bioprodutos: bioaçúcar, bioetanol, bioeletricidade, biodiesel, biofertilizante e bioágua, em um projeto integrado objetivando minimizar a emissão e maximizar a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). A USD foi criada com o conceito do trinômio economia+sociedade+meio ambiente, atendendo a otimização de máximo bioaçúcar, bioetanol, bioeletricidade, biodiesel e mitigação de GEE com zero resíduos,

efluentes líquidos, odores, água de mananciais e mínimas emissões de GEE (Cortez, 2016).

No exemplo da USD, importante destacar que o conceito criado em comparação com uma usina tradicional, com foco para o etanol, Cortez (2016, p. 76) destaca:

Otimiza os processos de produção, possibilitando máxima produção de bioaçúcar e bioetanol por tonelada de cana. Dessa forma, maior quantidade de etanol estará disponível para substituir a gasolina, evitando ainda mais emissões de GEE.

Prossegue o autor Cortez (2016, p. 76) que a USD “otimiza o projeto energético da usina, produzindo o máximo de bioeletricidade, inclusive pelo uso da palha, evitando o uso de combustível fóssil e evitando ainda mais emissões de GEE”. O conceito da usina ainda propõe alternativas para a utilização da cana e do etanol como segunda matéria prima em outros processos.

A usina também propõe soluções para os fertilizantes e a água, quando faz proveito dos resíduos, utilizando-os como biofertilizantes e, busca a autossuficiência em água, quando se utiliza e recicla a água contida na própria cana, sem demandar água de mananciais, gerando até mesmo excedente, chamada de bioágua. Nesta toada, Cortez (2016, p. 76) faz um comparativo com uma usina tradicional quando afirma que “ressalte-se que uma usina típica consome 23 litros de água de mananciais por litro de etanol produzido, enquanto a USD exporta 3,7 litros de água por litro de etanol”.

Prossegue Cortez (2016, p. 77) que “o bioetanol produzido pela USD tem um efeito mitigador de GEE de 112% (e 132% utilizando 50% da palha como energético), enquanto o etanol produzido pela usina tradicional possui 89% de mitigação”. Com o caso da USD, percebe-se possibilidades sustentáveis para a produção do etanol que além da possibilidade de ser um substituto interessante para a gasolina, com afastamento necessário dos combustíveis fósseis, nos veículos leves, tem-se a viabilidade que o processo produtivo seja também menos poluente e ambientalmente mais favorável.

Válido ainda, a reflexão acerca do planejamento do uso da terra para a produção do etanol, como estamos diante de uma plantação de cana-de-açúcar, além

da atenção no processo produtivo em si, a forma como será disposta a plantação e o correto planejamento também são tarefas importantes.

Então, tem-se o instrumento do zoneamento, nas palavras de Rech e Rech (2018, p. 87) a natureza do zoneamento é “dar uma função social à ocupação do solo e dos espaços do planeta”. Antunes (2023), neste contexto, afirma que o zoneamento “é medida de ordem pública cujo objetivo é arbitrar e definir os usos possíveis, mediante a adoção de regras”.

O instrumento do zoneamento permite a garantia da biodiversidade e da sustentabilidade, com a finalidade social e econômica dos espaços e do solo, com objetivo da ocupação humana e a produção de alimentos ou bens (Rech e Rech, 2018).

Rech e Rech (2018, p. 88) lecionam que:

O conceito geográfico de zoneamento é a base da composição do conceito jurídico de zoneamento, que busca construir uma gestão do espaço geográfico e a utilização do solo, estabelecendo regras de ocupação ou de restrição total ou parcial do território, de forma científica e sustentável.

Prosseguem Rech e Rech (2018, p. 88) que “as restrições totais de ocupação são feitas pelo zoneamento ambiental, enquanto as restrições parciais são trabalhadas nos zoneamentos urbanístico e agrário”.

A Lei Federal nº 6.938/81 em seu art. 9º, institui o Zoneamento Ambiental. Válido o destaque que existem três gêneros de zoneamento, em que Rech e Rech (2018, p. 88) ensinam:

[...] o zoneamento ambiental, que tem duas naturezas: a de preservação total ou a de conservação das áreas; o zoneamento agrário, que define culturas prioritárias, manejo das mesmas e do solo, armazenamento e atividades inerentes; e o zoneamento urbanístico, que diz respeito à ocupação de caráter urbano, como moradias, serviços, indústria e equipamentos institucionais, como hospitais, escolas, creches, etc.

Após a compreensão do instrumento e suas espécies, verifica-se a relevância da realização do zoneamento agrário para um planejamento eficiente para as localidades adequadas para a produção da cana-de-açúcar, viabilizando uma produção mais sustentável. Frente a relevância da elaboração do zoneamento, Antunes (2023, p. 544) ensina que “assim como o licenciamento ambiental, o zoneamento é um importante instrumento institucional para a prevenção de danos

ambientais e de controle das atividades potencialmente poluidoras, sendo um instrumento da PNMA”.

O Zoneamento é um instrumento importante que pode identificar as condições de clima, da vegetação, do solo e quando possibilita estabelecer os critérios da produção, cuidar a biodiversidade e ter o destaque da sustentabilidade também nas regiões aptas e viáveis para receber a plantação da cana-de-açúcar.

No ano de 2009, via Decreto nº 6.961 foi criado o estudo do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar, conhecido como ZAE cana, com o objetivo de avaliar o potencial do território brasileiro para o cultivo da cana-de-açúcar. Neste período, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento criou um livreto que afirmava o objetivo de expandir a produção, preservar a vida e garantir o futuro.

O Ministério afirmava que além do Brasil possuir um histórico de bem-sucedido programa de substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, tinha muita terra para plantar, mencionando MAPA (2009, p. 2), “Hoje somos o maior produtor e exportador de açúcar do mundo e o segundo maior produtor de etanol, utilizando menos de 1% do território nacional”. Válido o destaque que, a área de cultivo de cana-de-açúcar citada, no ano de 2009 tinha equivalência de 7,8 milhões de hectares.

O documento ainda afirma que o Brasil, o país com a maior biodiversidade do planeta, conta com uma das maiores reservas de terras agricultáveis, com o auxílio do zoneamento tem condições de garantir uma harmonia entre a produção de alimentos, a energia, o etanol e o meio ambiente. Nesta toada, Cortez (2016) menciona os trabalhos conduzidos por André Nassar com o *Brazilian Land Use Model* (BLUM) e o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Marcelo Moreira e outros pesquisadores do AgroÍcone também colaboraram para o BLUM, assim como segue:

Figura 29 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: Manzatto, 2009, p. 29.

Ademais, O Zoneamento Agroecológico é um instrumento definido pela Política Agrícola (Lei nº 8.171 de 1991), no capítulo sobre Proteção ao Meio Ambiente e da Conservação dos Recursos Naturais, com o objetivo de estabelecer critérios para o disciplinamento e o ordenamento da ocupação espacial pelas diversas atividades produtivas. Além da cana-de-açúcar, o dendê é a outra cultura que já teve o seu Zoneamento Agroecológico elaborado. Importante ainda, a indicação do quadro resumo, formulado em 2009 pelo Ministério:

Figura 30 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil – Quadro resumo

TERRITÓRIO OU ÁREA ESTIMADA	MILHÕES (HA)	PERCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TERRITÓRIO NACIONAL
Território nacional (IBGE)	851,5	100%
Terras agricultáveis	553,5	65%
Terras em uso 2002 (Estimativa Probio)	235,5	27,70%
Áreas com restrição ambiental (incluindo os biomas Amazônia, Pantanal e Bacia do Paraguai)	694,1	81,50%
Áreas aptas ao cultivo / expansão sob usos agrícolas diversos	64,7	7,5%
Áreas aptas ao cultivo / expansão utilizadas com pastagens (alta e média aptidão)	34,2	4,02%
Área atualmente cultivada com cana-de-açúcar safra 2008/2009 ¹	7,8	0,90%
Expansão prevista até 2017 para a produção de cana-de-açúcar ² (EPE)	6,7	0,80%

Fonte: Manzatto, 2009, p. 6.

Válido o destaque das diretrizes do ZAE cana quando, da exclusão de áreas da vegetação nativa, bem como das áreas nos biomas Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, demonstrando preocupação com a preservação de áreas ambientais importantes, a indicação das áreas com potencial agrícola sem irrigação plena, frente a atenção com o consumo de água, indicação das áreas com declividade inferior a 12%, áreas que permitem o uso das máquinas na lavoura, evitando as queimadas, respeito a segurança alimentar, bem como a priorização de áreas degradadas ou de pastagem.

Além do zoneamento, o decreto determinou a adequação da produção de cana até 2017, proibindo a utilização do fogo em áreas mecanizáveis, aquelas acima de 150 hectares com declividade inferior a 12%, reduzindo a emissão de GEE. O levantamento do Ministério (2009, p. 54) ainda previa que com tal medida “O Brasil deixará de emitir ao ano uma quantidade de CO₂ semelhante à de aproximadamente 2,2 milhões de veículos leves”.

Ainda, o zoneamento orienta as políticas públicas e apesar de não proibir completamente a produção, impedia a concessão de financiamento público para o desenvolvimento da cana, inviabilizando a expansão da cultura sobre os biomas, por exemplo. Entretanto, o Decreto nº 6.961 de 2009, que implementou o Zoneamento Agroecológico de Cana-de-açúcar foi revogado pelo Decreto nº 10.084 de 2019.

A justificativa por parte do governo ao aprovar o decreto que revogou o zoneamento, foi de que a sustentabilidade da produção já é garantida por outros instrumentos legais, em contrapartida, numa entrevista concedida ao Jornal da USP em novembro de 2019, o Professor Marcos Buckeridge, diretor do Instituto de Biociências (IB) da USP e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (INCT do Bioetanol) afirmou se tratar de uma medida desnecessária e perigosa e acrescentou “plantar cana na Amazônia é não somente um erro, mas uma ação perigosa que pode levar à perda de biodiversidade e, no longo prazo, prejudicar toda a agricultura de larga escala no Brasil e na Argentina”. Antunes (2023, p. 547) reforça que “a administração federal, em concreto, emitiu um forte sinal de pouco compromisso com a proteção da Amazônia”.

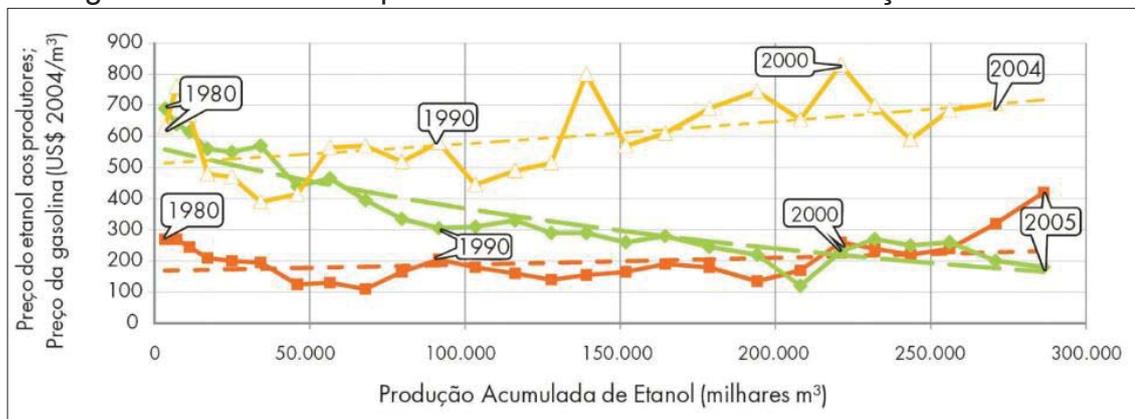
Verifica-se que com o instrumento do zoneamento foi possível perceber que o Brasil tem forte potencial para aumentar a produção da cana-de-açúcar sem afetar biomas preservados e sem impacto importante na produção de alimentos, elevando o status do etanol como um importante combustível renovável possível.

Dentre os pontos indicados da viabilidade do etanol, como todo o processo produtivo que deve levar em conta a sustentabilidade, ainda, válido destacar da logística necessária para o transporte do etanol. Cortez (2016, p. 131) menciona que “mesmo os caminhões utilizados no transporte de cana para as usinas, assim como os caminhões que transportam etanol das usinas para a refinaria e para os postos, não funcionam com o etanol combustível” então já há projetos no sentido de viabilizar o etanol para motores de grande porte, como exemplo, o Bioetanol para o Transporte Sustentável, coordenado por José Roberto Moreira, do CENBIO/USP, que não é o objetivo do estudo em questão, porém um importante passo para a proteção ambiental.

No ano de 2013 o etanol começou a ser transportado também pela modalidade hidroviária, via álcooldutos, Cortez (2016, p. 151) destaca que “o primeiro álcoolduto brasileiro ligando vários estados está sendo construído pela empresa Logum Logística, criada pela Petrobras em parceria com Cosan, Copersucar, Odebrecht, Camargo Corrêa e Uniduto”, com objetivo de ligar as regiões produtoras de etanol dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul ao principal ponto de armazenamento de distribuição, em Paulínia.

Após a análise dos aspectos relacionados ao processo produtivo da cana-de-açúcar, válido verificar das questões econômicas do etanol. Se tratando da viabilidade econômica do etanol, Cortez (2016, p. 92) afirma que “o aumento da escala de produção em vários mercados tende a diminuir os custos unitários, inclusive pela incorporação de novas tecnologias”, com viés do etanol como combustível substituto, o preço estará ligado ao mercado da gasolina. No ano de 2000 a diminuição dos custos do etanol, resulta no cruzamento de curvas de custo dos dois combustíveis. A figura abaixo demonstra a curva de aprendizado do etanol de cana-de-açúcar do Brasil:

Figura 31 - Curva de aprendizado do etanol de cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: Cortez, 2016, p. 93

Nesta toada, Cortez apud Goldemberg (2007) afirma que:

A curva correspondente a esse custo decrescente é a learning curve, ou curva de aprendizado, que mostra que no Brasil o etanol de cana-de-açúcar já não precisava mais de subsídios governamentais desde 2000, ano a partir do qual, ao contrário, o etanol de cana passou a “subsidiar” a gasolina por meio das misturas.

Então, válido o destaque de que o mercado tem variações de preços e essas alterações econômicas vão impactar diretamente aos combustíveis, porém como demonstra Cortez (2016) o etanol no ano de 2000 conseguiu ser economicamente viável sem os subsídios do governo.

Neste contexto, Cortez (2016, p. 101) afirma que “sustentabilidade do etanol de cana é um conceito que se apoia em três pilares: econômico, social e ambiental”. Verifica-se que no eixo econômico o etanol chegou ao patamar da sua viabilidade, quando nos anos 2000 foi destaque, mesmo sem a força dos subsídios, frente a uma

redução de preços, com aumento da produção e introdução de novas tecnologias. No social, tem-se projetos, como destacado anteriormente que buscam reduzir os impactos do desemprego e da melhora do viés trabalhista, por fim, no ambiental, a redução da emissão de GEE com a utilização do etanol como alternativa a gasolina.

Cortez (2016) destaca que o país conta ainda com um chamado por ele “modelo brasileiro” com diversos mecanismos com objetivo de regular a oferta e demanda de etanol combustível em diferentes níveis, dividindo os mecanismos em três, a flexibilidade I, II e III.

A flexibilidade I diz respeito ao melhoramento genético da cana-de-açúcar, visando aumentar o rendimento da sacarose por hectare, possibilitando a usina produzir mais açúcar quando o preço está em alta. As usinas brasileiras podem alterar de 40% a 60% da sua sacarose em açúcar ou etanol, dependendo da viabilidade do mercado (Cortez, 2016).

Na flexibilidade II, o Brasil produz dois tipos de etanol combustível, o hidratado e o anidro. Cortez (2016, p. 102) ensina que “o etanol hidratado (92% em massa) é para ser usado diretamente em veículos E100 e em veículos *flex-fuel*. O etanol anidro é que deve ser misturado à gasolina para formar o combustível E18-27, também conhecido como “gasolina C”. Então, quando há excedente de produção de etanol, além da redução de preços na bomba para o consumidor, o governo pode aumentar a proporção misturada à gasolina. Ainda frente a um problema com o armazenamento do etanol, essa forma pode regular o mercado, afastando a problemática de superprodução (Cortez, 2016).

No que tange a flexibilidade III, no país não há veículos que utilizam a gasolina pura desde 1970, então desde 1979, os veículos E100, também conhecidos como carros a álcool, foram introduzidos, exigindo duas bombas diferentes em cada posto de gasolina no Brasil. Então, desde março de 2003, o veículo *flex-fuel* foi introduzido pelos fabricantes de automóveis para dar ao consumidor brasileiro uma outra opção: usar qualquer proporção de etanol (E100) e gasolina C (E18-E27) (Cortez, 2016).

Na conjuntura da viabilidade econômica do etanol tem-se ainda a ótica dos consumidores, que se tratando do preço na bomba, (Cortez, 2016, p. 104) ensina que “quando o preço do etanol hidratado é inferior a 70% do preço da gasolina C, vale a pena usar o etanol hidratado (E100)”. A Empresa de Pesquisas Energéticas, na nota

técnica de demanda de energia dos veículos leves (2024, p. 6), indica que “[...] a gasolina C ainda é o principal combustível procurado pelos motoristas para o abastecimento de seus veículos.

Prossegue o relatório da EPE (2024, p. 6) que indica que a pesquisa realizada em 2022, entrevistou 3000 consumidores de todas as regiões brasileiras, com objetivo de identificar os fatores que determinam o processo de escolha do combustível a ser utilizado nos veículos *flex fuel*, demonstrando que “[...] 63,2% dos entrevistados apontaram que utilizam gasolina de modo mais frequente”. A pesquisa ainda indica que avaliando-se as regiões, Sul, Norte e Nordeste são as que mais optam pela gasolina, enquanto Sudeste, Centro-Oeste e cidades do interior do Sudeste são as que mais utilizam etanol, em relação à média nacional.

Para os usuários de gasolina, a percepção de que esse combustível dá mais autonomia ao veículo é o que leva quase metade (46,9%) dos usuários a escolhê-la. Em paralelo, 77% dos usuários que no momento da pesquisa abasteceram com gasolina responderam que o preço do etanol não é convidativo para que eles mudem sua escolha, percepção que pode estar conectada à avaliação da razão PE/PG (Nota Técnica EPE/DPG/SDB/2024).

A pesquisa ainda indica que dentre os usuários que abasteceram com etanol, 77,7% afirmaram fazê-lo com base no critério de preço. Cerca de 70% dos entrevistados identificaram que a gasolina tem maior rendimento que o etanol, no entanto 60% afirmam não conhecer a relação de 70% do preço do etanol em relação ao preço da gasolina para avaliar quando é financeiramente vantajoso abastecer com etanol (Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024).

Pela perspectiva ambiental, aproximadamente 60% dos entrevistados reconhecem o etanol como um combustível que gera menor impacto ambiental, contudo 74% não consideram esse aspecto no momento de abastecer o veículo. Até mesmo entre os consumidores que abastecem com etanol, o fator ambiental é levado em conta por apenas 4,4% dos usuários (Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024).

A pesquisa ainda faz um comparativo do prisma dos consumidores quanto a compra de veículos *flex*, híbridos e elétricos, resultados que serão analisados no próximo capítulo do estudo.

Verifica-se a relevância das políticas públicas para a utilização do etanol, sendo que o governo brasileiro pode utilizar-se de ferramentas legislativas e econômicas para viabilizar a alternativa do combustível para o consumidor final e em contrapartida proteger o meio ambiente, reduzindo os impactos ambientais.

Diante da pesquisa do EPE, é possível perceber que além do preço final na bomba, para viabilizar a utilização do etanol, o governo brasileiro deve se preocupar com ferramentas de educação, demonstrando para o consumidor os benefícios ambientais do etanol, bem como, os aspectos relevantes de economia e eficiência, para que o consumidor não escolha ainda pela gasolina por pura desinformação.

Apesar das viabilidades do etanol, da possibilidade da utilização como um combustível mais sustentável, conforme mencionado anteriormente, verifica-se uma crise no setor, levada por fatores internos e externos, porém relevante compreender algumas nuances desses problemas. Cortez (2016) indica que a longa crise do setor se dá por conta de quatro principais pontos, são eles: a) Petróleo; b) Diminuição da ênfase internacional sobre os biocombustíveis; c) Falta de políticas consistentes no planejamento energético nacional e em específico de apoio aos biocombustíveis; d) Clima e baixa produtividade.

No que tange ao petróleo, em 2007 quando o governo federal anuncia o pré-sal, prioriza o petróleo frente a outras fontes renováveis, na redução da ênfase internacional dos biocombustíveis, verifica-se frente a uma onda de notícias, inclusive de revistas científicas com preocupações da produção de biocombustíveis competindo com alimentos, bem como, nas dúvidas sobre o impacto na redução de GEE, ainda, tem-se as dificuldades na produção e as divergências quanto a áreas agrícolas disponíveis para a produção (Cortez, 2016)

Também se tem a ausência de políticas públicas consistentes, com dificuldades no planejamento energético, que seja eficiente a médio e longo prazo, bem como, a ausência de uma política fiscal eficiente. Nesta toada, Cortez (2016, p 188) cita o exemplo de 2008 até 2014, quando “foi a suspensão da Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (CIDE) da gasolina, o que na prática se caracterizou como um estímulo ao consumo excessivo de gasolina importada em detrimento do etanol produzido nacionalmente”.

Por fim, questões relacionadas ao clima e a produtividade, quando a falta do planejamento associada a questões de variações climáticas, causam impacto significativo na produção da cana-de-açúcar.

Válido destacar que as ações governamentais refletem na iniciativa privada e ao consumidor, então quando o governo não realiza um planejamento sólido para o setor das energias, deixa uma lacuna para as variações de preços e a instabilidade do setor. O pré-sal não excluiu a possibilidade do etanol e a sua viabilidade, entretanto, se deve equilibrar os investimentos e avaliar a matriz energética a longo prazo.

Cortez (2016, p. 189) destaca que após o Proálcool, levando em conta os quarenta anos seguintes, é possível identificar três grandes saltos do etanol, no primeiro

[...] De 1975/1976 a 1985/1986, com a produção de cana aumentando de 68 milhões TCS para 223 milhões TCS, devido ao aumento de demanda de etanol no mercado interno (de 550 milhões para perto de 12 bilhões de litros, devido à implantação do Proálcool).

