



Fernando Abritta Figueiredo

A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira e para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Conservação e Sustentabilidade, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio.

Orientador: Dr. Sergio Margulis

Rio de Janeiro,
Setembro de 2023



Fernando Abritta Figueiredo

A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira e para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Conservação e Sustentabilidade, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Dr. Sergio Margulis

Orientador

Instituto Internacional para a Sustentabilidade - IIS-Rio

Dr. David Zylbersztajn

Instituto de Energia - PUC-Rio

Dra. Carolina Burle Schmidt Dubeux

Centro Clima/COPPE - UFRJ

Rio de Janeiro, 18 de setembro de 2023

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fernando Abritta Figueiredo

Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1999. Bacharel e Licenciado em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2009. Pós-Graduado em Engenharia Econômica e Administração Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001). É servidor público do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atualmente trabalhando na Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas.

Ficha Catalográfica

Figueiredo, Fernando Abritta

A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira e para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) / Fernando Abritta Figueiredo; orientador: Sergio Margulis. – 2023.

170 f.; il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2023.

Inclui bibliografia

1. Geografia e Meio Ambiente – Teses. 2. Biodiesel. 3. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). 4. Biocombustíveis. 5. Gases do efeito estufa (GEE). 6. Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). I. Margulis, Sergio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Geografia e Meio Ambiente. III. Título.

CDD: 910

Para meu filho Gabriel, que viva em
um mundo mais justo e sustentável.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Sergio Margulis, pela parceria na realização desta dissertação e pelas suas sugestões e comentários sempre pertinentes e incentivos ao longo do trabalho.

Aos meus pais, pela educação recebida e por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao meu filho, Gabriel, por alegrar minha vida.

À Denise, por todo apoio, incentivo, e dedicação ao nosso filho.

Aos professores do Mestrado Profissional em Ciência da Sustentabilidade pelas excelentes aulas e aprendizado.

Aos membros da Comissão Examinadora.

Aos funcionários, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio, e do CCE PUC-Rio pela atenção e boa vontade em responder prontamente a qualquer demanda.

À Ana Paula Lima, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente, pela dedicação e apoio durante todo o mestrado, sempre atenciosa com todos os alunos.

Aos meus colegas de turma do mestrado.

Ao Daniel Furlan Amaral, por participar da pesquisa e nos proporcionar conhecer a perspectiva do setor produtivo de biodiesel.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Figueiredo, Fernando Abritta; Margulis, Sergio. **A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira e para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Rio de Janeiro, 2023. 170p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A dissertação faz uma análise do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2005, que introduziu na matriz energética brasileira o biodiesel, um combustível renovável e orgânico, que pode ser produzido a partir de óleos vegetais, gorduras de animais e óleos residuais de frituras. O PNPB estabeleceu a adição do biodiesel ao diesel fóssil de forma gradual e parcial, cujo teor deverá alcançar 15% em 2026. O PNPB é analisado com base nos três pilares da sustentabilidade, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Na economia, apesar dos custos do biodiesel serem maiores que os do diesel fóssil, o PNPB vem contribuindo para reduzir a sua importação, melhorando o saldo da balança comercial. Na questão ambiental, o biodiesel, ao substituir parcialmente o consumo de diesel, contribui para a descarbonização do setor de transporte e para que o Brasil cumpra seu objetivo de redução de emissões, determinado no Acordo de Paris (2015), uma vez que o biodiesel emite cerca de 70% menos GEE, em relação ao diesel fóssil. No aspecto social, embora não tenha cumprido o objetivo original de priorizar a agricultura familiar do Norte e Nordeste, o PNPB instituiu desonerações fiscais através do Selo Biocombustível Social aos produtores de biodiesel que adquirissem matérias-primas da agricultura familiar, fomentando a inclusão social, a geração de trabalho e renda no campo e o desenvolvimento regional. Desse modo, o PNPB contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que englobam metas ambientais, econômicas e sociais, que deverão ser cumpridas até 2030. A dissertação também analisa se há competição relevante pelo uso da terra entre a produção de biodiesel e as terras reservadas à conservação ambiental ou utilizadas na produção de alimentos. Por fim, são analisados diferentes cenários tendenciais de produção e uso do biodiesel e biocombustíveis no Brasil, em um contexto em que os veículos elétricos tendem a ser cada vez mais disseminados, mas com intensidade menor no caso dos veículos pesados (caminhões e ônibus) e nos países em desenvolvimento.

Palavras-chave

Biodiesel; Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB); biocombustíveis; gases do efeito estufa (GEE); objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS); agricultura familiar; veículos elétricos.

Abstract

Figueiredo, Fernando Abritta; Margulis, Sergio (Advisor). **The contribution of biodiesel to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions from the Brazilian energy matrix and to the Sustainable Development Goals (SDGs)**. Rio de Janeiro, 2023. 170p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The dissertation analyzes the National Program for the Production and Use of Biodiesel (PNPB), created in 2005, which introduced biodiesel into the Brazilian energy matrix, a renewable and organic fuel that can be produced from vegetable oils, animal fats and used cooking oil. The PNPB established the gradual and partial addition of biodiesel to fossil diesel, whose content should reach 15% in 2026. The PNPB was analyzed based on the three pillars of sustainability, considering the economic, social and environmental aspects. In the economy, despite the higher costs of biodiesel than diesel, the PNPB has contributed to reducing diesel imports, improving the trade balance. On the environmental side, biodiesel contributes to the decarbonization of the transport sector by partly replacing diesel consumption. It also helps Brazil to meet its Paris Agreement emission reduction objectives, since biodiesel emits about 70% less GHG than fossil diesel. In terms of social contribution, even though it did not fulfill its original objective to prioritize family farming in the North and Northeast, the PNPB instituted tax breaks for biodiesel producers who purchase raw materials from family farmers through the Social Biofuel Certificate, fostering social inclusion, the generation of jobs and income in the countryside and regional development. In this way, the PNPB contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs), which include environmental, economic and social goals, which must be met by 2030. The dissertation also analyzes whether there is relevant land use competition between the production of biodiesel with land reserved for environmental conservation or used in food production. Finally, different future scenarios of production and use of biodiesel and biofuels in Brazil are analyzed, in a context in which electric vehicles tend to be increasingly widespread, but with lower intensity in the case of heavy vehicles (trucks and buses) and in developing countries.

Keywords

Biodiesel; National Program for the Production and Use of Biodiesel (PNPB); biofuels; greenhouse gas (GHG); sustainable development goals (SDGs); family farming; electric vehicles.

Sumário

1. Introdução	21
1.1. Objetivos	27
1.2. Metodologia.....	28
2. Breve histórico da produção de biocombustíveis no Brasil	30
2.1. Introdução	30
2.2. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e a produção do etanol ..	33
2.3. O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).....	40
2.4. A produção de outros biocombustíveis	53
3. A produção do biodiesel no Brasil.....	56
3.1. Introdução	56
3.2. A produção atual e as principais matérias-primas utilizadas.....	56
3.3. A soja: a matéria-prima mais utilizada.....	65
3.4. A Mamona e o Dendê e os incentivos do PNPB para estimular a agricultura familiar	70
3.5. As palmeiras nativas	73
3.6. O biodiesel de segunda geração: HVO (Hydrotreated Vegetable Oil ou Óleo Vegetal Hidrotratado) - o diesel verde ou diesel renovável.....	75
4. Análise econômica do PNPB.....	77
4.1. Introdução	77
4.2. Os custos de produção do biodiesel, segundo as matérias-primas utilizadas.....	77
4.3. A importância do biodiesel para a redução das importações de petróleo e de diesel - a balança comercial brasileira.....	86