Com o grande aumento da produção de cana-de-açúcar, gerou demanda para novas usinas, novos equipamentos, então o desenvolvimento de tecnologias. No segundo salto, indicado por Cortez (2016, p. 190) “com a produção de 218 milhões TCS em 1993/1994 se elevando para 320 milhões TCS em 2002/2003, devido ao aumento de produção de açúcar de 9 milhões para 23 milhões de toneladas destinadas ao mercado de exportação. Então, no terceiro salto, de 2002/2003, Cortez (2016, p. 190) afirma “decorrente do aumento da produção de etanol destinada ao mercado interno devido principalmente à introdução dos veículos *flex* (de 12 bilhões em 2002/2003 para 30,4 bilhões de litros em 2015/2016)”

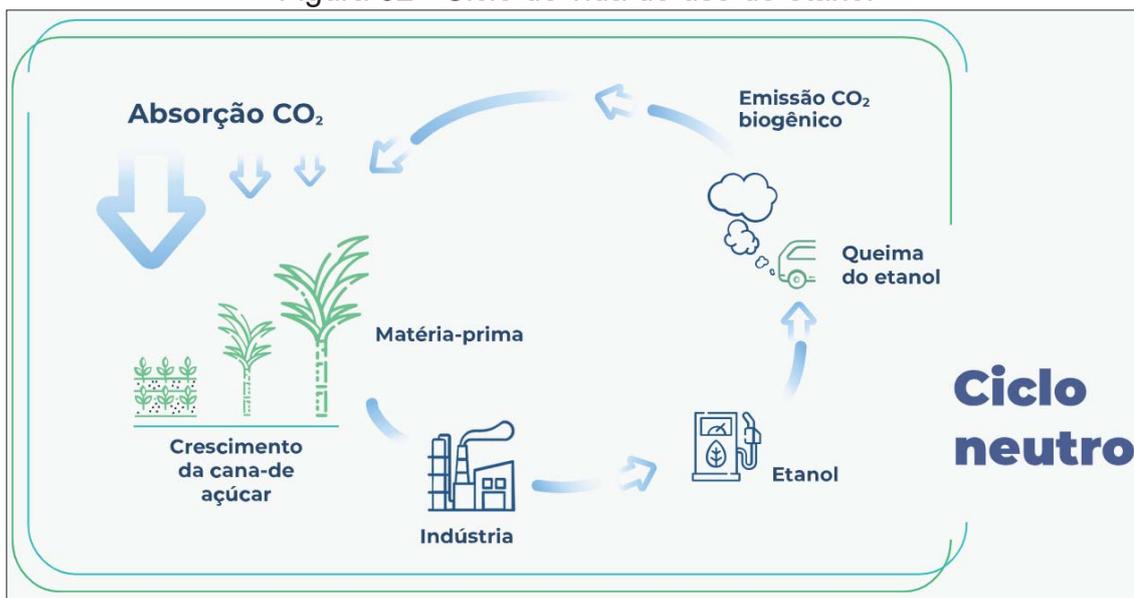
O Proálcool foi relevante no cenário brasileiro, refletiu mudanças no contexto dos combustíveis automotivos, entretanto, frente a problemas com planejamento das energias, perdeu força, por vezes, esquecido.

Silva (2010, p. 99) destaca que a alternativa de combustível para o futuro mais viável é da cana-de-açúcar, em função de duas razões relevantes, “é uma solução eminentemente brasileira, na qual nosso país é pioneiro e líder mundial, e as outras

alternativas de biocombustíveis não se comparam com o bioetanol em volume de produção atual ou possibilidades futuras”.

Após analisar diversos aspectos do uso do etanol, válido o destaque do ciclo de vida, visto que é necessário avaliar toda a cadeia produtiva do combustível para compreender a sua eficiência ambiental. Neste contexto, a UNICA apresenta uma figura do ciclo do etanol:

Figura 32 - Ciclo de vida do uso do etanol



Fonte: <https://unica.com.br/nova-era-da-mobilidade/>, acesso em 23/01/2025.

A UNICA destaca que as emissões de carbono provenientes da queima dos biocombustíveis nos motores, como o etanol, são consideradas neutras em termos de impacto climático, pois o CO₂ lançado na atmosfera nesse processo é gerado a partir do ciclo biológico do carbono. Esse é o chamado “carbono biogênico” e se diferencia daquele gerado na queima do combustível fóssil, que envolve a ciclagem de longo prazo por meio de processos geológicos (ciclo geológico do carbono).

Então, verifica-se que frente a problemática global das mudanças climáticas e a importância dos reflexos dos GEE neste contexto, se faz necessário a avaliação de alternativas aos combustíveis fósseis, fonte de energia não renovável e com impacto no meio ambiente. Prossegue Goldemberg (2023, p. 123) que “o biocombustível também pode ser uma solução, ainda que parcial, para o problema de substituição dos combustíveis fósseis.

Ademais, somente com apoio de políticas públicas e incentivos que é possível construir um setor de transportes, considerando os veículos leves menos poluentes, visto que, conforme citado anteriormente, já contamos com uma frota de automóveis *flex* que são bens duráveis e que não podem ser esquecidos. Nesta toada, Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 90) lecionam que:

[...] fator muito importante para acelerar o movimento: o apoio de governos mediante subsídios que podem acelerar a transformação (caso sejam dados para fontes renováveis) ou retardá-la (caso entregue a produtores de combustíveis fósseis”.

Fica claro que as ações governamentais devem estar alinhadas aos combustíveis renováveis, visto que não será possível uma matriz energética firmada na sustentabilidade, sem o aspecto do alinhamento das políticas públicas neste mesmo viés.

Válido o destaque que mesmo frente a relevante discussão sobre meio ambiente, no auge da subida de preços do petróleo, considerando os primeiros 15 anos do século XXI, o governo brasileiro, buscou manter preços da gasolina de forma artificial, alegando controle da inflação, privilegiando o setor do petróleo, desconsiderando o etanol como centro dos debates (Caldeira, Sekula e Schabib, 2020).

Goldemberg (2023, p. 123) destaca que “o aumento no uso dos automóveis parece ser inevitável, mas seu uso excessivo é um problema, não uma solução para a mobilidade urbana. O etanol é uma fonte de energia renovável, que tem potencial para ser uma alternativa de combustível sustentável, porém vem de uma estagnação por um longo período”. Ainda, verifica-se que frente as preocupações decorrentes do processo produtivo da cana-de-açúcar, já se conta com possibilidades que podem ser utilizadas para que todo o processo de produção e distribuição sejam realizados com o menor impacto ao meio ambiente, assim como citado anteriormente, realizando zoneamento ambiental, aproveitando os resíduos, dentre outros.

Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 90) afirmam que “[...] o etanol é o único combustível que concorre com o petróleo no setor dos transportes, mantendo seu mercado em qualquer lugar do planeta”. Sendo assim, verifica-se que o etanol tem potencial no cenário brasileiro para ser um forte substituto a gasolina, é um

combustível renovável e mais sustentável, entretanto as ações governamentais são essenciais para que esta opção ganhe força no mercado.

Desta forma, frente aos necessários incentivos para viabilidade do etanol, dentre as políticas públicas viáveis pode-se citar a tributação e a extrafiscalidade como ferramenta para a sustentabilidade, tema que será abordado no tópico seguinte do presente estudo.

3.3. A TRIBUTAÇÃO E A EXTRAFISCALIDADE COMO INSTRUMENTOS PARA A SUSTENTABILIDADE.

Após analisar os aspectos do Próalcool e da viabilidade do etanol como alternativa de combustível renovável e sustentável, verifica-se a necessária ação governamental para viabilizar o etanol, frente a essencialidade das políticas públicas alinhadas a proteção ambiental. Então, neste tópico se verifica a viabilidade da tributação e da extrafiscalidade como instrumento, moldurando condutas para a sustentabilidade.

Considerando esses instrumentos que o Estado pode utilizar para a proteção ambiental e o ordenamento jurídico brasileiro, válido o destaque dos ensinamentos de Pimenta (2019, p. 122):

Os instrumentos destinados à proteção ambiental são todos os mecanismos, regulados ou não pelo ordenamento jurídico, que se destinam a evitar a realização de comportamentos não favoráveis, reprimir comportamentos nocivos ou estimular a prática de condutas benéficas ao meio ambiente, por meio do uso da coação, do convencimento, ou da persuasão. Todos perseguem o mesmo fim: a tutela ambiental.

Os instrumentos podem ser divididos em duas classes, os instrumentos jurídicos e os instrumentos econômicos. Os instrumentos jurídicos são meios previstos pelo sistema jurídico de cada país para forçar a realização de determinada conduta, evitando ou reparando o dano provocado no meio ambiente. Aqui se tem uma atuação direta, pressionando o indivíduo para praticar uma conduta, podendo ser preventiva ou reparatória (Pimenta, 2019).

Se tratando de legislação, podemos destacar a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) que foi instituída pela Lei nº 13.576/2017. O RenovaBio

é a “regulamentação” do artigo 1º da Lei 9.478/1997. Dos objetivos da Renovabio pode-se destacar: (1) contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; (2) contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida; (3) promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e (4) contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis (Antunes, 2023).

Nos instrumentos econômicos, por sua vez, afirma Pimenta (2019, p. 122) que “consistem em incentivos financeiros para convencer alguém a não realizar uma conduta nociva ou a realizar uma conduta favorável ao meio ambiente, incidindo sobre o sistema de preços”. Aqui se tem um estímulo financeiro, sendo que o destinatário pode escolher se pratica ou não a conduta.

Nas modalidades de instrumentos econômicos pode-se citar as ajudas financeiras, os sistemas de consignação, as cargas, os sistemas de criação de mercado, e os tributos ambientais (Pimenta, 2019).

Pimenta (2019, p. 123) quando trata dos instrumentos econômicos, ainda destaca que:

Duas situações, então, podem surgir: é oferecida uma vantagem financeira para que o sujeito econômico não pratique mais uma atividade degradante, ou é imputado um ônus financeiro sobre determinada conduta, para que o agente a substitua por outra. Em qualquer dos casos, existe uma tentativa de persuadir, de convencer o agente econômico a atuar favoravelmente ao meio ambiente.

Considerando o setor de combustíveis, se dedica ao estudo da tributação como ferramenta, através da extrafiscalidade para priorizar condutas sustentáveis, considerando a utilização do etanol, frente a gasolina, assim como, do impacto da chegada da eletricidade no setor dos transportes.

Sendo assim, inicialmente, no texto constitucional, Constituição Federal de 1988 (CF/88) do art. 145 ao 162, no capítulo I que trata do Sistema Tributário Nacional,

é possível encontrar a regulamentação e a definição das diretrizes da tributação. O Código Tributário Nacional (CTN), por sua vez, Lei 5.172/1966, anterior a Constituição Federal, foi recepcionado com status de Lei Complementar (Novais, 2021).

No CTN se tem definido o conceito de tributo, em que o art. 3º determina que tributo é toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada. Nesta linha de conceituar tributo, Kfoury (2018, p. 98) ao citar Ruy Barbosa Nogueira, leciona que tributos:

São as receitas derivadas que o Estado recolhe do patrimônio dos indivíduos, baseados no seu poder fiscal (poder de tributar, às vezes consorciado com o poder de regular), mas disciplinado por normas de direito público que constituem o Direito Tributário.

Válido o destaque que multas não são tributos, embora sejam cobradas pelo Poder Público. Costa (2021, p. 143), inclusive ensina que tributo não possui caráter sancionatório. Ademais, importante a menção da conceituação Constitucional de Costa (2021. p. 142) quando leciona:

Tributo corresponde a uma relação jurídica existente entre Estado e contribuinte, uma vez implementada determinada situação fática prevista em lei como autorizadora dessa exigência, cujo objeto consiste numa prestação pecuniária, não revestida de caráter sancionatório, e disciplinada por regime jurídico próprio.

Após a compreensão do conceito de tributo, bem como, da base legal, que consta no art. 3º do CTN, importante o destaque das características e suas especificidades. Quando o conceito de tributo trata da prestação pecuniária, tem-se explícita a essência do tributo, sendo uma relação jurídica em que o credor (Fisco) pode exigir do devedor (contribuinte) uma prestação em dinheiro, exigida mediante lei (Costa, 2021).

No que tange a expressão em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, Novais (2021, p. 14) afirma que “o motivo para modalidade de tal pagamento ser realizado em moeda é bem simples, analisar a praticidade no momento dos gastos públicos”.

Referente a prestação ser compulsória, há uma obrigação, realizando o fato descrito na hipótese de incidência, previsto em lei. Esta compulsoriedade justamente

decorre da instituição por lei. Ainda, válido o destaque do art. 5º da CF/88 que assegura que ninguém será obrigado a fazer ou deixar de fazer alguma coisa senão em virtude de lei. Novais (2021, p. 18), faz considerações acerca da temática:

Na relação jurídico tributária, não haverá submissão às vontades das partes (obrigações “ex voluntate”), e sim aos imperativos da lei (obrigações “ex lege”), externando que seu pagamento não depende da intenção do contribuinte, e sim do interesse da arrecadação para a administração pública.

Importante o destaque que o tributo não constitui sanção por ato ilícito, Costa (2021, p.143) leciona que não possui caráter sancionatório - o que distingue da multa, outra modalidade de prestação pecuniária compulsória. Nesta senda, Novais (2021, p. 20) explica:

O dever de pagar tributos decorre da necessidade de manutenção da máquina pública e não pelo cometimento de ilegalidades. O pagamento de tributos não pode (ou não deveria) ser encarado como uma punição imposta ao particular, mas sim no sentimento maior de viver em coletividade e colaborar com os gastos da administração pública.

Relevante ainda o apontamento de Novais (2021), quando trata do tributo com uma visão de coletividade, sentimento de cooperação, como um ideal, afastando-se do sentimento de punição, nesta linha, no decorrer da explanação da temática, o tributo como ferramenta para proteção do meio ambiente, ganha destaque, visto que, moldurando a conduta do contribuinte, é possível buscar a proteção ambiental.

Por fim, outro ponto importante da análise no referido art. 3º do CTN, em que há a definição legal do conceito de tributo, é, da sua exigência, mediante atividade plenamente vinculada, em que, nas palavras de Costa (2021, p.143) “significa que não há discricionariedade deferida ao administrador tributário no exercício da atividade estatal de exigir tributos”. Novais (2021, p. 22) complementa:

O agente de fiscalização (geralmente auditores) terá, não apenas o poder de realizar a atividade de cobrança dos tributos, mas, sim, o denominado “poder-dever”, sob pena de responderem funcionalmente (art. 142, parágrafo único, do CTN).

Válido o destaque que quando se trata do tributo, estamos diante de um crédito tributário, que se caracteriza como a principal fonte de arrecadação dos cofres públicos e seu recolhimento será revertido em prol da coletividade, sendo assim, os

valores pertencem a essa coletividade e não ao gestor público, Novais (2021, p. 22) acrescenta que “basta a configuração do fato gerador para que o agente público atue, afastando a análise de conveniência ou oportunidade (discricionariedade) nessa relação”.

Após a compreensão das nuances do tributo, importante a reflexão acerca da tributação utilizada como meio para proteção do meio ambiente, visto que, é possível ter outras funções do tributo para além daquela clássica fiscalidade em que o objetivo da exigência é o abastecimento dos cofres públicos.

No que tange a possibilidade de que a ordem econômica busque um alinhamento, mesmo que tímido, com a política ambiental é uma temática que merece destaque. Montero (2013, p. 43) afirma que a “capacidade para conciliar desenvolvimento econômico a longo prazo e equilíbrio ambiental está sendo objeto de um debate profundo em diversos âmbitos do conhecimento”.

Ainda, a Constituição Federal, base do nosso sistema jurídico, além de conter um capítulo próprio para as questões ambientais, Título VIII, Capítulo VI, tem-se a temática no art. 225, tamanha sua relevância, assegura que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Válido o destaque que o constituinte brasileiro, no art. 170 da CF/88, estabeleceu expressamente a defesa do meio ambiente como um dos princípios que devem guiar e orientar a ordem econômica, assim se percebe a intenção do constituinte na tutela ambiental. Então, embora os dispositivos constitucionais não sejam específicos em determinar o uso da tributação voltado a essa matéria, não significa uma impossibilidade do tributo tutelar o meio ambiente, o que será abordado ao longo da análise (Pimenta, 2019).

Nesta toada, Lenza afirma (2020, p. 1496):

Compatibilizar meio ambiente e desenvolvimento significa considerar os problemas ambientais dentro de um processo contínuo de planejamento, atendendo-se adequadamente às exigências de ambos e observando-se as suas inter-relações particulares a cada contexto sociocultural, político, econômico e ecológico dentro de uma dimensão tempo/espço. Em outras

palavras, isto significa dizer que a política ambiental não deve constituir em obstáculo ao desenvolvimento.

Na sociedade, o tema tributação, por vezes é uma temática conflituosa, visto que há uma alta carga tributária e o contribuinte, não se sente atendido pelo Poder Público, de certa forma, aqui o tema ganha relevância, visto que o Estado, pode utilizar dessa ferramenta para proteger um bem tão valioso para a coletividade, por sua essencialidade, a natureza.

Claro, não se deve perder de vista a ideia de que a proteção do meio ambiente é um dever de todos, como sociedade, porém, em relação ao Estado, que utiliza dos tributos para arrecadar recursos para suas necessidades e para proporcionar os direitos fundamentais, constitucionalmente assegurados, é possível utilizar esta ferramenta para proteger este bem maior, o meio ambiente, visto que dele depende a qualidade de vida. Carrazza (2021, p. 608) ainda destaca que “também os instrumentos tributários podem e devem ser utilizados para fins de defesa do meio ambiente”.

Se tratando de tributação ambiental, relevante buscar um conceito de tributo ambiental para orientação do estudo, sendo assim, Pimenta (2013, p. 144) afirma:

[..] em sentido estrito, tributo ambiental é aquele que tem finalidade (fim) de estimular a realização de condutas de preservação do meio ambiente, no âmbito da prevenção, estruturando tais comportamentos. Para que esse desiderato seja alcançado, a norma tributária agrava determinado comportamento (poluidor), incentivando a realização de uma conduta que preserve o meio ambiente.

Prossegue Pimenta (2013, p. 144) acerca da finalidade da tributação ambiental, afirmando ser de “estimular a prática de comportamentos benéficos para o meio ambiente ou desestimular a realização de condutas que o degradam”. Montero (2013) quando trata do conceito de tributação ambiental, distingue tributos ambientais em amplos e estritos. Explica-se. Nos tributos ambientais em sentido amplo, ou também chamado de sentido impróprio, temos que a finalidade é predominantemente arrecadadora e em alguns traços se verifica o caráter ecológico. Na tributação ordinária, há elementos ambientais de caráter extrafiscal.

Nesta senda, Montero (2013, p. 187) acrescenta que na “tributação ambiental em sentido amplo teremos o uso de técnicas fiscais – incentivos e benefícios fiscais – para estimular a proteção ambiental, e os tributos ordinários que de maneira

secundária ou indireta contemplam problemas de caráter ambiental”. É possível afirmar que aqui se tem o tributo tradicional, adaptado ao esforço da proteção ambiental. Se tratando do sentido estrito do conceito de tributação ambiental, ou também chamados de sentido próprio, se tem uma eficácia (des)incentivadora, se faz necessário um vínculo entre a estrutura do tributo e o impacto causado ao meio ambiente. A finalidade aqui será extrafiscal.

Acrescenta Montero (2013, p. 183) que os “tributos ambientais são instrumentos jurídico-econômicos que permitem orientar as condutas dos diversos agentes econômicos de forma que o seu impacto no meio ambiente seja realizado de maneira sustentável”. Válido o destaque, que conforme mencionado anteriormente, tributo não é sanção por ato ilícito e se tratando de tributação ambiental, se segue na mesma linha.

Montero (2013, p. 206) ressalta que a “tributação ambiental deverá ser utilizada no âmbito das atividades lícitas como orientadora dessas atividades, mas nunca poderá ter caráter punitivo”. Pretende-se que o agente econômico tenha preferência por condutas ecológicas, reduzindo a produção e consumo de produtos poluidores. Quando se estiver diante de ilícitos que requerem sanção, tem-se a possibilidade das penas ou multas. Nesta toada, Gusmão (2006, p. 7) afirma:

Quando se pensa numa tributação ambiental é inevitável trazer à baila as atividades que efetivamente acarretam degradação ao meio ambiente num sentido de penalizar os que causam as agressões, pois essa é a maior preocupação mundial. No entanto, a questão da defesa e da preservação ambiental não se restringem a tão-só repressão de condutas degradantes. É nesse sentido que o tributo surge como forte aliado em prol da defesa ambiental.

Válido o destaque que apesar da possível tendência de “punir” o causador de danos ambientais, a discussão da tributação ambiental passa longe desta lógica. Neste contexto, se tratando da coletividade e no retorno de benefícios para sociedade, considerando a tributação, válido o destaque dos ensinamentos de Scaff (2015, p. 20):

Os tributos, em função de sua própria natureza, devem exercer uma finalidade eminentemente voltada ao bem comum, podendo ser otimizada sua utilização como instrumento de implementação das políticas de proteção ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável.

Avança Scaff (2015, p. 20) que o “direito tributário e o direito financeiro são também lócus adequado para a implementação de políticas públicas de diversas naturezas, sendo a política ambiental apenas mais uma dessas”. Nesta conjuntura, válida a análise, também, dos objetivos da tributação ambiental, já que não é sanção e não tem a intenção de punir o agente e sim de moldurar condutas visando a proteção do meio ambiente, nesta senda, Montero (2013, p. 207) destaca:

O objetivo dos tributos ambientais não é impedir nem obstaculizar os processos de produção. Sua finalidade não é atingir uma contaminação de nível zero – o que seria utópico num mundo industrializado como o nosso –, mas procurar uma sustentabilidade ambiental, com índices de poluição aceitáveis e um uso racional dos recursos naturais, propiciando dessa forma uma eficiente incidência humana sobre o meio ambiente.

Então, de certa forma é possível a afirmação que na tributação ambiental se busca a educação ambiental dos indivíduos, incentivando determinadas condutas consideradas mais adequadas, reduzindo a poluição e protegendo a natureza (Monteiro, 2013).

Nesta senda, o direito tributário pode e deve cumprir este papel social, buscando regular as condutas e atendendo-se do potencial que tem para assegurar direitos essenciais da coletividade, assim como da proteção do meio ambiente, tema em debate. Carrazza (2021, p.608) ainda leciona que:

Lembramos que atividade financeira – dentro da qual se insere a tributária – não é um fim em si mesma. Neste sentido, é meramente instrumental, já que dá ao Estado os meios pecuniários de que necessita para atingir os fins que lhe são apontados pela Constituição (prover a educação, a cultura, o lazer; melhorar a saúde da população, dar-lhe segurança, presta-lhe serviços públicos etc).

Se tratando de impostos, por exemplo, no Brasil, não há nenhum tributo desta modalidade voltado a proteção ambiental, importante o destaque que diante da complexidade do sistema tributário e da elevada carga tributária, o objetivo do estudo é tecer comentários na ótica da extrafiscalidade (Scaff, 2015).

Válida a indicação que os recursos que o Estado utiliza para proteção ambiental, em grande parte dependem das prioridades dos governantes, visto que são oriundos de impostos que custeiam as despesas gerais, Gusmão (2006, p. 7) afirma:

Os recursos hoje destinados ao meio-ambiente são insuficientes a custear as atividades de defesa ecológica. A receita orçamentária advém, em grande parte, dos tributos e contribuições. No caso específico da área ambiental, os recursos orçamentários dirigidos ao Ministério do Meio Ambiente são, originalmente, oriundos dos impostos, que custeiam as atividades gerais do Estado. Assim, os recursos destinados ao meio ambiente ficam sujeitos à política governamental que estabelece a prioridade de sua atuação. A decisão de onde gastar é primordialmente política. O governante elabora um plano de ação, demonstra-o nas leis orçamentárias, indica as fontes de seu atendimento e realiza a despesa. O plano de gastos é produto das convicções ideológicas, religiosas, políticas e sociais do grupo que detém o poder.

Então, considerando que a destinação dos valores arrecadados por meio de tributos, em grande parte, não tem vínculo específico, dependendo das ações governamentais, fruto das convicções dos governantes, relevante verificar, no que tange aos combustíveis, se a proteção ambiental tem entrado em jogo, visto que para consolidar um plano energético sustentável sólido, é necessário o desenvolvimento de políticas públicas eficientes e com objetivos a longo prazo.

Sendo assim, na temática da tributação ambiental em si, nas palavras de Scaff (2015, p. 21) no Brasil, “os tributos são utilizados como meio extrafiscal de implementação de políticas públicas ambientais”. Ademais, Gusmão (2006, p. 10) afirma:

No ordenamento jurídico brasileiro, não há mais como negar a tributação ambiental. São vários os dispositivos constitucionais que permitem a imposição tributária voltada, em algum aspecto, ao meio ambiente. Não se discutirá, portanto, se deve ou não existir uma tributação ambiental. O debate a ser enfrentado é como ampliar a proteção do meio ambiente por uma via sistematizada dos tributos, considerando que se percebe a atual configuração tributária ambiental como pontual.

Então, após a compreensão da essencialidade do Direito Tributário na dinâmica da proteção ambiental, válido o destaque de alguns exemplos práticos. Importante o destaque que ao todo são cinco tipos de tributos: impostos, taxas, contribuições de melhoria, empréstimos compulsórios e contribuições especiais.

Scaff (2015, p. 21) afirma que “o principal imposto utilizado com finalidades extrafiscais ambientais é o IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados, para o qual se aplica alíquotas maiores quanto mais poluente for a atividade desenvolvida pela empresa”. Nesta toada, Carrazza (2021) acrescenta que se tratando de IPI, também poderia que este tributasse minimamente (ou deixasse de fazê-lo) a comercialização

de produtos industrializados ecologicamente corretos, como automóveis elétricos, ônibus movido a gás, caminhões com catalisadores eficientes, dentre outros.

O ICMS também pode ser indicado como exemplo, de que é possível privilegiar a comercialização de produtos agrícolas cultivados sem a utilização de agrotóxicos, assim como, as baterias renováveis. Ademais, Carraza (2021) indica que o IPVA, de igual modo, pode favorecer contribuintes proprietários de veículos elétricos, visto a redução de poluentes. Scaff (2015) leciona que o ITR – Imposto territorial rural também poderia ser utilizado, com abatimento de valores de florestas plantadas, ou até mesmo o II – Imposto de Importação, quando, utiliza de uma tributação mais ou menos onerosa, conforme o objetivo ambiental almejado.

Neste contexto, Scaff (2015, p. 22) tece considerações acerca do IPTU – Imposto sobre a propriedade territorial urbana:

Ainda no âmbito dos impostos, deve-se destacar o papel que cumpre o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU na implementação do meio ambiente urbano. Trata-se de imposto cobrado pelos Municípios e que possui duas formas de incidência: a fiscal, com cunho eminentemente arrecadatório; e a extrafiscal, caracterizada pela progressividade no tempo, e que visa a implementação da função social da propriedade urbana.

Ainda, Nascimento (2015) afirma que há duas possibilidades de utilização para proteção do meio ambiente, uma direta e outra indireta. Na direta há a efetiva arrecadação dos valores, considerando aqui a característica fiscal do tributo, e, a partir disso, a destinação dos recursos para tutela ambiental. Na indireta, há os incentivos fiscais, para desenvolver no contribuinte uma conduta favorável ao desenvolvimento ambiental, preponderando uma característica extrafiscal.

Válido o destaque que nas contribuições, é possível citar a CIDE - Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico, uma de suas incidências é sobre as atividades de importação ou de comercialização de petróleo, gás e seus derivados, e álcool combustível, o produto de seu recolhimento, deve ser utilizado também para financiamento de projetos ambientais. No que tange as taxas, há diversas possibilidades, como aquelas destinadas ao IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, que é o órgão federal incumbido da gestão ambiental no Brasil. As isenções, poderiam também prestigiar aquelas condutas favoráveis a proteção ambiental (Scaff, 2015).

Importante ressaltar que apontados breves exemplos de possíveis tributos que podem ser ferramentas para a proteção do meio ambiente, não será aprofundado por não se tratar do objetivo da presente pesquisa.

Prosseguindo o estudo, no que tange a tributação, Costa (2021) explica a diferença dos conceitos de fiscalidade, extrafiscalidade e parafiscalidade, conceitos importantes para compreender a ferramenta da extrafiscalidade para a sustentabilidade.

Na fiscalidade se tem a clássica exigência do Estado de arrecadação de valores para abastecimento dos cofres públicos, na extrafiscalidade, há o emprego de instrumentos tributários para o atingimento de finalidades não arrecadatórias, mas sim, incentivadoras ou inibidoras de comportamentos, e, por fim, na parafiscalidade a delegação, pela pessoa política, por meio de lei, de sua capacidade tributária ativa, trata-se das aptidões de arrecadar e fiscalizar a exigência de tributos a outra pessoa, de direito público ou privado (Costa, 2021)

O presente estudo se dedica a utilização da extrafiscalidade como instrumento de modulação de conduta da coletividade, priorizando formas de mitigar o impacto ambiental, especificadamente tratando dos combustíveis automotivos. Nesta senda, Caliendo (2019, p. 347) leciona que a “tributação extrafiscal tem sido compreendida como um instrumento de reforma social ou de desenvolvimento econômico; redistribuindo renda ou intervindo na economia”. Na constituição, no CTN ou nas normas gerais de Direito Tributário não é possível encontrar um conceito legal ou constitucional explícito. Neste ponto Caliendo (2019, p. 349) tece críticas:

Tal situação implica aumento de incerteza sobre este conceito, bem como na insegurança sobre a sua utilização abusiva ou insuficiente. Na ausência de delimitação constitucional, clara a preferência do intérprete deve estar na prevalência da esfera da liberdade sobre a esfera da intervenção, bem como na proteção contra as normas que exijam sacrifícios indevidos.

Considerando um conceito mais restritivo, Caliendo (2019, p. 349) afirma que a “extrafiscalidade é compreendida como um fenômeno que se refere às normas jurídicas que autorizam competência tributária ordenadora, interventiva ou redistributiva”, em contrapartida, no conceito ampliado, Caliendo (2019, p. 349) define a extrafiscalidade como “a dimensão finalista do tributo incorporando os efeitos extrafiscais das normas tributárias na própria natureza dos tributos”.

Destaca Caliendo (2019, p. 349) que a CF/88 optou claramente por uma interpretação restritiva deste conceito, visto que a concepção ampla permitiria ao Estado agir além dos limites constitucionais. Nesta toada, Costa (2021, p. 84), conceitua a extrafiscalidade quando afirma que:

A extrafiscalidade, por sua vez, consiste no emprego de instrumentos tributários para o atingimento de finalidades não arrecadatórias, mas, sim, incentivadoras ou inibitórias de comportamentos, com vista à realização de outros valores, constitucionalmente contemplados.

Acrescenta Montero (2013, p. 179) que:

Através da denominada extrafiscalidade o Estado passa a utilizar o tributo como um instrumento de regulação que lhe permite intervir na direção da atividade econômica com o intuito de alcançar determinados objetivos almejados pela sociedade.

Ainda, Montero (2013, p. 179) prossegue a explicação do conceito, citando José Marcos Domingues de Oliveira e afirma:

[...] a denominada tributação extrafiscal é aquela dirigida a fins outros que não a captação de dinheiro para o Erário, tais como a redistribuição da renda e da terra, a defesa da indústria nacional, a orientação dos investimentos para setores produtivos ou mais adequados ao interesse público, a promoção do desenvolvimento regional ou setorial etc.

Neste contexto, Novais (2021, p. 34) acrescenta que a finalidade extrafiscal detém exatamente o poder de possibilitar o uso dos tributos como mecanismo de ingerência dos entes políticos na proteção econômica e social. A finalidade é proteger. Verifica-se que a extrafiscalidade é um conceito amplo, que guiado pelos valores constitucionais, pode contemplar vários instrumentos. Nesta senda, Costa (2021, p. 84) cita exemplos, como as técnicas de progressividade e da regressividade, a seletividade de alíquotas e a concessão de isenção, dentre outros incentivos fiscais.

Ainda, Costa (2019, p. 84) afirma que a extrafiscalidade aproxima-se da noção de poder de polícia, em que, nas palavras da jurista, “tanto a polícia administrativa quanto a extrafiscalidade, por meio de instrumentos distintos, definidos em lei, buscam moldar as condutas particulares, para que se afinem aos objetivos de interesse público”. Então, tanto no poder de polícia como na extrafiscalidade há uma limitação dos exercícios individuais em prol da coletividade, considerando o princípio da

supremacia do interesse coletivo sobre o individual, com o objetivo de impedir condutas individuais que afrontam o interesse público.

Nesta conjuntura, após a análise da conceituação, válido pontuar os elementos caracterizadores da extrafiscalidade, em que Caliendo (2019, p. 350) aponta três elementos, “o fim constitucional pretendido, o meio utilizado e a técnica adotada”.

No fim constitucional, a finalidade deve ser constitucional, não necessariamente o recurso ou a técnica utilizada, sendo assim, tratando-se da extrafiscalidade ambiental os objetivos serão um meio ambiente ecologicamente equilibrado, previsão constitucional, no art. 227 da CF, conforme citado anteriormente. O meio utilizado, ocorre pela ordenação, na intervenção ou redistribuição de renda. Na ordenação, a tributação busca uma adequação de comportamentos, mediante normas objetivas do ordenamento jurídico, em contrapartida, a intervenção há mecanismos indutores ou desestimuladores de comportamentos de agentes econômicos, e, por fim, na redistribuição de renda, como o nome sugere, temos a transferência fiscal de recursos entre os indivíduos (Caliendo, 2019).

No que tange as definições dos meios utilizados, Caliendo (2019, p. 351) destaca:

Podemos afirmar que enquanto os meios ordinatórios querem preservar e manter a ordem constitucional, os meios interventivos pretendem corrigir determinadas falhas de mercado e os meios redistributivos visam à reforma social, corrigindo as falhas sociais.

Na técnica adotada, último elemento apontado, são os instrumentos normativos, vinculados aos meios e aos fins constitucionais pretendidos. Caliendo (2019, p. 352) afirma que “o instrumento técnico permitirá a indução de determinados comportamentos tornando a carga fiscal menor ou desincentivando tornando-a mais gravosa”.

Montero (2013, p. 180) salienta que “se entende que as duas finalidades – fiscal e extrafiscal – não são antagônicas; na verdade, as duas aparecem em maior ou menor medida em todos os tributos”, sendo assim, é possível considerar duas faces da mesma moeda, que são complementos variáveis dos tributos. Se tratando das finalidades dos tributos aqui diferenciadas, Novais (2021, p. 34) ensina:

A separação entre finalidades fiscal e extrafiscal não deve ser vista em caráter absoluto, pois todas as espécies tributárias comportam a existência de ambos os fins. Essa separação apenas objetiva demonstrar que, em algumas situações, ocorrerá a prevalência de uma finalidade em detrimento da outra. Isso, contudo, não significa a ausência absoluta de uma delas. Existem espécies tributárias que detêm maior finalidade fiscal (arrecadar) do que extrafiscal (proteger) e, em outras, ocorrerá o inverso.

Nesta toada, Caliendo (2019, p. 352) acrescenta:

Cabe diferenciar a existência de tributos com finalidades extrafiscais dos efeitos extrafiscais dos tributos, visto que são temas diversos. Todos os tributos possuem efeitos fiscais e extrafiscais, visto que da imposição tributária sempre decorrerá um efeito (externalidade) positivo (incentivadora) ou negativo (desincentivadora) sobre a ordem econômica e social.

No que tange a finalidade extrafiscal, é possível mencionar exemplos, como IOF, o IPI, o II e o IE, que regulam determinado setor econômico. O IOF focado ao mercado econômico, o IPI da indústria e II e IE ao comércio exterior. Impostos estes que não tem natureza extrafiscal e sim finalidade estrutural extrafiscal. Caliendo (2019, p. 357) ainda destaca que:

Os tributos, igualmente, não possuem natureza fiscal ou extrafiscal, estas são funções do tributo, ou seja, instrumentalizações que a ordem constitucional admite para que determinada imposição fiscal busque precipuamente recursos públicos para o financiamento de direitos fundamentais ou a promoção desses, mediante a indução de condutas.

Igualmente relevante a verificação dos planos de análise, em que Caliendo (2019, p. 352) aponta como economia pública, política tributária, direito tributário e técnica fiscal e prossegue diferenciando cada dimensão:

A economia pública se preocupará especialmente com os efeitos fiscais das normas tributárias sobre criação, distribuição e redistribuição de bens. A política tributária verificará quais são as finalidades constitucionais e como encontrar mecanismos para alcançar essas finalidades. Ao direito tributário caberá o estudo das normas de competência extrafiscal, enquanto a técnica fiscal questionará sobre os eficientes mecanismos indutores, redistributivos ou ordenadores do bem-estar social.

O art. 174 da CF determina um regime constitucional para as normas indutoras, inclusive para extrafiscalidade, prevendo, exigência formal de lei autorizativa (elemento formal); eficácia geral indicativa (eficácia limitada); atividade administrativo-normativa vinculada ao elemento formal e a eficácia restrita; e

valorização constitucional axiológica da iniciativa privada como fundamento da ordem econômica (Caliendo, 2019).

Neste ponto, Caliendo (2019, p. 360) faz três observações importantes:

[...] não existe no sistema constitucional nacional uma cláusula geral autorizativa de instituição de tributos com finalidade extrafiscal, devendo esta atuação estar prevista em lei e possuir justificativa relevante para que supere a exigência de que a função estatal deva ser meramente indicativa;

- a atividade indutora do Estado na ordem econômica, inclusive por meio de tributos extrafiscais, é subsidiária à atuação privada, ou seja, acessória e auxiliar, sob pena de desvalorização dos preceitos básicos do ordenamento nacional;
- no caso de ponderação ou conflito entre a necessidade da atuação estatal e da livre iniciativa, deverá ser privilegiada a esfera privada de atuação dos agentes privados na ordem econômica, inclusive com o direito público subjetivo de não terem as suas escolhas formal ou substancialmente induzidas de forma indevida, por meio da extrafiscalidade.

Importante o destaque que a atribuição de normas de competência fiscal ou extrafiscal deve ocorrer de modo expresse, indicando uma vedação constitucional para uma autorização genérica à extrafiscalidade. A extrafiscalidade está conectada com diversos planos do conhecimento, desta maneira, é importante, conceituar, compreender e diferenciar.

No que tange aos benefícios de utilizar da extrafiscalidade, Carrazza (2021, p. 609) leciona:

[...] ao utilizar mecanismos da extrafiscalidade para estimular comportamentos (comissivos ou omissivos) dos contribuintes, o Estado quase sempre obtém vantagens maiores do que se previamente arrecadasse os tributos para, depois, aplica-los aos gastos públicos.

Então, percebe-se que além da extrafiscalidade ser um potencial instrumento para o meio ambiente, pode ser mais efetivo do que o poder público arrecadar os valores e depois destinar para determinada área. Sabe-se das burocracias e problemáticas envolvendo os gastos públicos, sendo assim, até atingir o objetivo final o caminho pode ser longo. Além disso, com a ferramenta tributária, com objetivo de incentivar ou desincentivar condutas é possível promover de certa forma uma educação ao contribuinte, visto que, mesmo que a escolha final seja motivada por um benefício econômico ou fiscal e pode-se alcançar uma conscientização ambiental, ao final o resultado contribuindo para sustentabilidade.

Prossegue Carrazza (2021, p. 609) com ressalva, “no sentido de que a extrafiscalidade é importante instrumento de efetivação de políticas públicas, porém, deve ser utilizada de modo razoável e proporcional, de maneira a não violar direitos fundamentais do contribuinte”. Ademais, Scaff (2015, p. 17) leciona sobre a extrafiscalidade no Brasil, afirmando que o conceito, “não é aplicado apenas para majorar a tributação, mas também para reduzi-la. E, em muitos casos, a finalidade não é arrecadar, mas induzir comportamentos econômicos voltados para o mercado”.

Se tratando de um sistema capitalista, afetar o bolso pode ser uma ferramenta eficaz para alcançar os objetivos almejados. Nesta senda, Marques apud Volochko (2014, p. 4):

A instituição de tributos eminentemente ambientais é tema de difícil enfrentamento pelos poderes constituídos, bem como pelos operadores de direito em geral, haja vista a grande rigidez dos princípios tributários existentes na legislação brasileira, aliada à grande carga tributária já existente. Quer-se dizer com isto que a solução não está em se aumentar a carga tributária, mas sim utilizar todos os mecanismos jurídicos, inclusive os tributários já existentes, a fim de auxiliar a promoção do enfrentamento da chamada ‘crise ecológica’. Talvez uma das maiores dificuldades resida no fato de que o direito ambiental, de certa forma, se encontre ‘preso’ a outros princípios da Constituição Federal (LGL\1988\3), o que dificulta a aplicação de seus próprios princípios com a amplitude necessária, restando os princípios ambientais preteridos em detrimento dos demais, principalmente daqueles já em vigor no Direito Tributário.

Válido o destaque que não é necessário que o Estado tenha “carta branca” para agir de forma descontrolada e sim que o tributo seja utilizado como ferramenta, respeitando a Constituição Federal, buscando um alinhamento das políticas ambientais com a ordem econômica. Nesta toada, Gusmão (2006, p. 6) acrescenta:

A mais recorrente contestação dá conta de que a carga tributária brasileira é uma das mais altas do mundo. Por isso, qualquer que seja a finalidade na tributação de determinada atividade econômica sempre há um caloroso debate em torno da sua legitimidade, a ser abordada mais adiante. Não é diferente com a atual tentativa de se estabelecer uma tributação ambiental.

Além disso, com a elevada carga tributária brasileira, conforme citado anteriormente, além do tema ser delicado, aumentar a cobrança talvez não seja o caminho mais adequado para buscar a proteção do meio ambiente, mas pensar no tributo como instrumento é relevante. No que tange a intervenção na economia, verifica-se que sem a participação do governo brasileiro neste cenário da política

energética, não é possível alcançar mudanças no setor dos transportes, sendo assim, a tributação pode ser um instrumento importante para moldurar condutas e buscar a sustentabilidade.

Após a análise das nuances do Próalcool, bem como, do etanol como alternativa de combustível renovável e sustentável, frente a problemática gerada pelo setor dos transportes, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas, percebe-se a importância das ações governamentais neste contexto.

Verifica-se que o etanol quando perdeu subsídios, foi “esquecido”, perdeu força no mercado e foi massivamente substituído pela gasolina, um combustível fóssil e poluente, então as políticas públicas devem estar atentas a política energética a longo prazo. Neste cenário, a extrafiscalidade pode ser um instrumento relevante, quando moldurando as condutas dos contribuintes pode operar de forma importante na proteção ambiental.

Ademais, o processo produtivo do etanol também pode ser privilegiado, viabilizando a produção da cana-de-açúcar, a produção do etanol, a logística e estimulando ações sustentáveis para toda a cadeia produtiva, visto que, além da redução dos impactos na emissão de GEE dos automóveis o processo de produção reduza os reflexos ambientais.

Sendo assim, após a análise do programa brasileiro do Pró-álcool, do etanol como alternativa de combustível, bem com o da tributação neste contexto, no próximo capítulo o estudo se volta para a legislação dos combustíveis, análise da chegada da tecnologia dos motores elétricos, neste contexto, assim como do comparativo do etanol versus a eletricidade.

4. DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL FRENTE A CHEGADA DOS MOTORES ELÉTRICOS CONSIDERANDO A PROTEÇÃO AMBIENTAL

Considerando a relevância do etanol como alternativa dos combustíveis fósseis, sob a ótica ambiental, neste capítulo, inicialmente, se tem por objetivo analisar os biocombustíveis e o histórico legislativo, posteriormente, o estudo avalia a chegada dos motores elétricos, neste contexto, e, ao final, a pesquisa propõe um comparativo do etanol versus a eletricidade, considerando o cenário brasileiro dos transportes.

4.1. LEGISLAÇÃO DOS BIOCMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NO BRASIL;

O etanol, ganhou força no cenário brasileiro frente a crise do petróleo e do desenvolvimento do Proálcool, assim como citado anteriormente, entretanto, percebe-se na definição da diretriz do programa que o objetivo principal decorreu de uma exigência de mercado e não necessariamente de uma preocupação ambiental.

Verifica-se que o final dos subsídios, a falta de álcool no mercado, gerando o desabastecimento e demais críticas, indicadas no capítulo anterior, levaram a um descrédito do etanol, fazendo com que perdesse força no cenário dos combustíveis automotivos. Então, em 2003 com a chegada dos veículos *flex*, o etanol ganha nova força e volta ao centro do debate nacional, visto que a inovação da tecnologia permitiu que o consumidor tivesse livre escolha na bomba, aumentando a sua credibilidade.