4.4. Existe competição relevante pelo uso da terra para a produção de matérias-primas destinadas à produção de biodiesel com a produção de alimentos e a preservação da vegetação nativa?	93
5. A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira	102
5.1. Introdução	102
5.2. A matriz energética brasileira	102
5.3. A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de GEE da matriz energética brasileira	106
5.4. O RenovaBio - A Política Nacional de Biocombustíveis	114
6. O PNPB e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	121
7. As perspectivas dos biocombustíveis e do biodiesel diante da tendência de expansão dos veículos elétricos	128
8. Considerações finais	142
9. Referências bibliográficas	146
Apêndice (resposta ao questionário enviado às associações de produtores de biodiesel)	166

Lista de figuras

Figura 1: O processo de produção do biodiesel	44
Figura 2: O ciclo de produção do biodiesel	45
Figura 3: Fluxo de comercialização do biodiesel no modelo de leilões que vigorou até 2021	49
Figura 4: Evolução do percentual obrigatório de adição de biodiesel no diesel mineral (previsto)	51
Figura 5: Mapa com percentual de adição de biodiesel no diesel fóssil em alguns países – 2020	53
Figura 6: Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100), segundo Grandes Regiões (mil m ³ /ano) – 2021	59
Figura 7: Distribuição das usinas de biodiesel no Brasil – 2021.....	60
Figura 8: Foto de usina de biodiesel	61
Figura 9: Aptidões regionais para o fornecimento de matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel no Brasil	64
Figura 10: Localização das áreas produtoras de soja, das indústrias processadoras de soja e das usinas de biodiesel no Brasil	69
Figura 11: Sistema Agroflorestal com dendê em Tomé-Açú (Pará)	73
Figura 12: Processo produtivo do HVO	75
Figura 13: Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola a custo de produção agrícola (com arrendamento) em planta de 40 mil toneladas por ano - Safra 2004-2005	84
Figura 14: Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola comprada no mercado em planta de 40 mil toneladas por ano - Safra 2004-2005.....	85
Figura 15: Distribuição da produção de soja nos biomas brasileiros em 2019	96
Figura 16: Localização da área de soja cultivada no bioma Amazônia e os 109 municípios com mais de 5.000 ha de soja na safra 2020/21	97
Figura 17: Oferta interna de energia (OIE) - divisão entre renováveis e não renováveis – 2021	104
Figura 18: Etapas envolvidas no levantamento da pegada de Carbono do biodiesel de soja.....	110

Figura 19: Esquema de funcionamento do RenovaBio	117
Figura 20: Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	121
Figura 21: Funcionamento dos tipos de veículos elétricos: HEV, PHEV, BEV e FCEV.....	129

Lista de gráficos

Gráfico 1: Concentrações de CO ₂ na atmosfera	21
Gráfico 2: Maiores produtores de etanol e de biodiesel (em bilhões de litros) – 2020.....	32
Gráfico 3: Mix de produção (açúcar x etanol) - safra 2012/2013 - safra 2021-2022	36
Gráfico 4: Produção brasileira de etanol (da cana-de-açúcar e do milho) - 2012-2021	37
Gráfico 5: Demanda do ciclo Otto e participação dos diferentes combustíveis - 2012-2021	38
Gráfico 6: Percentual de etanol exigido na gasolina por país em 2019.....	39
Gráfico 7: Preços médios - biodiesel e diesel sem ICMS.....	50
Gráfico 8: Produção brasileira de biodiesel puro (B100) x vendas de óleo diesel B pelas distribuidoras, em metros cúbicos (m ³): 2005-2021	57
Gráfico 9: Capacidade de produção e consumo de biodiesel - em bilhões de litros: 2012-2021.....	58
Gráfico 10: Produção de biodiesel por Grande Região (em % do país) – 2021	59
Gráfico 11: Participação das matérias-primas na produção de biodiesel em 2021	63
Gráfico 12: Mercado de óleo de soja - 2012-2021	67
Gráfico 13: Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, em percentual do total: 2012-2021	68
Gráfico 14: Produção de soja e de biodiesel por Grandes Regiões do Brasil, em percentual do total, em 2021	69