É possível perceber que a política energética brasileira até então não demonstrava preocupações com o meio ambiente, tratando dos combustíveis sob uma perspectiva de oferta e demanda de mercado. Nesta toada, Moreira (2021, p. 68) afirma que “a atual dependência de energia pela sociedade moderna relaciona-se principalmente com o uso de petróleo, que é destinado majoritariamente à produção de derivados (combustíveis líquidos, como gasolina, óleo diesel, querosene) para o setor de transportes.

A utilização intensiva dos combustíveis fósseis, que emite altas quantidades de gases de efeito estufa, que agrava as mudanças climáticas e o aquecimento global, assim como, a diminuição das reservas de petróleo mundiais, tem gerado uma preocupação global, essa situação além de gerar graves problemas ambientais, leva a uma instabilidade energética, preocupação na atualidade.

Neste contexto, frente a relevância do setor dos transportes, conforme demonstrado nos capítulos anteriores do presente estudo, entra em questão os biocombustíveis, que são combustíveis renováveis, produzidos a partir de produtos agrícolas, como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica, podendo ser utilizados isolados ou em misturas com outros combustíveis. Pode-se citar como exemplos de biocombustíveis, o biodiesel, o etanol, o metanol e o carvão vegetal (Lora e Venturini, 2012).

Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 155) explicam que:

A mitigação dos impactos atmosféricos do setor de transportes também pode ser obtida por meio do uso de combustíveis renováveis ou fontes alternativas de energia com menores taxas de emissão de resíduos atmosféricos, ou até mesmo nenhuma.

Voltando-se a base legal, o art. 6º inciso XXIV da Lei Federal no 9.478 de 1997, define o biocombustível como “substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Nesta toada, Goldemberg (2023, p. 130) ensina que:

Os usos modernos da biomassa, no entanto, oferecem uma gama de possibilidades muito maior para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, conter as emissões de gases do efeito estufa e promover o desenvolvimento econômico sustentável. Diversas tecnologias energéticas baseadas em biomassa, adequadas para aplicações de pequena e larga escala, estão disponíveis, incluindo gaseificação, sistemas combinados de geração de calor e energia (cogeração), metano de aterros sanitários, recuperação de energia de resíduos sólidos municipais ou biocombustíveis para o setor de transporte (etanol e biodiesel).

Lora e Venturini (2012, p. 31) lecionam que "os biocombustíveis são substitutos diretos e imediatos dos combustíveis líquidos empregados no transporte e podem ser facilmente integrados aos sistemas logísticos atualmente em operação." Neste contexto, Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 156) afirmam que “biocombustíveis compatíveis com óleo diesel e gasolina têm tido boa taxa de introdução no setor de transportes, puros ou misturados com os derivados de petróleo, principalmente por não exigir modificações significativas nos motores.

Verifica-se a relevância dos biocombustíveis no cenário energético, visto que, se trata de alternativa aos combustíveis fósseis, de fácil integração no sistema automotivo vigente. Prossegue Goldemberg (2023, p. 130) que:

O interesse recente pela energia de biomassa concentrou-se principalmente em aplicações que produzem combustíveis líquidos para o setor de transporte. Dadas as preocupações crescentes com os suprimentos globais de petróleo e a atual falta de diversidade nas opções de combustível disponíveis para o setor de transporte, tais combustíveis representam o uso mais valioso possível da energia de biomassa no momento.

Além disso, os biocombustíveis, sendo derivados de biomassa, oriundo de matéria orgânica, tem o benefício do ciclo fechado de carbono, em que Moreira (2021, p. 382) leciona:

Como vertente energética, a biomassa traz diversos benefícios para o meio ambiente, à medida que possui um ciclo fechado de carbono. O CO₂ liberado na queima de biomassa em processos termoquímicos é absorvido pela planta sob incidência solar durante a fotossíntese, formando glicose e liberando oxigênio.

Neste contexto, verifica-se que os biocombustíveis além do benefício de se tratar de uma fonte de energia renovável, tem-se basicamente uma compensação de CO₂, visto que, durante o processo de obtenção da matéria-prima, ou seja, na plantação, há captura de CO₂, que depois será liberado na queima, quando utilizado no veículo, por exemplo. Silva (2010, p. 101) ilustra de forma didática o processo do ciclo do biocombustível:

Figura 33 - Ciclo de vida do biocombustível



Fonte: Silva, 2010, p. 101.

Percebe-se que o biocombustível tem carbono neutro, visto que, no que tange o etanol, haverá captura do CO_2 durante a produção da cana-de-açúcar, apesar da emissão posterior de CO_2 pelo veículo. O etanol em questão, além de ser um combustível renovável e ter o ciclo fechado de carbono, ainda é menos poluente, assim como verificado anteriormente. Moreira (2021, p. 383) afirma que “o principal benefício ambiental do uso de etanol é que o dióxido de carbono produzido no processo foi antes removido da atmosfera pela cana-de-açúcar e, portanto, trata-se de uma reciclagem perfeita da molécula de carbono”.

Santos e Santos (2018, p. 313) trazem um contraponto importante dos biocombustíveis, quando explicam:

A renovabilidade dos recursos bioenergéticos não garante sua sustentabilidade: desmatar florestas nativas para alocar culturas produtoras de biomassa energética, ou obter biocombustíveis em processos que consomem grande quantidade de energia fóssil, possivelmente não seriam as melhores alternativas para estimular o uso de fontes renováveis, sob uma ótica sustentável.

Válido destacar que mesmo se tratando dos biocombustíveis, se faz necessário analisar o processo produtivo como um todo, visto que, a plantação em biomas protegidos, gerando impacto para a natureza, bem como, as queimadas, conflito com os alimentos e o consumo de água, são pontos sensíveis para a alternativa energética que merecem atenção. Neste sentido, a pesquisa científica, o zoneamento, bem como, o acompanhamento de todo o processamento da matéria prima é relevante para garantir o menor impacto ambiental, não somente no combustível final, mas em todo o processo de produção.

Na Lei Federal no 9.478 de 1997, supracitada, no art. 6º, inciso XXX tem-se a definição de etanol, como biocombustível líquido derivado de biomassa renovável, que tem como principal componente o álcool etílico, que pode ser utilizado, diretamente ou mediante alterações, em motores a combustão interna com ignição por centelha, em outras formas de geração de energia ou em indústria petroquímica, podendo ser obtido por rotas tecnológicas distintas, conforme especificado em regulamento.

Neste contexto, válida a análise da perspectiva histórica legislativa dos biocombustíveis, em especial do etanol, foco da presente pesquisa. O Brasil tem destaque no cenário mundial, quanto trata-se dos biocombustíveis, Santos (2013, p. 80) afirma que o país “foi pioneiro na introdução comercial do etanol em sua matriz energética. Inicialmente, o álcool etílico anidro foi adicionado à gasolina como oxigenante, tornando-se a mistura compulsória a partir de 1983”.

No ano de 1975 entra em cena o uso energético de óleos vegetais, gerando neste mesmo ano o Plano de Produção de Óleos Vegetais (Pró-óleo), com objetivo de gerar excedente de óleo vegetal, gerando uma redução de preços e fazer concorrência com os do Petróleo. O programa previa ainda, uma mistura de 30% de óleo vegetal no óleo diesel, com perspectiva futura de substituição total, porém acabou não ocorrendo. Ainda no mesmo ano é lançado o Pró-álcool que inclui o Brasil numa posição de destaque com o etanol como protagonista, entretanto, após diversos problemas, inclusive com a crise do abastecimento de 1989 o etanol perde força outra vez, mantendo-se até 2003 com a chegada da tecnologia *flex* (Santos, 2013).

No ano de 2003 se inicia os primeiros estudos para a criação da Política do Biodiesel, em 2004 é lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), no mesmo ano é criado o Selo Combustível Social, por meio do Decreto nº

5.5297, selo a ser concedido a produtores de biodiesel que promovam a inclusão social da agricultura familiar. Em 2005 a Lei nº 11.097 introduz o biodiesel na matriz energética brasileira, determinando a adição voluntária de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final até 2007, a partir de 2008, a adição de 2% se tornou obrigatória e, por fim, a mistura de 5% de biodiesel ao óleo diesel voluntária no período de 2008 até 2012, passando a ser compulsória a partir de 2013 (BEN, 2020).

Válido o destaque que a Resolução 02/2008 do CNPE aumentou o teor de mistura obrigatória para 3%, que passou a vigorar a partir do segundo semestre de 2008. O mesmo CNPE decidiu, em sua Resolução 02/2009, que o teor de mistura obrigatória a partir do segundo semestre de 2009 seria de 4%. Ao final, a Resolução 06/2009 antecipou a obrigatoriedade na mistura de 5% de biodiesel para 1 de janeiro de 2010.

Ainda, em 2010 se realizou o primeiro teste de voo nacional com bioquerosene de aviação. No ano de 2011 a ANP passou a regularizar e fiscalizar a produção de etanol, então em 2014 a Lei nº 13.033 que definiu teor de mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel de 6% a partir de julho de 2014, previu ainda a adição de 7% a partir de novembro de 2014 e anualmente alterando o percentual para 8%, 9% e 10%, sendo que posteriormente a Lei nº 14.993 de 2024 alterou a redação do art. 1º definindo novas adições que serão exploradas posteriormente (BEN, 2020)

Então, no ano de 2017, tem-se um marco regulatório importante com a instituição da Política Nacional de Biocombustíveis, chamada de Renovabio, pela Lei nº 13.576. O Renovabio é a regulamentação do art. 1º da Lei nº 9.478/1997 que dispõe sobre a Política Energética Nacional (Antunes, 2023).

O Art. 1º do Renovabio além de instituir a Política Nacional de Biocombustíveis, determina os objetivos da política, de contribuir para atender os compromissos do país no Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida, promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, bem como, contribuir com

previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.

A Renovabio busca ampliar a participação competitiva dos biocombustíveis baseando-se no estabelecimento de metas anuais de redução de intensidade de carbono (gCO₂/MJ) da matriz energética de transporte para um período mínimo de dez anos, na certificação de biocombustíveis e no Crédito de Descarbonização (CBIO). A EPE (2024) ainda afirma que a política reconhece a importância econômica, social e ambiental dos biocombustíveis, contribui para redução da intensidade de carbono da matriz de transportes brasileira, promove a expansão do uso dos biocombustíveis na matriz energética e assegura previsibilidade para o mercado.

Tamanho a relevância da temática dos biocombustíveis que a Emenda Constitucional nº 132 de 2023, inseriu o inciso VIII no §1º do art. 225 da CF/88 que determina manter regime fiscal favorecido para os biocombustíveis e para o hidrogênio de baixa emissão de carbono, na forma de lei complementar, a fim de assegurar-lhes tributação inferior à incidente sobre os combustíveis fósseis, capaz de garantir diferencial competitivo em relação a estes, especialmente em relação às contribuições de que tratam o art. 195, I, "b", IV e V, e o art. 239 e aos impostos a que se referem os arts. 155, II, e 156-A.

Neste contexto, Sarlet e Fensterseifer (2023, p. 398) afirmam que “a EC 123/2022 é um primeiro passo constitucional importante na concepção de uma ordem econômica que tenha por premissa a descarbonização progressiva e a neutralidade climática a ser alcançada no futuro”.

Em junho de 2024 entrou em vigor a Lei 14.902 que instituiu o Programa de Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover), sendo o sucessor de outros programas semelhantes, lançados desde 2010, como o Inovar-Auto no ano de 2012 e o Rota 2030 em 2018, que já estabeleciam metas que asseguravam os direcionamentos nacionais perante o setor. Dentre outros objetivos, o Programa mover determina a expansão da participação da indústria automotiva instalada no País, o estímulo à produção de novas tecnologias, a promoção do uso de biocombustíveis e de formas alternativas sustentáveis e limpas, aumentando os requisitos obrigatórios de sustentabilidade para os veículos comercializados. Entre as novidades está a medição das emissões de carbono "do poço-à-roda" e “do berço-ao-

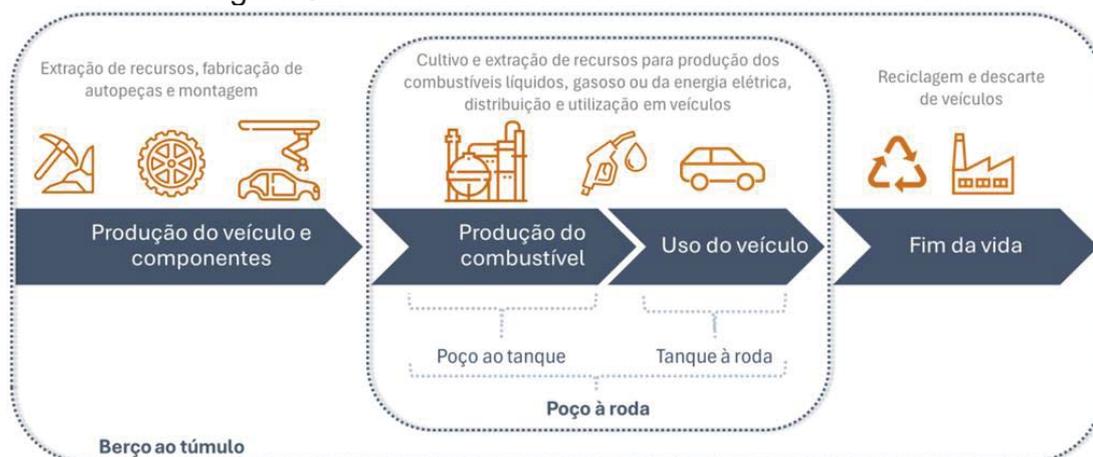
túmulo”, ou seja, considerando todo o ciclo de vida da fonte de energia utilizada como critério de eficiência energético-ambiental (EPE, 2024)

Ainda, o Programa Mover vai promover a expansão de investimentos em eficiência energética, incluir limites mínimos de reciclagem na fabricação dos veículos e cobrar menos imposto de quem polui menos, criando o IPI Verde. O sistema considera a chamada tributação verde, num sistema de recompensa e penalização na cobrança do IPI, levando em conta, a fonte de energia para propulsão, o consumo energético, a potência do motor, a reciclabilidade, bem como, o desempenho estrutural e tecnologias assistivas à direção.

Em linha com a promoção do uso de biocombustíveis, também avança o Programa Combustível do Futuro. A Lei nº 14.993 do Combustível do Futuro, sancionada pelo Presidente Luís Inácio Lula da Silva no dia 08 de outubro de 2024, entra em vigor depois de inúmeras discussões envolvendo todo o setor político. Seu principal objetivo é a descarbonização da matriz de transportes nacional, criando diretrizes para biocombustíveis já produzidos localmente ou com elevado potencial de produção. Dentre outras medidas, o programa estimula uso do etanol nos veículos, além de aumentar a porcentagem de sua mistura na gasolina A, que poderá ser de 22% a 27%, podendo chegar a até 35% (BEN, 2023)

A legislação supracitada, também traz novos percentuais de mistura ao biodiesel, que deverá ser adicionado ao diesel de origem fóssil, além de programas de incentivo à produção de combustível sustentável de aviação (SAF – sustainable aviation fuel), diesel verde e biometano. Além disso, a legislação determina a avaliação do ciclo de vida do poço-à-roda até 2031, sendo expandida para o escopo do berço-ao-túmulo a partir de 2032, conforme figura 34 elaborada pelo EPE (2024) abaixo:

Figura 34 - Fronteiras de análise de ciclo de vida



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 19.

A EPE (2024) afirma que, enquanto o primeiro ciclo visa contabilizar as emissões de GEE oriundas dos processos de produção, distribuição e utilização dos combustíveis nos veículos, o segundo abrange as emissões do poço-à roda, acrescidas daquelas geradas desde a extração de recursos e na fabricação de autopeças, na montagem e no descarte dos veículos.

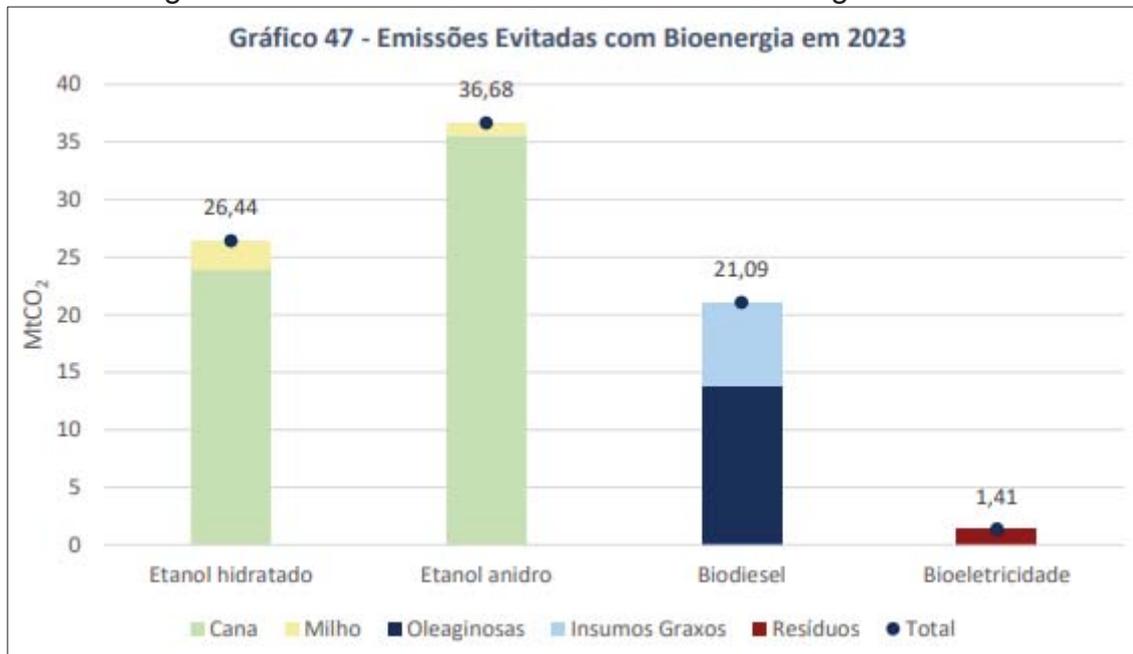
Por último, em dezembro de 2024, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) anunciou as metas e objetivos da Missão 5 da política Nova Indústria Brasil: dentre elas, consta a ampliação da participação dos biocombustíveis e veículos elétricos na matriz energética de transportes do país, visando atingir 27%, em 2026, e 50%, em 2033. De investimentos já anunciados no âmbito de tal política, R\$130 bilhões deverão ser destinados ao setor automotivo (BEN, 2023).

Então, após análise da base da legislação dos biocombustíveis, numa perspectiva histórica, válido indicar alguns dados da temática. A EPE lançou em 2023, a nota Técnica de Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, considerando base de dados de 2022, informando a situação dos combustíveis no cenário brasileiro, importante o destaque que a nota técnica de 2024 ainda não estava disponível para pesquisa no momento de elaboração do presente trabalho.

Com base na nota técnica indicada, a EPE (2023) evidencia um aumento das emissões evitadas em função do aumento da produção observada em 2023, redução de emissão de gases do efeito estufa diretamente relacionados com o uso dos

biocombustíveis. Importante ressaltar que os biocombustíveis fizeram com que o setor dos transportes apresentasse um perfil 22,50% mais renovável, conforme segue:

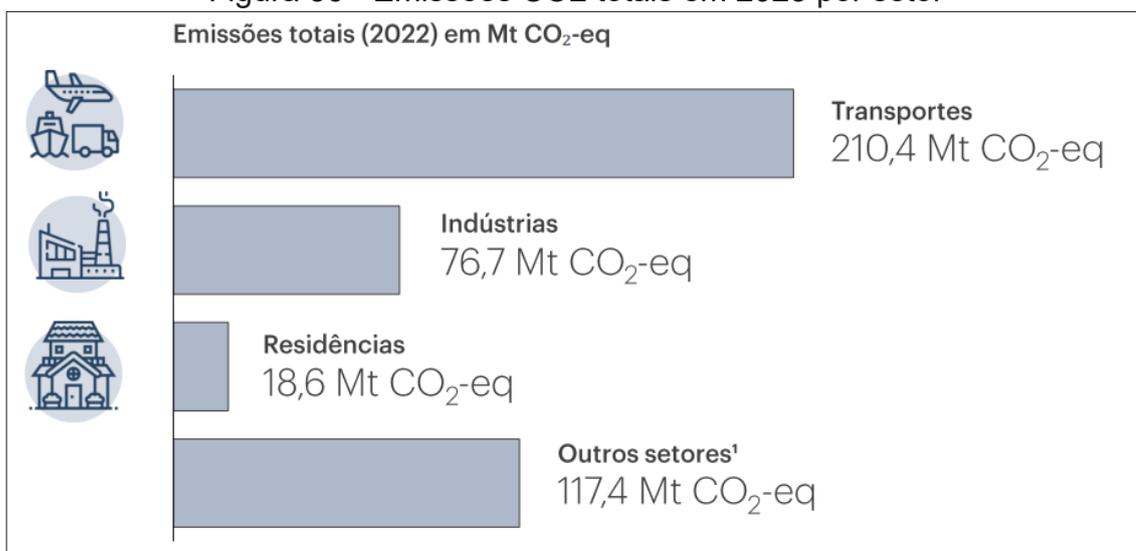
Figura 35 - Emissões CO2 evitadas com bioenergia em 2023



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/03, 2023, p. 71.

O etanol hidratado e o etanol anidro foram responsáveis pela redução de 63,12 MtCO₂, somados com o biodiesel tem-se 84,2 MtCO₂ em 2023. Esse valor representa um nível de emissões evitadas 18,5% maior do que o total observado no ano anterior. Neste contexto, válido propor um comparativo, analisando a matriz energética brasileira de 2023, quantos MtCO₂ o setor de transportes emitiu durante o período:

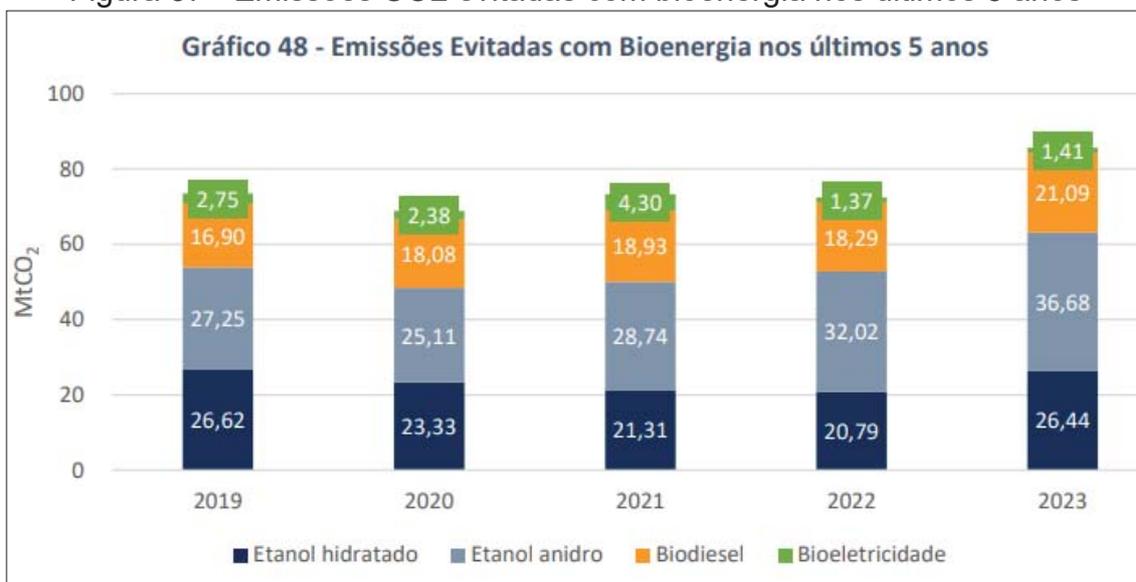
Figura 36 - Emissões CO2 totais em 2023 por setor



Fonte: BEN, 2023, p. 48.

Verifica-se a relevância dos biocombustíveis, sendo que, no ano de 2022 emitiu 210,4 MtCO₂, sendo o setor com destaque na emissão de CO₂, neste contexto, o etanol hidratado e o etanol anidro foram responsáveis pela redução de 63,12 MtCO₂, ou seja, somado ao biodiesel, uma redução de 40% na emissão de CO₂. Ainda, válida a análise do panorama dos últimos 5 anos, proposto na nota técnica da EPE:

Figura 37 - Emissões CO2 evitadas com bioenergia nos últimos 5 anos



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/03, 2023, p. 71.

Na figura 37 acima o etanol anidro e o etanol hidratado estão em tendência de crescimento e a EPE (2023) indica que deve ser impulsionado ainda mais, frente a

implementações de regulações nacionais e internacionais como a Lei do Combustível do Futuro, nova legislação do ano de 2024, citada anteriormente.

Verifica-se a relevância dos biocombustíveis no cenário energético brasileiro, evitando volumosas emissões de gases do efeito estufa e reforçando o país como um destaque no contexto mundial dos biocombustíveis. Ao avaliar o histórico legislativo é possível perceber que há ações governamentais importantes para estimular a utilização e redução dos combustíveis fósseis criando metas para aumento de misturas e privilegiando os combustíveis renováveis.

Neste contexto, o etanol ganha destaque, sendo um biocombustível, sustentável e renovável, um instrumento importante nas políticas públicas para evitar o aquecimento global e as mudanças climáticas. Durante o Pró-álcool, percebe-se que o governo estava preocupado com uma demanda de mercado, frente a problemas no setor dos combustíveis e uma produção fraca de açúcar, que estimulou a produção da cana-de-açúcar destinada para o etanol, no entanto, atualmente com legislações como Renovabio, Programa Mover e, em especial, a nova Lei dos Combustíveis do futuro há uma mudança de ótica para a promoção dos biocombustíveis sob um viés ambiental.

Evidente que as políticas públicas propostas, mesmo que demonstrando uma preocupação com o meio ambiente devem conter mecanismos que assegurem a sua aplicabilidade e eficiência, visto que apenas a letra da lei não vai resolver questões ambientais. Sendo assim, no próximo tópico será avaliado os motores elétricos neste contexto, de que forma a novidade da eletrificação impacta no cenário dos combustíveis automotivos.

4.2. DA CHEGADA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS;

Após o estudo da relevância dos biocombustíveis no que tange a proteção ambiental, importante analisar a chegada dos motores elétricos neste contexto, sendo que, os veículos elétricos são citados também como alternativa sustentável para o setor dos transportes. Caldeira, Sekula e Schabib (2020, p. 203) afirmam que se tratando das fontes alternativas de energia “[...] a concorrência de novas fontes aparece em duas frentes: o emprego de combustíveis não fósseis – como o etanol ou

biogás – ou a substituição dos atuais modelos consumidores dos derivados de petróleo pelos elétricos”.

Reis, Fadigas e Carvalho (2019, p. 156) afirmam que considerando o setor dos transportes:

Além dos biocombustíveis, outras fontes alternativas de energia têm ocupado espaço crescente no setor de transportes: os veículos movidos a gás natural (GNV); os veículos que utilizam hidrogênio, por meio de células a combustível; os veículos elétricos a baterias e os veículos híbridos.

Então, considerando que os veículos elétricos são também indicados como uma alternativa aos combustíveis fósseis, assim como o etanol, válido analisar as nuances dessa tecnologia e ao final, no próximo tópico, propor um comparativo da eletrificação versus o etanol, sob a ótica ambiental, no cenário brasileiro.

Numa breve perspectiva histórica, o carro elétrico nasceu na mesma época que o carro com motor a combustão, nos Estados Unidos chegou a ser predominante. Yergin (2023, p. 318) afirma que:

Em 1900, os carros elétricos eram muito mais comuns do que os carros a gasolina na cidade de Nova York. Não havia maior defensor do carro elétrico do que o grande inventor Thomas Edison, que investiu muito do próprio dinheiro, além da sua reputação e dos seus esforços, para aperfeiçoar um veículo elétrico.

Prossegue Yergin (2023, p. 319) explicando as duas principais causas do fim da primeira geração de carros elétricos:

Uma foi o Modelo T, de Henry Ford, e a produção da linha de montagem. A outra, embora menos conhecida, foi o sistema de ignição elétrica, inventada para a Cadillac por Charles Kettering em 1911, depois que uma pessoa morreu acionando a manivela do carro. A invenção de Kettering eliminou a necessidade de que alguém parasse na frente do carro para acionar a manivela. Nos anos subsequentes, os carros elétricos foram desaparecendo aos poucos.

Verifica-se que os veículos elétricos apesar de nascerem na mesma época dos veículos a combustão, perderam força no mercado naquele momento, frente a problemas relacionados com o preço e autonomia. Além disso, o tempo de duração das baterias e o tempo de recarga, impactaram diretamente no desempenho da tecnologia, que foi inviabilizada diante da expansão da rede de abastecimento de gasolina e diesel (Santos, 2020).

Neste contexto, inicialmente, válido indicar uma definição para os veículos elétricos, em que, Santos (2023, p. 19) explica “veículo eletrificado diz respeito a uma gama de tecnologias que usa eletricidade para impulsionar um veículo terrestre”, Denton (2018, p. 1) acrescenta que há Veículos elétricos (VEs) ou veículos eletricamente recarregáveis (VERs) “[...] se referem a qualquer veículo que é alimentado, parcialmente ou por completo, por uma bateria que pode ser ligada diretamente à rede de energia elétrica”. Após a compreensão da definição de veículo elétrico, importante explorar a classificação dos modelos. Santos (2023, p. 19) classifica da seguinte forma:

Um veículo puramente elétrico possui uma bateria, que é um dispositivo que transforma a reação química em energia elétrica, e um motor elétrico, que transforma energia elétrica em energia mecânica, permitindo que o veículo se movimente com zero emissão de gases poluentes. Já o veículo elétrico é movido apenas por um motor elétrico, dispensando um motor secundário que funcione à base de combustão. O que pode variar é a forma como o motor elétrico captará e gerará energia, mas a sua propulsão é exclusivamente elétrica.

Verifica-se que há diferentes modelos, em que o veículo elétrico híbrido (VHE), decorre de uma combinação de dois tipos de motores, um elétrico e outro à combustão, para gerar a energia, os sistemas atuam de maneira conjunta ou independente. Santos (2023, p. 19) afirma que “sistemas de recuperação e reutilização de energia são adotados para o caso de frenagem regenerativa, que aumentam a eficiência energética de um veículo e, conseqüentemente, sua autonomia e seu alcance”. Ainda, Goldemberg (2023) explica que “os veículos híbridos elétricos (HEVs — *hybrid electric vehicles*) oferecem menos emissões e melhor economia de combustível, 30% a 50% superior aos veículos convencionais comparáveis”.

Tem-se ainda o veículo elétrico a bateria (VEB) ou *battery electric vehicle* (BEV), Santos (2023, p. 19) explica que o modelo “é composto por armazenadores de energia com máquina elétrica, que funciona como motor ou gerador e pode propelar o veículo por meio da tração para movimento ou recuperar energia no processo de frenagem”. Esse modelo também é conhecido como veículo puramente elétrico ou veículo totalmente elétrico. Goldemberg (2023, p. 125) ensina que “veículos elétricos a bateria (VEBs) com alta eficiência, mas pouca autonomia e bateria de pouca duração, têm penetração de mercado limitada no momento”.

Por fim, tem-se o modelo de veículo elétrico híbrido plug-In (VEH-PI), ou Plug-In *Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), Santos (2023, p. 20) leciona “é um clássico VEH com capacidade adicional de carga do sistema de armazenamento de energia (baterias) por meio da rede elétrica. Para melhor compreensão da diferença dos modelos eletrificados, válido indicar a tabela criada por Santos (2023, p. 21):

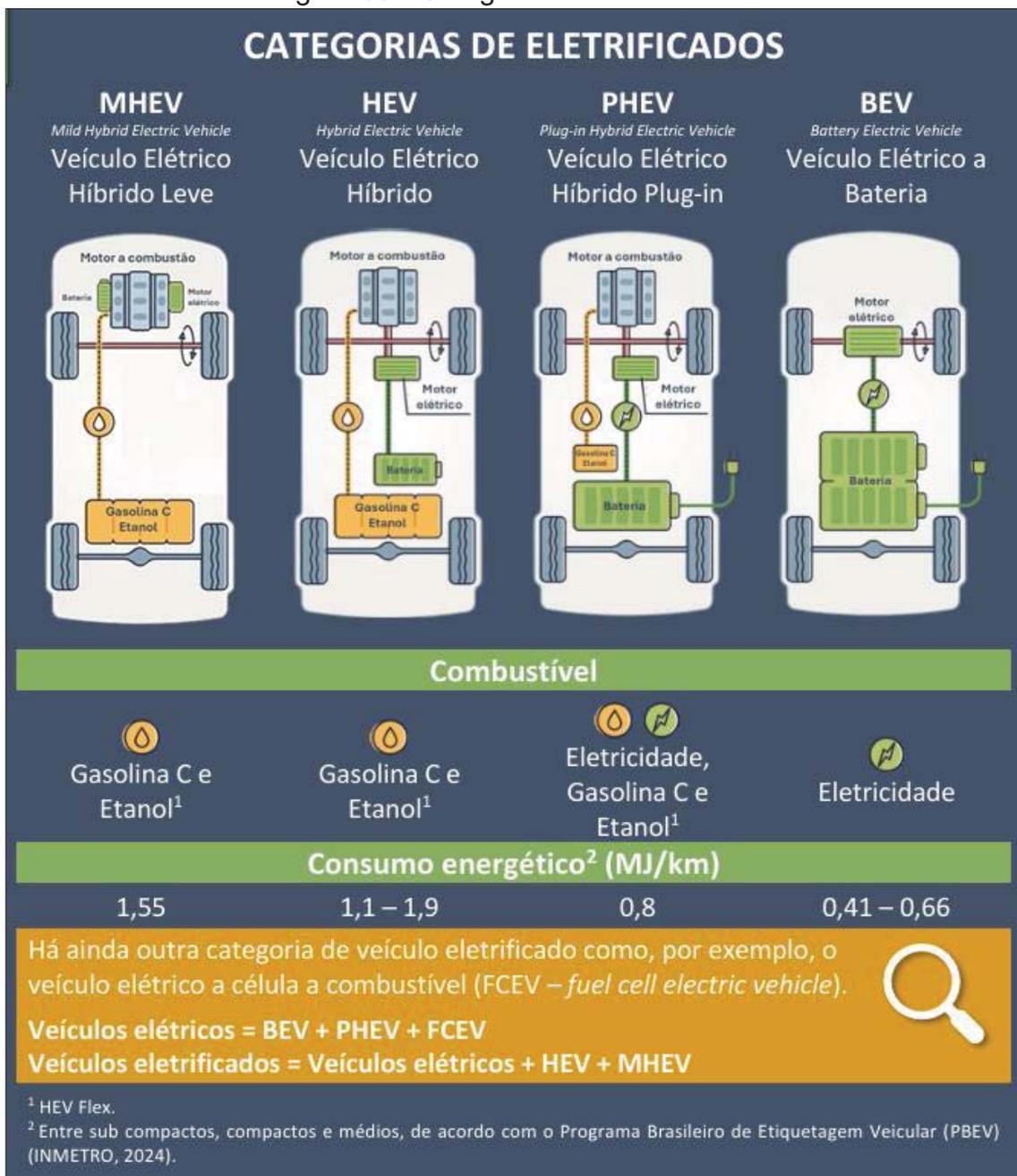
Figura 38 - Classificação geral dos veículos eletrificados quanto à fonte de energia de propulsão

	Convencional	Híbrido-elétrico	Híbrido-elétrico plug-in	Bateria elétrica
				
	CV	VEH	VEH-PI	VEB
Conversor de potência	Mecânico	Mecânico e motor	Mecânico e motor	Motor
Bateria	–	Pequena	Média	Grande
Gasolina 	✓	✓	✓	
Eletricidade 			✓	✓

Fonte: Santos, 2023, p. 21.

A figura 38 supracitada demonstra de forma didática a diferença principal dos modelos de veículos, importante o destaque que além do convencional, dois modelos eletrificados ainda contam com a utilização da gasolina para o funcionamento, são eles o veículo elétrico híbrido e o veículo elétrico híbrido plug-In. A Nota Técnica Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2025 a 2034, elaborado pela EPE e publicado em dezembro de 2024, também faz uma relação para demonstrar as categorias dos eletrificados, conforme segue:

Figura 39 - Categorias de eletrificados



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 13.

A EPE (2024) na figura 39 acima destaca as categorias, que facilita a compreensão das diferentes modalidades dos veículos, bem como o consumo energético de cada modelo. Ainda, Moreira (2021, p. 160) complementa a classificação quando afirma que:

Carro elétrico a bateria (CEB): usa energia de baterias carregadas na rede elétrica;

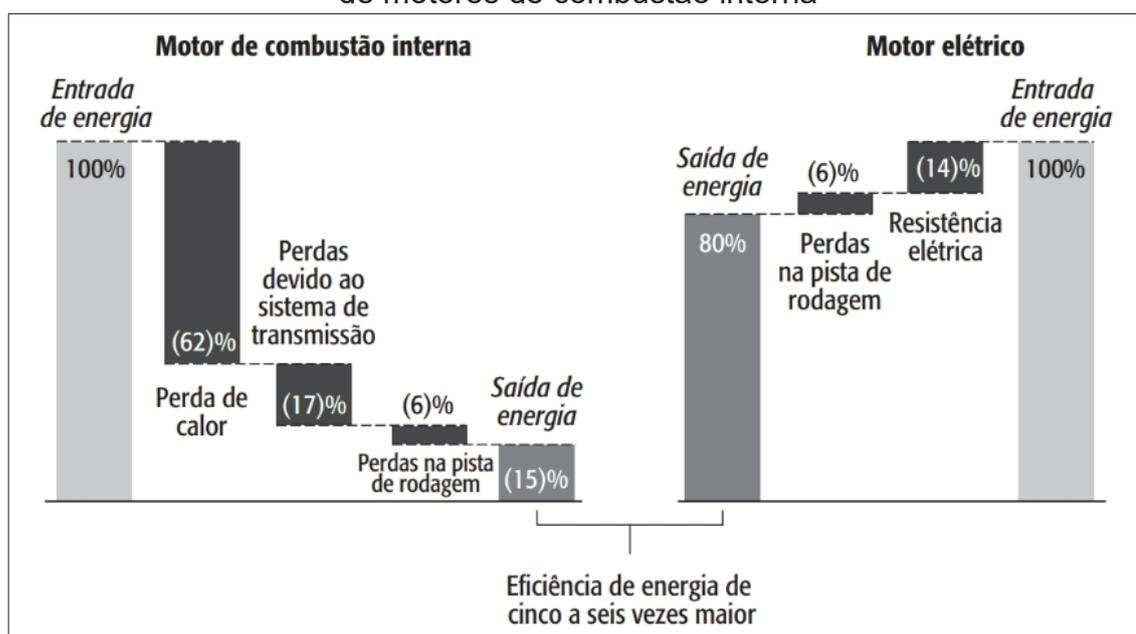
Carro elétrico híbrido (CEH): a energia elétrica é fornecida por um gerador a bordo acionado por um motor de combustão interna (MCI) que usa um combustível convencional como fonte de energia;

Carro elétrico híbrido, plug-in (CEHP): um CEH equipado com mais baterias que tanto usa energia da rede quanto do gerador embarcado.

Carro elétrico com células a combustível (CECC): usa energia elétrica gerada por uma célula a combustível a partir de hidrogênio armazenado em alta pressão.

Após a ciência das modalidades dos veículos elétricos e a indicação como alternativa sustentável, bem como, dos biocombustíveis, importante indicar os pontos positivos e negativos da tecnologia. Neste contexto, propondo um comparativo com os veículos tradicionais de motor de combustão, JR e Reis (2016, p. 659) afirmam que “o ganho de eficiência energética, faz dos modelos de motores elétricos um diferencial e atrativo”, conforme figura comparativa abaixo:

Figura 40 - Comparação da eficiência dos veículos elétricos em relação aos veículos de motores de combustão interna



Fonte: JR e Reis, 2016, p. 659.

Percebe-se que a eficiência energética é um ponto positivo dessa modalidade de veículos, na figura acima indicada, enquanto os motores a combustão interna têm uma saída de energia de 15%, o motor elétrico apresenta 80%, uma diferença considerável entre os modelos. Ainda, no que se refere a eficiência energética Santos (2023, p. 32) leciona:

Quando a gasolina em veículos convencionais entra em combustão para alimentar o carro, aproximadamente de 17% a 21% da energia é convertida para o carro. Os VEs, por outro lado, são capazes de converter de 59% a 62% da eletricidade em energia para o veículo.

Na preocupação com o meio ambiente a eficiência energética é uma temática importante, visto que, a redução do consumo das fontes de energia é um item essencial para a sustentabilidade. Além disso, os veículos elétricos são mais econômicos. Neste sentido, Moreira (2021, p. 161) afirma “o custo do quilômetro rodado do carro elétrico é bem inferior ao equivalente com combustíveis fósseis, dependendo da relação entre os custos do combustível fóssil e o da energia elétrica e da eficiência dos veículos comparados”. Verifica-se que em termos de economia para o consumidor os motores elétricos são mais viáveis.

Os veículos elétricos além de serem mais eficientes do ponto de vista energético e o custo por quilômetro menor, são alternativas sustentáveis pois não emitem gases do efeito estufa, uma problemática global ambiental, conforme destacado nos capítulos anteriores. Nesta toada, Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 104) afirmam que se tratando dos modelos elétricos, “não há poluição (se puro gás hidrogênio for usado) e a eficiência é alta, na faixa de 40% a 70%, dependendo do tipo”.

Ainda, no que tange aos gases do efeito estufa, Santos (2023, p. 32) afirma “quando um veículo está funcionando com eletricidade, ele não produz nenhuma emissão de gases de escapamento (também conhecido como veículo de emissão zero em escapamento)”. Importante o destaque que a redução de poluentes não pode ser analisada de forma isolada, visto que o contexto da produção e do descarte das peças posteriormente, também devem entrar em jogo.

Denton (2018, p. 11) acrescenta que “veículos elétricos possuem emissão zero do ponto de vista de seu uso, chamado de “tanque a roda”, quando alimentado apenas por bateria. No capítulo anterior foi abordado a questão do ciclo do etanol, por exemplo, que durante o processo de produção da matéria-prima captura o carbono que será emitido pelo veículo posteriormente, além disso, da preocupação que toda a cadeia produtiva do combustível seja sustentável. Válido destacar a complexidade do setor dos transportes, sendo assim, não há possibilidade de analisar um item isolado, sem considerar o processo como um todo”.

Yergin (2023) leciona que os veículos elétricos também reduzem os ruídos, impactando de forma positiva, além da qualidade do ar e na saúde da população, principalmente das grandes cidades. Neste sentido, Santos (2023, p.31) afirma que:

Atualmente, o nível de ruído gerado pelos veículos tradicionais é consideravelmente elevado, principalmente em grandes centros. Os veículos eletrificados, por serem sistemas de transporte com menor geração de ruídos, proporcionam redução de ruído ao ambiente.

Nos grandes centros urbanos o ruído causado pelo setor dos transportes é um item que impacta na saúde da população, que juntamente com a redução da poluição do ar, são itens importantes, quando se busca a melhora das condições do meio ambiente. Entretanto, se tratando dos veículos elétricos, a poluição apesar de ser reduzida ou nula na emissão do automóvel, pode em contrapartida, ser gerada no consumo da energia necessária para o carregamento, dependendo da fonte energética utilizada.

Sendo assim, após a compreensão dos pontos favoráveis aos veículos elétricos, sem intenção de esgotar a matéria, válido analisar também pontos negativos da tecnologia. Nesta toada, Goldemberg afirma que (2023, p. 125) “obviamente, ainda restaria o problema de gerar eletricidade para carregar as baterias; se essa eletricidade for gerada em usinas que utilizam combustíveis fósseis, o uso de VEBs apenas transferirá a fonte das emissões dos veículos (automóveis ou caminhões) para as usinas de energia”.

Evidente que quando tratamos da fonte de energia, se faz necessário atenção a matriz energética, visto que caso a fonte da eletricidade seja a geração por não renováveis e derivados de combustíveis fósseis, há problemas. Neste contexto, Santos (2023, p. 31) acrescenta:

A combinação de combustível usada pelas usinas geradoras de energia elétrica também determina os impactos da poluição do ar, uma vez que as diminuições nas emissões dos veículos são acompanhadas por aumentos nas emissões das usinas geradoras de energia elétrica.