Gráfico 15: Preços internacionais do biodiesel, diesel, óleo de soja e óleo de palma.....	78
Gráfico 16: Percentual médio de custos variáveis no processo de transesterificação	78
Gráfico 17: Importação de metanol para a produção de biodiesel (em quantidade (mil t) e valor (US\$)) - 2012-2021	80
Gráfico 18: Preço médio anual do óleo de soja em bruto por tonelada no atacado no Paraná, de 2005 a 2022	82
Gráfico 19: Evolução do volume importado (milhões de barris) e do dispêndio com a importação de petróleo (milhões de US\$) - 2012-2021 ...	87
Gráfico 20: Participação, em volume e dispêndio, dos principais derivados de petróleo importados em 2021	88
Gráfico 21: Oferta de diesel A (sem adição de biodiesel) e produção de biodiesel - 2012-2021	89
Gráfico 22: Importação de óleo diesel (em m ³) e em valor (mil US\$) - 2012-2021	90
Gráfico 23: Economia com a substituição da importação de óleo diesel pela produção interna de biodiesel, desde o início do PNPB - 2005-2021	91
Gráfico 24: Quantificação territorial da ocupação, dos usos das terras e das áreas destinadas à preservação, conservação e proteção da vegetação nativa no Brasil (2021)	98
Gráfico 25: Cabeças, área de pastagem e taxa de lotação de bovinos - Brasil - 1940/2017	99
Gráfico 26: Evolução da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia (OIE) - 2012-2021	104
Gráfico 27: Repartição da oferta de “outras renováveis” – 2021	105
Gráfico 28: Emissões de GEE no Brasil por setor em t CO ₂ -eq, em percentual do total: 2021	107
Gráfico 29: Emissões de CO ₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira, em Mt CO ₂ -equivalente – 2021	108
Gráfico 30: Emissões evitadas com biocombustíveis no Brasil em 2021 ..	109

Gráfico 31: Efeito da adição de biodiesel nas emissões diretas em motores do ciclo diesel para misturas de 5%, 10% e 20% de biodiesel no diesel.....	112
Gráfico 32: Emissões evitadas pelo uso do biodiesel (t CO ₂ -eq) e produção de biodiesel (m ³): 2005 a 2021	113
Gráfico 33: Metas compulsórias de redução das emissões de GEE	115
Gráfico 34: Certificações de produção de biocombustíveis válidas (acumulado)	116
Gráfico 35: Nota de Eficiência Energético-Ambiental das unidades certificadas até junho de 2021.....	119
Gráfico 36: Certificações por rota de produção e percentual do volume elegível por rota até junho de 2022	120
Gráfico 37: Número de famílias fornecedoras de matérias-primas para a produção de biodiesel, que possuem o Selo Biocombustível Social – 2008-2020	123
Gráfico 38: Valor e quantidade de matéria-prima adquirida da agricultura familiar pelas usinas que possuem o Selo Biocombustível Social – 2008-2020	125
Gráfico 39: Renda anual dos produtores familiares participantes do PNPB, obtida com a venda de matérias-primas – 2008-2020.....	126
Gráfico 40: Vendas de veículos leves (milhões) e pesados (milhares) em 2019	128
Gráfico 41: Cenário Inercial - Veículos leves - mix de vendas anual (milhões de veículos)	131
Gráfico 42: Cenário Inercial - Veículos pesados - mix de vendas anual (milhares de veículos)	132
Gráficos 43: Cenário “Convergência Global” - Veículos leves - mix de vendas anual (milhões de veículos)	133
Gráficos 44: Cenário “Convergência Global” - Veículos pesados - mix de vendas anual (milhões de veículos)	133
Gráfico 45: Vendas de veículos eletrificados leves no Brasil: 2012-2022 .	135
Gráfico 46: Vendas de veículos eletrificados pesados (caminhões e ônibus) no Brasil: 2012-2022.....	136