Moreira (2021, p. 161) afirma que “dependendo da matriz elétrica do país, poderá, inclusive, se ter um aumento nos índices de poluição”. Nesta conjuntura, importante destacar que considerando o cenário brasileiro, a base da matriz energética é composta basicamente por fontes renováveis, sendo assim, no país o

consumo de energia provém de fontes consideradas sustentáveis, em locais que a geração de energia elétrica tem como base fontes não renováveis, haveria uma troca do fator de poluição passando do veículo para as usinas geradoras da energia. Acrescenta Santos (2023, p. 31) que:

Um veículo elétrico produzirá menos emissões do que um carro a gasolina, quando comparados. No entanto, se o objetivo for gerar o mais próximo possível de zero emissões do poço à roda, nem todas as fontes de eletricidade serão criadas da mesma maneira. Se o principal motivo para comprar um veículo elétrico é ser ecologicamente correto (“verde”), deve-se considerar abastecer o carro com uma fonte de energia renovável que possa ser gerada em casa (como energia solar, eólica ou geotérmica).

Ademais, quanto as dificuldades da tecnologia dos elétricos, Moreira (2021) destaca que é necessário a implantação de estrutura de postos de abastecimento e adaptação das instalações residenciais. Um dos pontos sensíveis dos veículos elétricos está relacionado a autonomia e a necessidade de recarregamento das baterias. Atualmente a rede de postos de gasolina, por exemplo, é ampla e não se faz necessário maiores planejamentos para viagens mais longas, entretanto, considerando os modelos elétricos não se conta com uma estrutura preparada para a frota.

Além disso, com aumento da quantidade de veículos, o sistema de energia elétrica pode encontrar dificuldades relacionadas aos horários de picos de energia de recarga, sendo necessário, uma avaliação da estrutura de fornecimento de energia, considerando os hábitos e horários dos usuários, evitando um colapso no sistema de energia elétrica. Goldemberg (2023, p. 124) acrescenta que “a introdução de veículos elétricos em larga escala exigiria mudanças enormes na infraestrutura do sistema de distribuição de energia, nos automóveis e na indústria de geração de energia”. Nesta toada, Santos (2023, p. 31) afirma que:

Os sistemas de suprimento de eletricidade não precisarão expandir a capacidade e serão beneficiados pelo nivelamento de carga se a recarga noturna de veículos elétricos for incentivada (isso se deve ao fato de que todos necessitam carregar os veículos no período de descanso ou à noite).

JR e Reis, (2016) sintetizam que os veículos elétricos mesmo que mais eficientes e menos poluentes ao meio ambiente, enfrentam dificuldades de entrada no

mercado, relacionado ao custo, peso, infraestrutura, logística de recargas e/ou reposição de baterias, bem como o tempo de carregamento das baterias.

Neste sentido, no que tange as baterias, a maioria delas são de íons de lítio, visto que pesam menos, são menores em volume e suportam mais ciclos de carga e descarga, entretanto, de alto custo, Moreira (2021, p. 161) afirma que correspondem a “[...] cerca de 60 % do valor do veículo, o que dificulta a redução do preço final dos carros elétricos”. Os carregadores são de quatro tipos básicos, Moreira (2021, p. 161) explica a diferença dos modelos:

Os portáteis, que vêm em alguns carros e que podem ser ligados diretamente em tomadas com a capacidade necessária, que são: doméstico, de carga lenta em CA, sem sinal de controle piloto até 16 A; e o não doméstico, baseado na norma IEC-60309-2, monofásicos (3,7 kW) e trifásicos (11 kW);

Não doméstico de carga lenta em CA até 32 A, com sinal de controle piloto segundo a norma SAE 1772, monofásicos (7,4 kW) e trifásicos (22 kW);

Não doméstico de carga lenta em CA até 32 A, com sinal de controle piloto segundo a norma SAE 1772, monofásicos (7,4 kW), trifásicos (22 kW) e monofásicos de 63 A (14,5 kW);

Não doméstico de carga rápida em CA de 250 A e em CC de 400 A.

Os carregadores de carga lenta levam até 8 horas para o carregamento, os de carga rápida em média 15 minutos, são carregadores que dependem de instalações diferenciadas, em geral, com estações transformadoras ligadas à rede primária das distribuidoras de energia. Verifica-se que os carregadores residenciais de carga lenta podem levar até 8 horas, sendo um ponto complexo para o consumidor.

Yergin (2023, p. 356) conclui que “os carros elétricos ainda precisarão de muito tempo para se igualar aos automóveis a gasolina em termos de participação na frota”. Ainda, o descarte das baterias será um problema ambiental relevante no futuro, considerando a quantidade de veículos, quando necessária a troca, bem como, a infraestrutura de manutenção que será necessária para o suporte da frota que conta com essa nova tecnologia.

Se percebe que há desafios para serem enfrentados para o aumento da frota, para que seja possível a viabilidade para o consumidor e análise dos impactos ambientais causados pelos elétricos. Hinrichs e Kleinbach (2014, p. 409) complementam que “os veículos elétricos foram considerados como tendo aplicação

limitada porque não atendem às múltiplas demandas dos motoristas – longa distância (autonomia); potência de aceleração; baterias com vida longa; baixo custo; e possibilidade de recarga em temperaturas extremas”.

Válido destacar que os veículos elétricos, por vezes, aparecem como “novidades” alternativas verdes, ecológicas e sustentáveis, entretanto há desafios importantes que devem ser superados para viabilidade do consumidor, mas também necessária análise do impacto ambiental dessa nova tecnologia, que não deve ser considerada de forma isolada. Não é possível enfrentar a problemática do setor dos transportes considerando apenas essa possibilidade como solução ideal para reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

Considerando o cenário brasileiro, contamos com uma frota significativa de veículos *flex* que contam com a alternativa do uso do etanol, viabilizando a proteção ambiental. A troca da frota de veículo leva um determinado tempo, visto que se está tratando de um bem durável. Smil (2024, p. 331) afirma que “a vida útil do carro médio atualmente chega a quase 11 anos em países abastados até a mais de 15 anos em economias de baixa renda”. A EPE (2024) informa que se tratando da frota de veículos no cenário brasileiro, com base em dados do ano de 2023, a idade média para os automóveis e comerciais leves é de 10 anos.

Então, não é possível desconsiderar essa informação e tratar dos elétricos como única alternativa, sendo que os biocombustíveis são importantes no contexto da sustentabilidade, assim como mencionado anteriormente. Desta forma, no próximo tópico o estudo prossegue no sentido de propor um comparativo do etanol, biocombustível, com os veículos elétricos, considerando o cenário brasileiro.

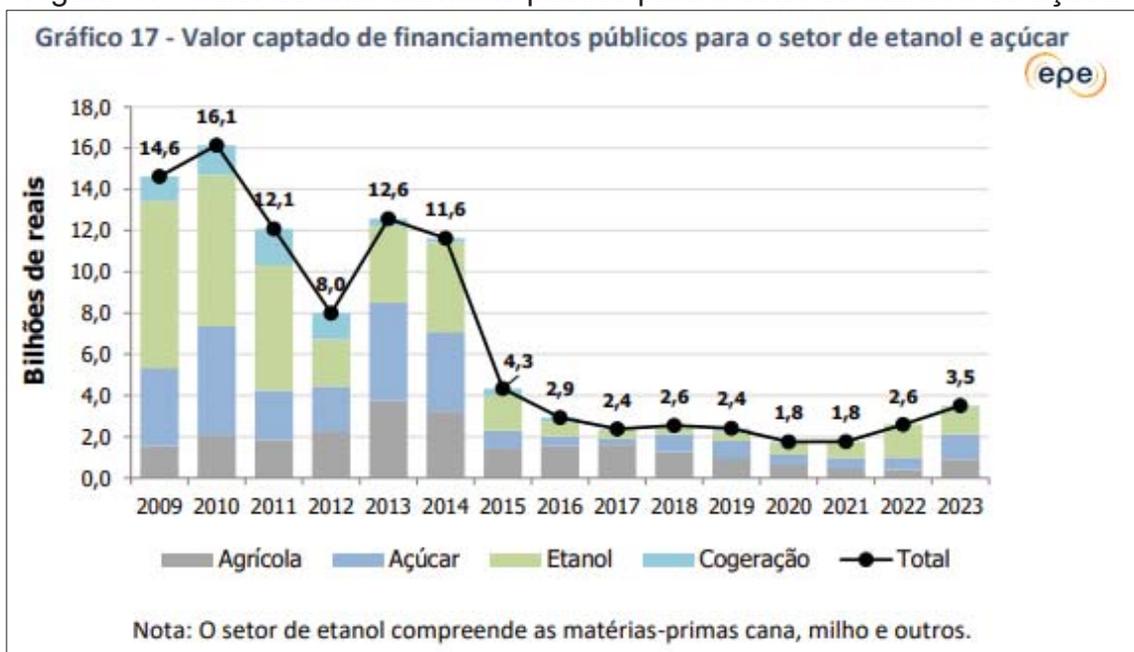
4.3. ETANOL X ELETRICIDADE CONSIDERANDO A MITIGAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

Após análise dos biocombustíveis, em especial do etanol e dos veículos elétricos, válido propor um comparativo das alternativas energéticas, sob a perspectiva ambiental. Importante destacar que a chegada dos veículos elétricos impacta a cadeia produtiva, o abastecimento, a manutenção, dentre outros fatores relacionados a chegada de uma nova tecnologia no setor, sendo assim, válido o

estudo dos reflexos confrontando com o etanol, que conta com uma estrutura pronta e é uma alternativa renovável e sustentável.

Neste contexto, inicialmente, importante analisar, o cenário brasileiro, quais são as informações decorrentes de financiamento do setor do etanol, sendo assim, a EPE publicou em agosto de 2024 a nota técnica de Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, considerando a base de dados do ano de 2023. O relatório destaca que o BNDES conta com diversas linhas de financiamento para os setores de produção do etanol e do açúcar, como o RenovaBio, Finem, Finame, Fundo Clima e Prorenova, sendo assim, a figura a seguir demonstra os valores de financiamento público em reais:

Figura 41 - Valor de financiamento público para o setor do etanol e do açúcar



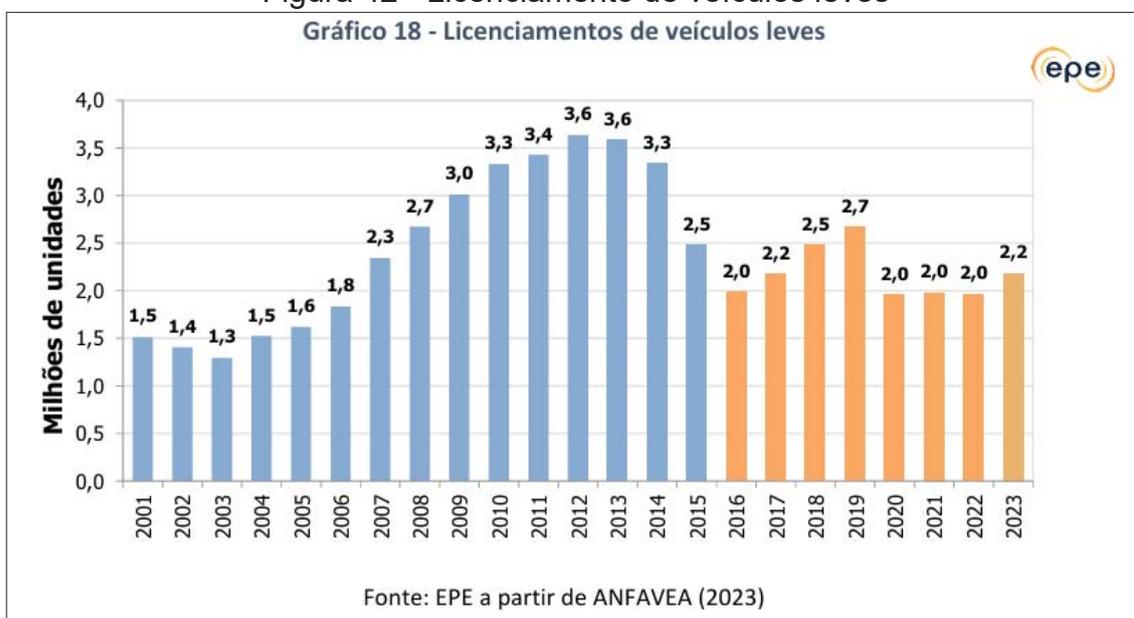
Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/03, 2024, p. 22.

Na análise da figura, é possível perceber que em 2023, os investimentos totais, alcançaram o valor de R\$ 3,5 bilhões, quase 40% superior ao do ano anterior, dando sequência ao crescimento já observado em 2022, entretanto, os dados demonstram uma significativa diferença, considerando o ápice em 2010 de R\$ 16,1 bilhões. Novos programas de estímulo dos biocombustíveis como o Renovabio e a Lei dos Combustíveis do futuro, devem impulsionar os financiamentos do setor, visto que, como exemplo, o Renovabio, que é voltado para melhorias da eficiência energética

ambiental e da certificação da produção de unidades produtoras de biocombustíveis, concederá redução da taxa básica de juros para as empresas que apresentarem melhoria do indicador “litros/CBIO”, porém significativo a redução dos investimentos ao longo desses 14 anos demonstrados pela EPE e o potencial de aumento dos financiamentos para a alternativa dos biocombustíveis, neste contexto.

Considerando o potencial de aumento dos financiamentos no setor do etanol, importante verificar os dados dos licenciamentos de novos veículos no cenário brasileiro, conforme segue:

Figura 42 - Licenciamento de veículos leves



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/03, 2024, p. 22.

A EPE (2024) informa que do total de licenciamentos de veículos leves, na segmentação por porte, 79% foram automóveis e 21% comerciais leves. Na separação por combustível, a categoria *flex fuel* representou 83,0% do licenciamento total, seguida pelos veículos movidos a diesel com 9,9%. Os veículos a gasolina representaram 2,8% dos licenciamentos e os eletrificados (elétricos, híbridos e híbridos plug-in) chegaram a 4,3%, um crescimento considerável em comparação com 2022, quando esta participação foi de 2,5%.

Neste ponto, considerando a separação por combustíveis é interessante o destaque dos veículos flexíveis, considerando que dos 2,2 milhões de licenciamentos de veículos leves, em média 1,83 milhões de automóveis estão enquadrados na

categoria *flex*, estabelecendo um comparativo, os veículos elétricos, tem-se apenas 93 mil unidades atualmente, sendo assim, percebe-se o forte impacto da tecnologia *flex* no setor dos transportes. Nesta conjuntura, o combustível utilizado para a categoria vai influenciar diretamente na questão ambiental, demonstrando a importância de que as políticas públicas sejam robustas e eficientes no sentido do estímulo dos biocombustíveis para os automóveis.

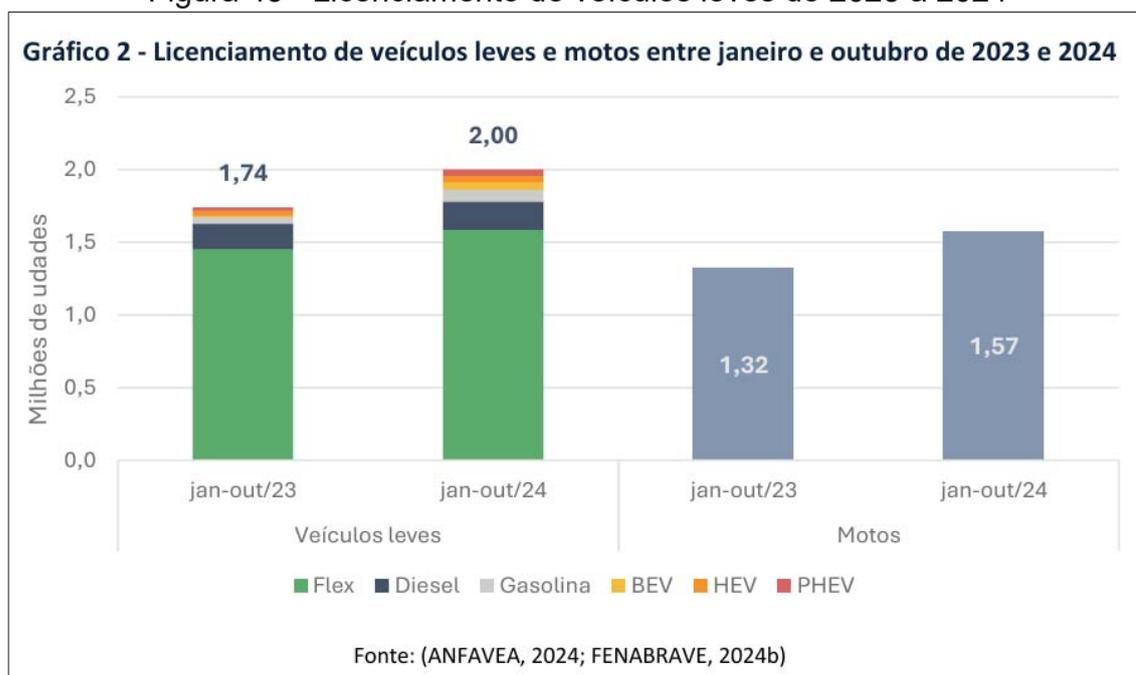
Ademais, a EPE (2024) informa que com base no resultado do licenciamento observado nos últimos anos, estima-se que a frota brasileira de veículos leves tenha totalizado 39,7 milhões de unidades, permanecendo no mesmo patamar do ano anterior, com a tecnologia *flex fuel* representando 84,5% do total. Além disso, a EPE (2024) afirma que a idade média para os automóveis e comerciais leves é de 10 anos, então se percebe que a frota *flex* irá perdurar em destaque no setor por muito tempo.

Os eletrificados têm crescido no mercado, em 2022 foram licenciadas 49 mil unidades, sendo que em 2023, o número cresceu para 93 mil, representando um crescimento de 90,70%, entretanto, são poucas unidades, considerando os números de veículos flexíveis. A EPE (2024) indica ainda que o preço permanece elevado, sendo um dos impeditivos do crescimento e estabelece um comparativo de preços médios, considerando a FIPE de 2023, então, o veículo elétrico mais barato do país (R\$119.990,00) é 54% mais caro que a média de veículos convencionais mais baratos comercializados no Brasil (R\$69.990,00).

Ademais, no que tange aos valores dos veículos elétricos, importante o destaque que o aumento da oferta de modelos no mercado e a competição entre as montadoras poderiam impactar no preço, entretanto, a EPE (2024) indica que a expectativa de aumento do imposto de importação sobre veículos elétricos, híbridos e híbridos *plug-in*, previsto para ter início em janeiro de 2024, pode ser uma variável negativa. O relatório também indica que apesar de uma projeção de aumento de 26% no mercado dos eletrificados, frente a forte investimentos por parte do setor, os desafios também são importantes, como a necessidade da oferta nacional de componentes chave para a produção nacional de um veículo elétrico, como as baterias e suas células, ambas produzidas majoritariamente pela China. Outro ponto importante é a ausência de territorialização de infraestrutura de recarga no país, obstaculizando a maior difusão dos veículos.

Outro relatório de necessário estudo é a Nota Técnica Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2025 a 2034, elaborado pela EPE e publicado em dezembro de 2024. Neste documento, que tem publicação recente é proposto um comparativo das informações de 2023 a 2024 do licenciamento de veículos leves.

Figura 43 - Licenciamento de veículos leves de 2023 a 2024

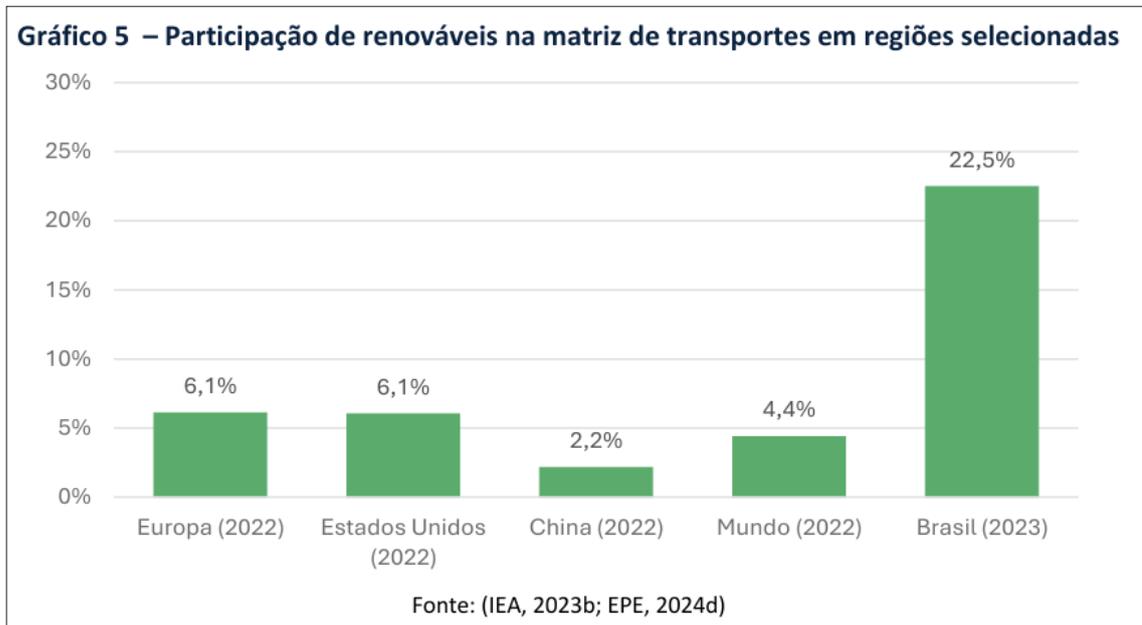


Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 11.

A figura indica em conjunto a participação das motos, informação que não será contabilizada, visto não se tratar do objetivo do presente estudo. O licenciamento de veículos, no ano de 2024 até outubro, alcançou a marca de 2 milhões de unidades, cerca de 15% a mais do que no ano anterior. No que tange aos veículos flex, ainda em tendência de predominância.

Ainda, o Brasil já é destaque no cenário nacional, considerando os bicompostíveis, diante do contexto, tem-se a possibilidade de se consolidar ainda mais nos renováveis, visto que já conta com uma estrutura disponível e características climáticas favoráveis para a produção, o que não corresponde a realidade de alguns países.