Lista de tabelas

Tabela 1: Características das oleaginosas.....	62
Tabela 2: Início de operação e capacidade de refino (barris/dia) das refinarias brasileiras	86
Tabela 3: Balança comercial da produção de biodiesel: importação de óleo diesel, exportação de glicerina bruta e de glicerol, e importação de metanol - 2015-2021 (valores em US\$)	91
Tabela 4: Evolução da capacidade de refino (barris/dia), segundo refinarias - 2012-2021	92
Tabela 5: O complexo da soja: 2020 e 2021	93
Tabela 6: Emissões de GEE do diesel mineral padrão mundial e de diferentes percentagens de biodiesel na mistura com o diesel (em gCO ₂ e/MJ)	111
Tabela 7: Emissão de CBIOs, por biocombustíveis – 2021	118
Tabela 8: Aposentadoria de CBIOs - 2021	118

Lista de quadro

Quadro 1: Rotas tecnológicas e energéticas para a descarbonização do setor automotivo.....	129
--	-----

Lista de abreviaturas e siglas

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico

ANEC - Associação Nacional dos Exportadores de Cereais

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APROBIO - Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil

ATER - Assistência técnica e extensão rural

BEV - Battery Electric Vehicle

BioQAV - Bioquerosene de aviação

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAR - Cadastro Ambiental Rural

CBIO - Crédito de Descarbonização

CDS - Comissão de Desenvolvimento Sustentável

CEIB - Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel

Cepea - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CIDE - Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico

CNAL - Conselho Nacional do Alcool

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CNPEM - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

CNS - Conselho Nacional de Saúde

CO₂ - Dióxido de carbono ou gás carbônico

Cofins - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP 21 - Conference of the Parties

CORSIA - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

DAP - Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

E2G - Etanol de segunda geração

Eco-92 - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPA - Environmental Protection Agency

FAME - Fatty Acid Methyl Ester, ou Éster Metílico de Ácido Graxo

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

GEE - Gases do efeito estufa

HEV - Hybrid Electric Vehicle

HVO - hydrotreated vegetable oil ou óleo vegetal hidrotratado

IAA - Instituto do Açúcar e do Alcool

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICAO - International Civil Aviation Organization

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados

IPVA - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

IRENA - International Renewable Energy Agency

Kers - Kinetic Energy Recovery System

LPVN - Lei de Proteção da Vegetação Nativa

MHEV - Mild Hybrid Electric Vehicle

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

NDC - Nationally Determinated Contributions (Contribuições Nacionalmente Determinadas)

NEEA - Nota de Eficiência Energético-Ambiental

NEVs - New Energy Vehicle

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONU - Organização das Nações Unidas (ONU)

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OVEG - Programa de Óleos Vegetais

PHEVs - Plug-in Hybrid Electric Vehicle

PIB - Produto Interno Bruto

PIS/Pasep - Programa de Integração Social/Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Proálcool - Programa Nacional do Alcool

Probiodiesel - Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

Pronaf - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

Pró-Óleo - Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos

RenovaBio - Política Nacional de Biocombustíveis

RNEST- Refinaria Abreu e Lima

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SAF - Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo

SBS - Selo Biocombustível Social

SCS - Selo Combustível Social

Secex - Secretaria de Comércio Exterior

SIN - Sistema Interligado Nacional

SINDOLEO - Sindicato da Indústria de Óleos Vegetais

SAFs - Sistemas Agroflorestais

Ubrabio - União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima)

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

xEVs - Veículos Eletrificados

ZAE - Zoneamento Agroecológico

1. Introdução

A partir da Revolução Industrial, que segundo o historiador Eric Hobsbawm (1988), teve início na Inglaterra por volta de 1780 e utilizou como fonte de energia para as máquinas e locomotivas a vapor o carvão mineral, abundante naquele país, as emissões de dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) começaram a crescer significativamente.

Na segunda metade do século XIX em diante, a chamada Segunda Revolução Industrial, caracterizada pelo desenvolvimento das indústrias química, de petróleo, siderúrgica e elétrica, se espalhou pela Europa, Estados Unidos e Japão, aumentando a demanda por recursos naturais e energia. Neste período, além da produção de energia por termelétricas, abastecidas em sua maioria por combustíveis fósseis, houve enorme expansão da indústria automobilística, produzindo veículos com motores a combustão movidos a gasolina e diesel, derivados de petróleo. Mas foi após a Segunda Guerra Mundial, com o crescimento populacional e da economia mundial, junto com a industrialização, urbanização e desenvolvimento dos transportes, que as emissões de CO₂ se intensificaram ainda mais, passando a ter um crescimento exponencial (Gráfico 1).