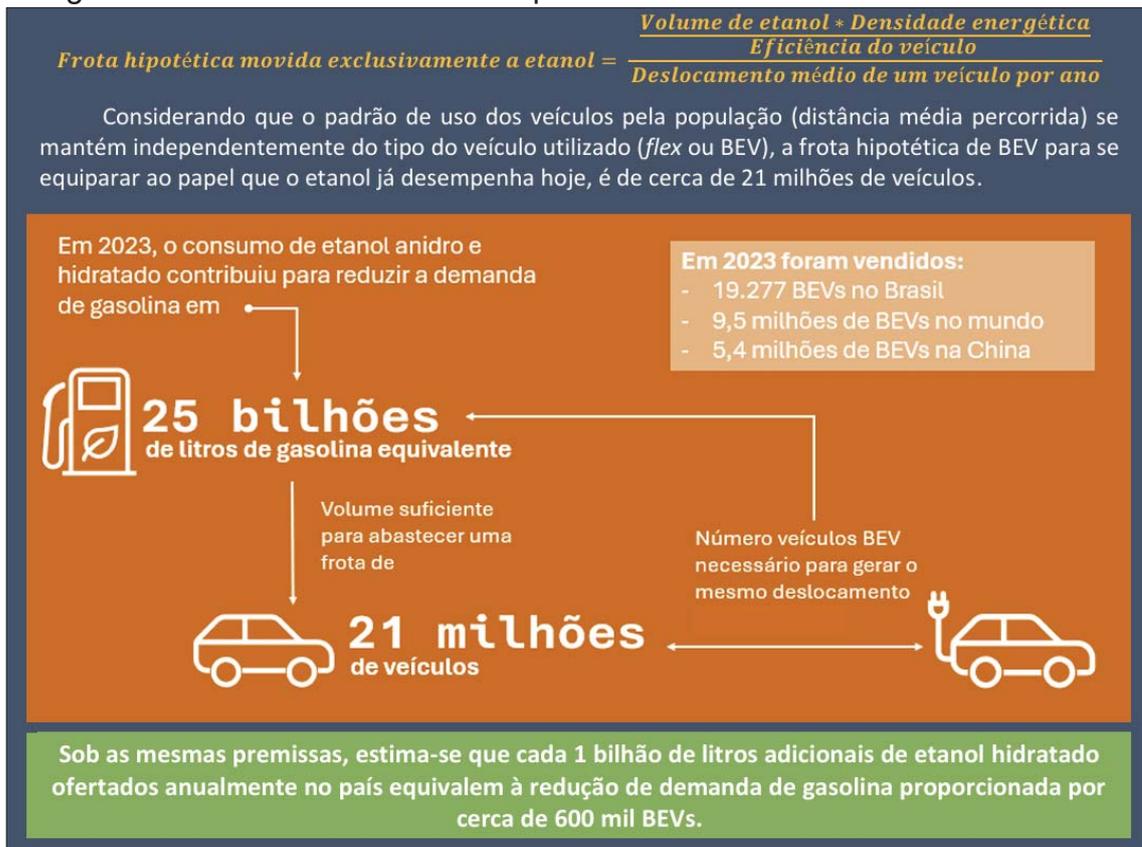
Figura 44 - Participação de renováveis na matriz de transportes em regiões selecionadas



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 18.

Diante do potencial brasileiro no campo dos biocombustíveis, em especial da produção do etanol, o relatório da EPE (2024) ainda demonstra sua viabilidade, realizando uma abordagem simplificada, calculando uma frota hipotética movida exclusivamente a etanol para estimar quantos veículos o volume consumido seria capaz de abastecer, conforme segue:

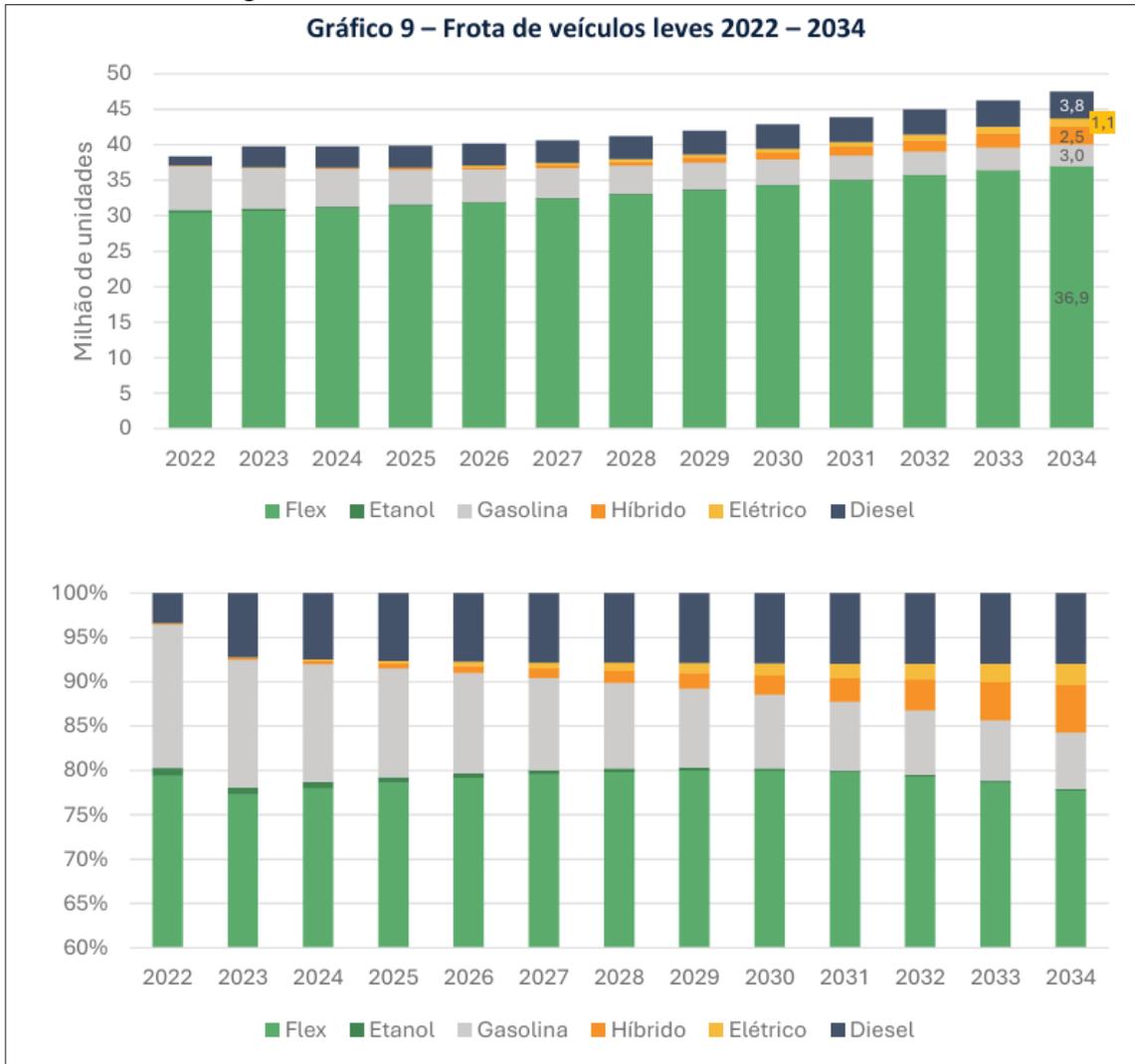
Figura 45 - Análise de uma frota hipotética movida exclusivamente a etanol



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 20.

Considerando a situação hipotética criada pelo EPE (2024) é possível perceber que o etanol não é apenas uma possibilidade remota, o biocombustível já representa um benefício ao meio ambiente importante e deve ser ainda mais estimulado via ações governamentais, sendo uma alternativa sustentável, forte e brasileira. Moreira afirma que (2021, p. 161) “o Brasil possui o excelente programa de etanol, combustível renovável que recicla praticamente todo carbono. Devem-se conciliar todas essas tecnologias de forma harmônica e buscar o interesse do país”. Além disso, a nota técnica faz uma projeção para a frota de veículos leves até 2034, conforme segue:

Figura 46 -Frota de veículos leves de 2022 a 2034



Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 20.

A projeção realizada pelo EPE (2024) demonstra que num período de 10 anos, a frota *flex* tende a permanecer em destaque nos licenciamentos, sendo assim, o indicativo do estímulo para utilização de biocombustíveis permanece forte durante o período proposto. Verifica-se, neste contexto que a questão dos veículos elétricos que aparece por vezes como a nova solução verde, a novidade sustentável no setor dos transportes, deve ser avaliada com mais profundidade visto que, no cenário brasileiro, há força dos biocombustíveis como uma alternativa importante para os combustíveis fósseis. Neste contexto, Yergin (2023, p. 335) afirma que:

As previsões variam bastante entre si. Um grande banco de investimentos previu que os veículos elétricos representariam entre 10 e 90% das vendas de novos carros em 2050, dependendo de regulamentações e do

“desenvolvimento tecnológico”. Os governos certamente terão um papel importante, talvez até decisivo. Eles podem exigir que uma parcela cada vez maior dos novos carros vendidos seja de veículos elétricos ou que atendam metas de redução de emissões de carbono cada vez mais estritas. As montadoras terão que cumprir as exigências ou enfrentar penas cada vez maiores. Governos ou consumidores absorveriam o custo adicional até o preço das baterias diminuir. Os governos podem continuar a forçar a redução das emissões dos carros a gasolina e o aumento da sua eficiência; ambas as medidas elevariam o seu custo e, logo, tornariam os VEs economicamente mais atraentes. Os governos também poderiam ajustar a sua legislação tributária para favorecer os veículos elétricos em relação aos carros a gasolina.

Entretanto, após a análise dos dados do Brasil, considerando a potencialidade dos biocombustíveis, os benefícios do etanol que se destaca como um combustível renovável, sustentável. bem como, a relevante frota de veículos *flex*, tem-se uma alternativa adequada aos combustíveis fósseis. Ainda, válido o destaque das políticas públicas, neste contexto, que devem viabilizar o consumo dos biocombustíveis como principal combustível veicular. A nova Lei dos Combustíveis do Futuro, aprovada em 2024, juntamente com as demais legislações dos combustíveis pode impulsionar ainda mais essa temática energética.

Os veículos elétricos ainda demandam tempo para viabilizar a estrutura necessária, tem-se questões relacionadas a autonomia, postos e tempo de carregamento, bem como, do necessário estudo de como serão feitas as manutenções e o descarte das baterias, um cenário novo e desconhecido. Em contrapartida, o etanol é um destaque brasileiro, um “velho amigo”, com enorme potencial como biocombustível. Após as considerações acerca do cenário do etanol frente a chegada da eletrificação, ainda, válido analisar a viabilidade do etanol sob o ponto de vista do preço e da logística.

No que tange ao valor final para o consumidor, para viabilidade do biocombustível, o etanol deve custar 70% ou menos do valor da gasolina, neste contexto, a EPE (2024) informa que no ano de 2023, verificou-se um aumento do preço médio da gasolina de 6,80%, enquanto o etanol apresentou uma queda de 12,80%. A mudança da tributação dos combustíveis, se tratando da homogeneização do ICMS pelo território nacional, além da retomada parcial da cobrança de PIS, COFINS e CIDE que haviam sido zerados em 2022, impactaram no preço dos combustíveis. Se tratando do etanol o ano teve recorde de moagem de cana-de-açúcar, combinado com condições climáticas favoráveis que impulsionaram a redução

do preço. O ano de 2023 fechou com uma diferença de 68% entre o preço do etanol e da gasolina, cenário que favorece a utilização do biocombustível. Buscando avaliar um comparativo da diferença dos preços, segue a figura abaixo:

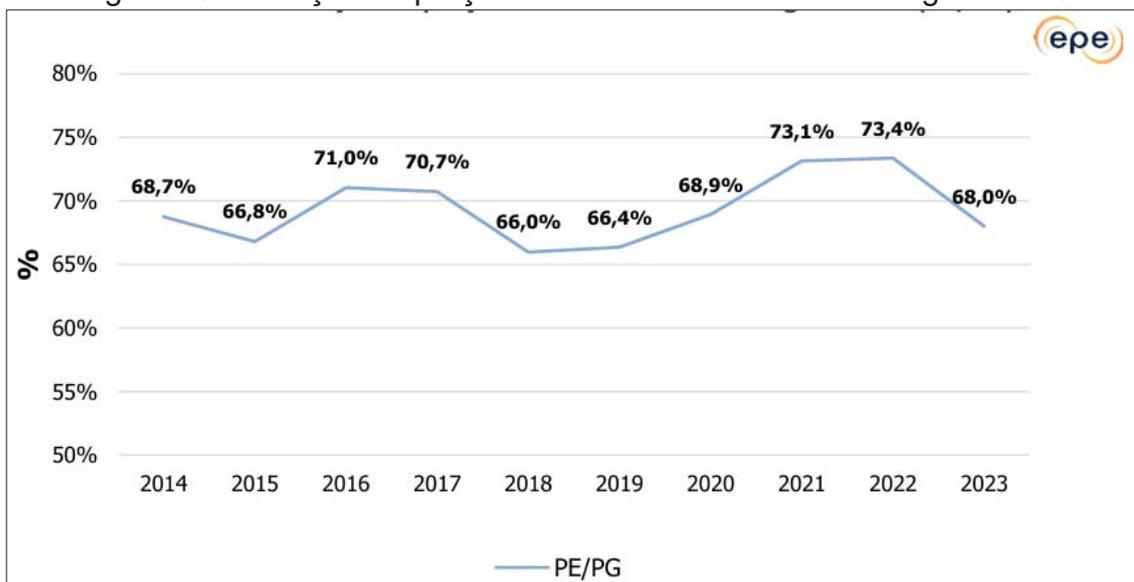
Figura 47 - Preços médios anuais de etanol hidratado C e relativo

Ano	Hidratado (R\$dez23/l)	Var. (% a.a.)	Gasolina C (R\$dez23/l)	Var. (% a.a.)	PE/PG	Var. (% a.a.)
2014	3,51	-1,1	5,10	-1,9	0,69	0,8
2015	3,51	0,1	5,26	3,2	0,67	-2,8
2016	3,79	8,0	5,33	1,3	0,71	6,3
2017	3,71	-2,0	5,26	-1,4	0,71	-0,4
2018	3,90	5,0	5,92	12,7	0,66	-6,7
2019	3,77	-3,3	5,68	-4,0	0,66	0,6
2020	3,40	-10,0	4,93	5,58	0,69	3,9
2021	4,95	45,7	6,73	36,5	0,73	6,1
2022	4,70	-5,1	7,02	4,4	0,73	0,3
2023	3,79	-19,2	5,58	-12,8	0,68	-7,3

Fonte: Nota técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, 2024, p. 23.

Em complemento a figura 47, elaborada pela EPE (2024) que demonstra a diferença dos preços do etanol hidratado versus a gasolina, abaixo, o demonstrativo em gráfico da mesma base de informações e tempo, considerando o cenário dos combustíveis de 2014 até o ano de 2023:

Figura 48 - Relação de preços entre o etanol hidratado e a gasolina C



As figuras 47 e 48 demonstram que o preço do etanol vem se mostrando competitivo no mercado, alcançando valores bastante favoráveis ao consumo. Válido o destaque que a EPE (2024) ainda informa que no ano 2022, apenas SP, GO, MT e MG demonstraram valores positivos ao etanol. Já em 2023, a lista passou a contar com os 6 maiores estados produtores de etanol do país, SP, GO, MT, MS, MG e PR, que representam, respectivamente, 39%, 15,5%, 15%, 11%, 9% e 3,5% da produção total, além do Ceará. Apesar de não possuir histórico de produção própria de etanol, a viabilidade de preço no estado da região Nordeste pode ser explicada pelo alto preço da gasolina praticado nos postos locais, tornando-a menos vantajosa, se comparada ao etanol.

A teoria econômica define que os preços de um produto são estabelecidos a partir do equilíbrio entre oferta e demanda. Então, no que tange ao etanol, considerando um cenário de forte produção de 2023, combinado com a inviabilidade da produção de açúcar, resultou em uma redução dos preços. Buscando uma melhor compreensão da composição do valor final do etanol, válido indicar uma figura disponibilizada pela EPE (2024), conforme segue:

Figura 49 - Formação de preço ao consumidor do etanol hidratado no Brasil em 2023

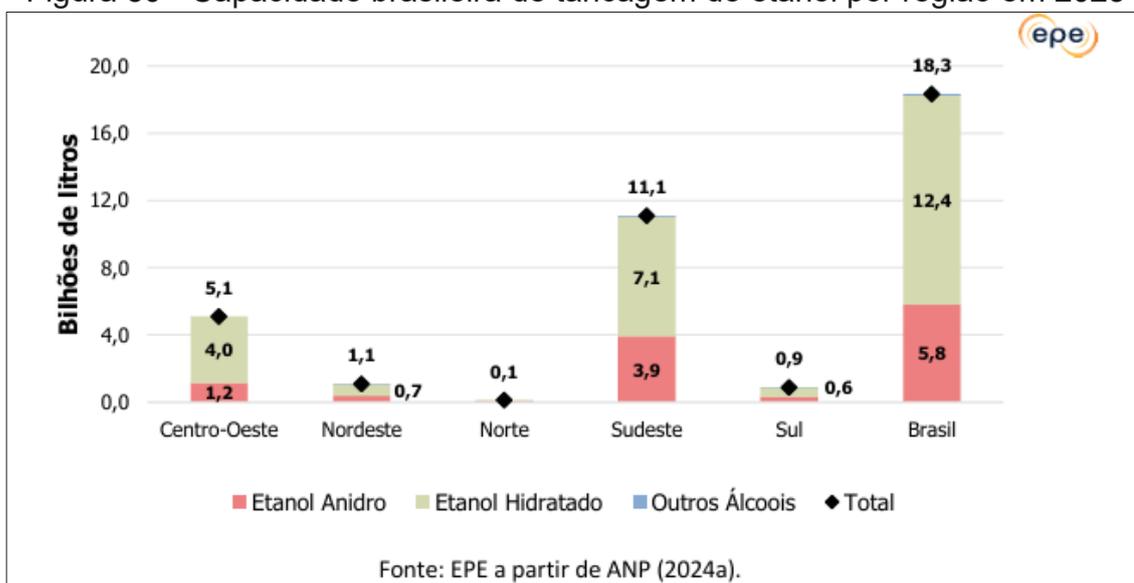


A figura demonstra o preço médio do etanol em 2023, de R\$ 4,43/litro e de forma didática explica a composição do valor final, considerando o maior percentual para o produtor, 52% no preço final, seguido dos impostos, que somando os federais e estaduais se tem 21% do valor do etanol (EPE, 2024).

Nesta toada, verifica-se a necessária atuação do poder público, através de políticas públicas, viabilizando os preços do etanol e assegurando uma política de preços igualitária, visto que, quando as ações governamentais são realizadas para reduzir ou manter o preço da gasolina, interferindo no mercado, acabam impactando na diferença de valores do etanol, por vezes, inviabilizando a utilização do biocombustível. Sendo assim, as políticas devem privilegiar o etanol, frente a forte frota de veículos *flex*, bem como, as características de sustentabilidade do etanol, conforme mencionado ao longo do estudo.

Além da questão de preço do etanol, a armazenagem e distribuição também são pontos importantes para a efetiva viabilidade desse biocombustível. Neste contexto, a EPE (2024) destaca a esfera da tancagem no cenário brasileiro, conforme figura abaixo:

Figura 50 - Capacidade brasileira de tancagem de etanol por região em 2023



A figura 50 demonstra que o Brasil em 2023 registrou uma capacidade de armazenagem de 18,3 bilhões de litros, sendo 12,4 bilhões para o hidratado, 5,8 bilhões para o anidro. A região sudeste se destaca com a maior capacidade de tancagem, demonstrando conformidade com os volumes que são produzidos na localidade. Válido o destaque que em comparação, as demais regiões têm uma diferença considerável frente a sudeste, demonstrando uma desigualdade expressiva que deve ser conduzida por ações governamentais para potencializar a distribuição do etanol pelo país.

Propondo um comparativo de dados, em relação a produção de etanol, no ano de 2023, foram produzidos 29,5 bilhões de litros a partir da cana, que somados à participação do biocombustível oriundo do milho de 5,8 bilhões de litros (crescimento de 40%), alcançou 35,3 bilhões de litros (15,3% superior a 2022). O total de hidratado e anidro foram, respectivamente, de 21,5 e 13,9 bilhões de litros (EPE, 2024).

No que tange a logística, a EPE (2024) destaca que a maior parte da distribuição de etanol no Brasil é feita pelo modal rodoviário. Além da problemática da emissão de gases poluentes do modo de transporte, a distribuição do etanol para todo o país é uma tarefa complexa, visto que, a produção do etanol se concentra na região sudeste do país, conforme citado anteriormente. Válido o destaque que os custos de frete têm impacto do preço final do biocombustível também. Neste contexto, como alternativa tem-se os modos dutoviário e ferroviário. A empresa Logum, que foi criada por uma associação de seis empresas brasileiras, entre as quais a Copersucar, a Raizen, a Petrobras e a Uniduto Logística, disponibiliza um sistema multimodal de transporte de biocombustíveis que conta com um sistema integrado de logística para o etanol que consiste em poldutos próprios e a utilização de existentes, cuja extensão final será de 1.400 km, com capacidade anual máxima de transporte de até 9 bilhões de litros de etanol, conforme a figura abaixo:

Figura 51 - Sistema integrado de logística para o etanol - Logum



Fonte: <https://www.logum.com.br/O-Sistema-Logum>, (acesso em 06/02/2025).

A EPE (2024) indica que considerando o sistema da Logum, os trechos dos dutos que se encontram em operação são próprios, em Ribeirão Preto (SP) – Paulínia (capacidade operacional de 2,8 bilhões de litros/ano); Uberaba (MG) – Ribeirão Preto (SP) (capacidade operacional de 1,8 bilhão de litros/ano), e Guararema (SP) – Guarulhos (SP) - São Caetano do Sul (SP) – São José dos Campos; e subcontratados em Paulínia (SP) – Barueri (SP); Paulínia (SP) – Rio de Janeiro (RJ). A capacidade de armazenamento dos tanques (volume útil) nos terminais operacionais do sistema é de 617 milhões de litros. Em 2023, o volume de etanol movimentado foi de 4,3 bilhões de litros, 22% a mais do que no ano anterior

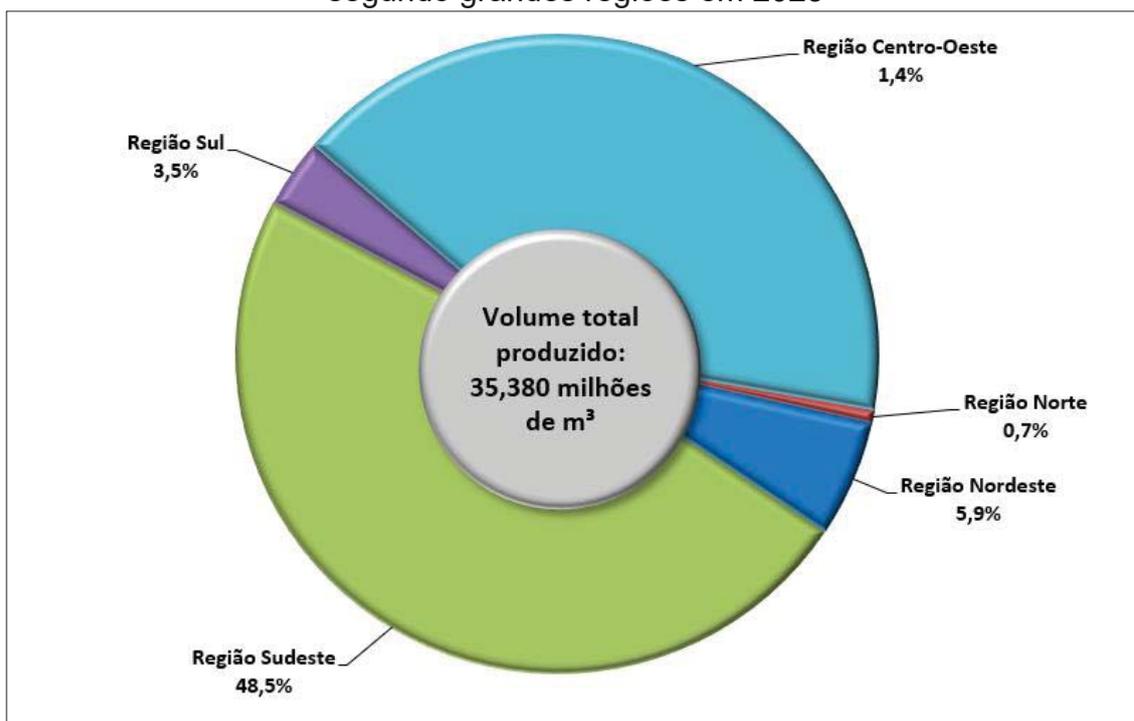
Neste sentido, importante mencionar o transporte do etanol da Copersucar, maior empresa do setor sucroenergético do Brasil, que ao indicar o mercado interno do etanol afirma que a logística é feita tanto pela própria Copersucar quanto pelas distribuidoras, responsáveis por transportar 3,9 milhões de m³ dos 4,7 milhões de m³ de etanol, considerando dados de 2020, sendo a movimentação via transporte rodoviário, com caminhões, e dutoviário, por meio de dutos (Copersucar, 2024).

A Copersucar (2024) indica que quando o transporte é dutoviário, é contratada uma transportadora rodoviária para carregar o etanol em caminhão na usina e descarregar em uma das unidades da Logum Logística (empresa da qual a

Copersucar é sócia), localizadas em Uberaba (MG) e Ribeirão Preto (SP), a Logum leva por dutos o etanol até Paulínia (SP) onde se subcontrata os dutos da Transpetro para enviar até o terminal da distribuidora que pode ser em Barueri (SP), Guarulhos (SP), Duque de Caxias (RJ) ou Ilha D'água (RJ). Após é contratado uma transportadora rodoviária para carregar o etanol para as bases das distribuidoras. Sendo rodoviário a própria distribuidora contrata a transportadora para carregar o caminhão do etanol.

Verifica-se a complexidade do transporte do etanol e a forte concentração da produção, a EPE (2024) indica que a região Centro-Sul representou 91% da produção total de cana-de-açúcar no ano de 2023. Neste contexto, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, demonstra na figura a seguir a distribuição da produção do etanol, segundo regiões no cenário nacional:

Figura 52 - Distribuição percentual da produção de etanol anidro e hidratado, segundo grandes regiões em 2023



Fonte: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024#Secao4>, (acesso em 06/02/2025).

É possível perceber que a produção de etanol é fortemente concentrada na região Sudeste do país, sendo assim, a logística para as demais regiões deve ser

desenvolvida para viabilizar a distribuição com menor custo, reduzindo o impacto sobre o preço final. Neste contexto, Coleti e Oliveira (2016, p. 4) afirmam que “no caso, a crescente demanda por etanol requer altas inversões em unidades de armazenamento/tancagem em locais estratégicos e uma estrutura de transporte que seja compatível com a crescente produção e consumo deste combustível”.

Ainda, Coleti e Oliveira apud Mitsutani (2016, p. 4) asseguram que “o fato de existir uma concentração da produção de etanol e uma pulverização do consumo leva a um distanciamento dos centros produtores aos centros consumidores, implicando em maiores custos logísticos. Prossegue Coleti (2013, p. 8) que:

No curto-prazo, a forma mais rápida de melhoria na situação logística é de investimentos por parte de empresas privadas e do governo na infraestrutura. Programas de apoio ao crescimento e o próprio investimento a partir da demanda criada pelas instituições privadas são uma forte fonte de desenvolvimento.

Sendo assim, verifica-se a importância de que o governo brasileiro, além das legislações voltadas para o estímulo da utilização dos biocombustíveis, invista em pesquisa e desenvolvimento para a distribuição do etanol de forma igualitária para todas as regiões do país, visto que as dificuldades de distribuição, bem como, a forte dependência do transporte rodoviário pode inviabilizar o biocombustível em algumas localidades mais distantes dos locais de produção.

Então, após a análise do etanol frente a eletrificação, bem como, da gasolina, neste contexto, é possível perceber que o etanol é uma alternativa econômica e sustentável, porém para viabilizar o biocombustível para o consumidor se faz necessárias eficientes políticas públicas, que além de priorizar os biocombustíveis, assegurem o preço, a produção e a distribuição do etanol no cenário nacional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da pesquisa foi possível constatar que as mudanças climáticas e o aquecimento global são as problemáticas mundiais de maior relevância no contexto atual. A utilização desmedida dos combustíveis fósseis já causa fortes impactos no meio ambiente e para a sobrevivência da humanidade é necessária redução dos reflexos ambientais.

Então, frente a relevância da temática ambiental, inicialmente se avaliou a evolução da matriz energética brasileira, o destaque das energias para a salvaguarda da natureza. Demonstrou-se que a energia é essencial para a vida, faz parte da história da sociedade e a forma que se utiliza dos recursos energéticos reflete diretamente na matriz energética do país. Ainda, verificou-se que a sociedade, ao longo da história, teve forte utilização dos combustíveis fósseis.

Neste contexto, foi possível perceber que o Brasil se destaca como um player mundial importante, com uma matriz energética forte em recursos renováveis, sendo que o país conta com vasta biodiversidade e importante participação de energia hidrelétrica, levando o país a estar à frente do mundo da temática ambiental. Entretanto, ao analisar as emissões de gases do efeito estufa da matriz brasileira se verifica que o setor dos transportes se sobressai, além de ser o maior consumidor de energia, é responsável pelo maior percentual de emissões ultrapassando as indústrias, residências e demais setores.

No contexto brasileiro, com forte utilização do modal rodoviário, os impactos no setor dos transportes refletem diretamente nos resultados da matriz energética do país. Sendo assim, a pesquisa analisando o Proálcool, programa criado pelo governo no ano de 1975 após a crise do petróleo que impulsionou através de subsídios o etanol como combustível, se percebe o destaque do Brasil como produtor de álcool durante o período dos incentivos, ainda, é possível verificar que as medidas utilizadas no programa proporcionaram um crescimento expressivo nas tecnologias e produção do setor sucroalcooleiro. O segundo choque o petróleo reacendeu a discussão energética que levou a segunda fase do programa, que em 1985 terminou.

Apesar dos impulsos possibilitados pelo Proálcool, o etanol foi descredibilizado no mercado, frente a alta demanda e consequente falta de álcool, num cenário de altos preços do açúcar, levando os produtores a abandonar a

produção do etanol. O programa demonstrou a força das ações governamentais com subsídios e incentivos para os combustíveis, porém naquele momento sem um viés ambiental, privilegiando apenas questões mercadológicas da época. A chegada dos veículos *flex* fez ressurgir o etanol no cenário brasileiro, uma tecnologia que permitiu que o consumidor utilizasse tanto o etanol como a gasolina de forma segura. Na pesquisa, ainda fica evidenciado os benefícios do etanol, um combustível renovável e sustentável, com forte potencial de consumo no país.

O Brasil além de ser um forte produtor de etanol, é destaque global na produção de biocombustíveis de qualidade, sendo assim, é possível aproveitar dessa característica para viabilizar a esfera ambiental. Ainda, é possível que o processo produtivo do etanol seja sustentável e socialmente viável, reduzindo as queimadas, considerando as novas tecnologias de produção, utilizando ferramentas como o zoneamento para aumentar a segurança dos alimentos e da proteção de biomas, considerando as vastas possibilidades territoriais brasileiras para a plantação da cana-de-açúcar.

Neste contexto, demonstra-se a viabilidade ambiental do etanol, sendo que o governo brasileiro deve considerar políticas públicas para assegurar a efetiva utilização. No que tange as ferramentas, se indica a tributação como instrumento para moldurar condutas, utilizando da extrafiscalidade para beneficiar o uso do biocombustível. Válido o destaque, que nas ferramentas extrafiscais não é necessário aumentar a carga tributária, sendo possível, benefícios privilegiando escolhas sustentáveis.

Verifica-se que o etanol além de ser renovável, tem ciclo neutro de carbono, sendo assim, há uma compensação de CO₂, quando há captura durante a obtenção da matéria prima, que depois será liberado na queima do combustível quando utilizado o veículo. No estudo também se apurou a legislação dos biocombustíveis, da importância do aporte jurídico viabilizando a proteção ambiental, legislações como Renovabio, Projeto Mover e a mais recente Lei do Combustível do Futuro de 2024, demonstram o viés ecológico no setor dos combustíveis, bem como, podem impulsionar a renovabilidade na matriz energética brasileira.

No que tange a chegada dos motores elétricos a pesquisa demonstra que a novidade, que por vezes é apresentada como a solução para os transportes, está

revestida de problemas e inseguranças, considerando a necessidade de fortalecer a estrutura, o abastecimento, bem como, das incertezas quanto ao descarte de peças e baterias a longo prazo. Evidente que os veículos elétricos são sustentáveis e alternativa aos combustíveis fósseis, sendo assim, não é preciso abandonar a eletrificação, até mesmo, considerando que essa tecnologia está em alta mundo afora, porém considerando o cenário brasileiro o etanol é um forte concorrente.

Ao final da pesquisa, ao propor uma comparação da eletricidade com o etanol, demonstra-se que, ainda em 2023, a frota *flex* é maioria no mercado nacional, considerando que o automóvel é um bem durável, tem-se longos anos para que a eletrificação comece a competir de forma forte com os flexíveis. O etanol então é uma alternativa barata e eficaz de substituto para os combustíveis fósseis. Além disso, o etanol conta com uma estrutura de produção pronta e compatível com a maioria da frota dos veículos brasileiros.

Evidente que há complexidades a serem resolvidas relacionadas com o preço, a distribuição e o armazenamento do etanol, sendo assim, por meio de políticas públicas o governo brasileiro pode assegurar a paridade de preços, viabilizando o etanol como substituto da gasolina. O estudo demonstra que frente a concentração da produção do etanol na região sudeste brasileira há complexidade na distribuição do produto para as demais localidades, sendo assim, o poder público precisa através de investimentos e pesquisas desenvolver alternativas baratas e seguras para a logística do setor.

Desta forma, ao final, após confrontar o etanol, a gasolina e a eletrificação, percebe-se que o uso da gasolina deve ser reduzido, na pesquisa verifica-se os variados reflexos negativos e da necessária substituição. No que tange a eletrificação ainda há desafios para a implantação da tecnologia no país, sendo assim, o etanol se destaca como uma solução segura e eficaz de substituto para os combustíveis fósseis, inclusive sob a perspectiva ambiental.

REFERÊNCIAS

AMARO, Luciano da S. **Direito Tributário Brasileiro**. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. 9786555592993. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555592993/>. Acesso em: 08 out. 2023.

ANTUNES, Paulo de B. **Direito Ambiental**. Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2023. E-book. ISBN 9786559773787. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559773787/>. Acesso em: 19 out. 2023.

AYRES, Robert U.; AYRES, Edward H. **Cruzando a fronteira da energia**. Porto Alegre: Grupo A, 2012. E-book. ISBN 9788540701809. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788540701809/>. Acesso em: 13 set. 2024.

BARBOSA, Eduarda P.; SANTOS, Lilian da S.; LEÃO, Luisa de M.; et al. **Sistemas de transportes**. Porto Alegre: SAGAH, 2022. E-book. p.12. ISBN 9786556903415. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556903415/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição Federal da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 08 jan. 2025.

BRASIL. LEI Nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. **Código Tributário Nacional**. Brasília, DF, 25 outubro 1966. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5172compilado.htm. Acesso em: 08 jan. 2025.

BRASIL. **Decreto-lei nº 76.593, de 14 de novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras Providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html#:~:text=Institui%20o%20Programa%20Nacional%20do%20%C3%81lcool%20e%20d%C3%A1%20outras%20Provid%C3%AAncias>. Acesso em: 25 jan. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 30 jan. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos2015-2018/2017/Lei/L13576.htm. Acesso em: 30 jan. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.902 de 27 de junho de 2024.** Institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Programa Mover); altera o Decreto-Lei nº 1.804, de 3 de setembro de 1980; e revoga dispositivos da Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2024/lei/l14902.htm. Acesso em: 30 jan. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.993 de 8 de outubro de 2024.** Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: 30 jan. 2025.

CALDEIRA, Jorge; SEKULA, Júlia Marisa; SCHABIB, Luana. **Brasil: Um Paraíso Restaurável.** Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2020.

CALIENDO, Paulo. **Curso de Direito Tributário.** São Paulo: Editora Saraiva, 2019. 9788553616305. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788553616305/>. Acesso em: 07 out. 2023.

CARRAZZA, Roque Antônio. **Curso de Direito Constitucional Tributário.** 33. ed. São Paulo. Malheiros, 2021. 968p.

CECHIN, Andrei. **A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu.** São Paulo: Editora Senac, 2010.

COLETI, Jamile de Campos; OLIVEIRA, Andrea Leda Ramos. A Intermobilidade no Transporte de Etano Brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. **Revista de Economia Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 57/2019, p.127-144, jan-mar 2019.

CORTESE, Tatiana Tucunduva P.; NATALINI, Gilberto. **Mudanças Climáticas: Do Global ao Local.** Barueri: Editora Manole, 2014. E-book. ISBN 9788520446607. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520446607/>. Acesso em: 18 set. 2024.

CORTEZ, Luís Augusto B. **Proálcool 40: Universidades e Empresas: 40 Anos de Ciência e Tecnologia para o Etanol Brasileiro.** São Paulo - SP: Editora Blucher, 2016. E-book. ISBN 9788521210634. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521210634/>. Acesso em: 20 out. 2023.

COSTA, Regina Helena. **Curso de Direito Tributário – Constituição e Código Tributário Nacional.** 11 ed., rev. e atual. São Paulo: SaraivaJur, 2021.

DENTON, Tom. **Veículos elétricos e híbridos**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. E-book. p.79. ISBN 9788521213024. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521213024/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

DUTRA, Micaela D. Série IDP - **Capacidade Contributiva - Análise dos Direitos Humanos e Fundamentais**, 1 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010. 9788502146648. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502146648/>. Acesso em: 14 out. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2024**: ano base 2023 – Rio de Janeiro, 2024. 275p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica: Demanda de energia de veículos leves 2025-2034** – Rio de Janeiro, 2024. 37p.

FENKER, Eloy A. **Gestão Ambiental: Incentivos, Riscos e Custos**. São Paulo: Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 9788597001181. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597001181/>. Acesso em: 29 out. 2023.

FIORILLO, Celso Antônio P.; FERREIRA, Renata M. **Curso de direito da energia: tutela jurídica da água, do petróleo, do gás natural, do biocombustível, dos combustíveis nucleares, do vento e do sol**. São Paulo - SP: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788502174498. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502174498/>. Acesso em: 29 out. 2023.

FIORILLO, Celso Antônio P. **Direito ambiental tributário**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. 9788547228248. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547228248/>. Acesso em: 15 out. 2023.

GOLDMBERG, Jose. **Energias renováveis**. São Paulo: Editora Blucher, 2012. E-book. p.32. ISBN 9788521215943. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521215943/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GOLDEMBERG, José. **Tudo o que Você Precisa Saber sobre Energia**. Porto Alegre: Grupo A, 2023. E-book. ISBN 9788582606254. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582606254/>. Acesso em: 13 set. 2024.

GOMES, Monike Felipe. **Tecnologias limpas**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

GUSMÃO, Omara Oliveira. Proteção Ambiental e Tributação. **Revista Tributária e de Finanças Públicas**, São Paulo, v. 66/2006, p. 113-148, jan-fev 2006.

HACK, Érico. **Direito Tributário Brasileiro**. 1 ed. Curitiba: Editora Intersaberes, 2015

HOEL, Lester A.; GARBER, Nicholas J.; SADEK, Adel W. **Engenharia de Infraestrutura de Transportes - Uma integração multimodal** - Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012. E-book. p.22. ISBN 9788522113934. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522113934/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

JR, Arlindo P.; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri - SP: Editora Manole, 2016. E-book. ISBN 9786555761313. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555761313/>. Acesso em: 19 out. 2023.

KFOURI, Anis. **Curso de direito tributário**. São Paulo: Editora Saraiva, 2018. 9788553600250. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788553600250/>. Acesso em: 09 out. 2023.

LENZA, Pedro. **Direito Constitucional Esquemático**. 24 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. 1608p.

LORA, Electo; VENTURINI, Osvaldo. **Biocombustíveis**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 19 out. 2023.

LYRIO, PIMENTA, Paulo. **R. Direito Tributário Ambiental**. Grupo GEN, 2019. 9788530988395. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788530988395/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

MANZATTO, Celso Vainer *et al*, **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2009

MARQUES, Leonardo Nunes. A Validade do Emprego da Extrafiscalidade Tributária na Proteção do Meio Ambiente. **Revista Tributária e de Finanças Públicas**, São Paulo, v. 116/2014, p.217-233, maio-jun 2014.

MONTERO, Carlos Eduardo P. **Tributação ambiental: reflexões sobre a introdução da variável ambiental no sistema tributário**, 1 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2013. 9788502216358. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502216358/>. Acesso em: 15 out. 2023.

MOREIRA, José Roberto S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788521636816. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636816/>. Acesso em: 29 out. 2023.

NOVAIS, Rafael. **Direito Tributário Facilitado**. São Paulo: Grupo GEN, 2021. 9788530990985. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788530990985/>. Acesso em: 09 out. 2023.

PIMENTA, Paulo Roberto L. **Direito Tributário Ambiental**. São Paulo: Grupo GEN, 2019. 9788530988395. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788530988395/>. Acesso em: 20 out. 2022.

PINTO, Fabiana L. **Direito Tributário**. São Paulo: Editora Manole, 2012. 9788520444399. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520444399/>. Acesso em: 08 out. 2023.

RECH, Adir Ubaldo; RECH, Adivandro. **Cidade sustentável: direito urbanístico e ambiental - instrumentos de planejamento**. 1. ed. Porto Alegre: EducS, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 jan. 2025.

REIS, Lineu Belico dos. **Matrizes Energéticas: Conceitos e Usos em Gestão e Planejamento**. Barueri – SP. Editora Manole, 2011. *E-book*. ISBN 9788520442562. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520442562/>. Acesso em: 29 out. 2023.

REIS, Lineu Belico dos; FADIGAS, Eliane A A.; CARVALHO, Cláudio E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável** 3a ed.. 3. ed. Barueri: Manole, 2019. *E-book*. p.2. ISBN 9788520456828. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788520456828/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

RIBEIRO, Maria de Fátima dos Santos. **Sistemas de bioenergias**. São Paulo, SP: Contentus, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SABBAG, Eduardo. **Direito Tributário Essencial**. São Paulo: Grupo GEN, 2021. 9786559640317. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559640317/>. Acesso em: 08 out. 2023.

SANTOS, Marco Aurélio dos. **Fontes de Energia Nova e Renovável**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. *E-book*. p.52. ISBN 978-85-216-2474-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-2474-5/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SANTOS, Max Mauro D. **VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS - FUNDAMENTOS, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**. Rio de Janeiro: Érica, 2020. *E-book*. p.18. ISBN 9788536532837. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536532837/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SANTOS, Thauan; SANTOS, Luan. **Economia do Meio Ambiente e da Energia - Fundamentos Teóricos e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. E-book. p.4. ISBN 9788521635673. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521635673/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SARLET, Ingo W.; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de Direito Ambiental - 4ª Edição** 2023. 4. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2023. E-book. p.1027. ISBN 9786559648603. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559648603/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SILVA, Cylon Gonçalves da. **De sol a sol: a energia no século XXI**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SILVA, Cleyton Martins da; ARBILLA, Graciela. **Emissões atmosféricas e mudanças climáticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 18 jun. 2024.

SCHOUERI, L. E. **Direito Tributário**. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. 9786555596366. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555596366/>. Acesso em: 07 out. 2023.

SMIL, Vaclav. **Energia e Civilização: Uma História**. Porto Alegre: Grupo A, 2024. E-book. ISBN 9788582606407. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582606407/>. Acesso em: 13 set. 2024.

SOUZA, James J. Marins, TEODOROVICZ, Jeferson. Extrafiscalidade Socioambiental. **Revista Tributária e de Finanças Públicas**, São Paulo, v. 90/2010, p. 73-123, jan-fev 2010.

TUPIASSU, Lise; NETO, João Paulo M. **Tributação, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Grupo GEN, 2015. 9788530968434. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788530968434/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

VOLPATTO, Carlla P.; LUCCHESI, Shanna T.; GIROTTI, Carolina; et al. **Planejamento de transportes urbanos**. Porto Alegre: SAGAH, 2019. E-book. p.17. ISBN 9788533500440. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788533500440/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

YERGIN, Daniel. **O Novo Mapa: Energia, Clima e o Conflito entre Nações**. Porto Alegre: Bookman, 2023. E-book. p.335. ISBN 9788582606018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582606018/>. Acesso em: 30 jan. 2025.