Gráfico 1: Concentrações de CO₂ na atmosfera



Fonte: STATISTA, 2020, apud MARGULIS, 2020.

Além das emissões de CO₂, a poluição do ar, a perda de biodiversidade, a contaminação dos recursos hídricos e do solo, a erosão, a desertificação, o

desmatamento, a sobre-exploração dos recursos naturais, e a explosão demográfica nas grandes cidades, evidenciaram a necessidade de o desenvolvimento seguir em outra direção, que não privilegiasse apenas o crescimento da economia, mas que transformasse a relação do homem com a natureza e, conciliando o crescimento econômico, a melhoria das condições de vida e a preservação ambiental, pilares do desenvolvimento sustentável.

Diante deste quadro, as organizações internacionais passaram a promover reuniões e congressos e a produzir relatórios técnicos para discutir a questão ambiental. Em 1972, o Clube de Roma publicou o relatório “Os limites do crescimento” (*The Limits to Growth*, MEADOWS, et al., 1972), que afirma que o Planeta Terra não suportaria o crescimento da população e suas consequências, como a pressão sobre os recursos naturais limitados e o aumento da poluição, mesmo com os avanços tecnológicos. Para se evitar o colapso sugeriram a redução tanto do crescimento econômico quanto do crescimento populacional.

No mesmo ano foi realizada em Estocolmo a Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, considerada um marco na história ambiental por ser a primeira conferência global a discutir os impactos da humanidade no meio ambiente. Esta conferência ficou caracterizada pelo conflito entre os países desenvolvidos que defendiam o “crescimento zero” e os países “em desenvolvimento”, que almejavam continuar utilizando seus recursos naturais para melhorar suas condições de vida. Nesta reunião foi criado ainda o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

A preocupação com as mudanças climáticas levaram o PNUMA e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) a criar, em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), um grupo formado por cientistas de mais de 100 países para fornecer informações científicas para subsidiar as políticas climáticas dos governos (ONU, 2020).

Em 1992, no Rio de Janeiro, foi realizada uma das mais importantes conferências globais sobre o meio ambiente – a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92 ou Rio-92) – que elaborou as Convenções sobre Biodiversidade, Mudanças Climáticas e Desertificação, além da Declaração de Princípios sobre as Florestas e a Agenda 21, um plano de ação

para a implantação de um modelo de desenvolvimento sustentável no século XXI. Foi criada ainda a Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS), vinculada à ONU, para acompanhar a aplicação da Agenda 21 nos países (ONU, 2020).

Em setembro de 2015, na sede da ONU em Nova York, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, todos os países membros da ONU definiram os “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (ODS), que são 17 objetivos e 169 metas que abordam questões sociais, econômicas, de qualidade de vida e do desenvolvimento sustentável, que deverão ser cumpridos até 2030, e que são base para a denominada Agenda 2030.

Ainda em 2015, em dezembro, durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (COP 21 - *Conference of the Parties*) foi firmado o Acordo de Paris, assinado por mais de 190 países que fazem parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Este acordo substituiu o Protocolo de Kyoto e tem a meta de limitar o aumento da temperatura do planeta em até 2°C até ano 2100, em relação ao período pré-industrial e realizar esforços para que esse aumento seja no máximo de 1,5°C, a fim de minimizar os impactos das mudanças climáticas.

No Acordo de Paris, que entrou em vigor em 04 de novembro de 2016, diferente do Protocolo de Kyoto, todos os países, sejam desenvolvidos ou em desenvolvimento, estabeleceram metas de mitigação nacionais a serem cumpridas até 2030, as chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês), que são o quanto cada país está espontaneamente determinado a reduzir as emissões de GEE (MARGULIS, 2020).

A qualidade do ar que respiramos, formado basicamente por nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂), mas que possui também argônio (Ar), dióxido de carbono (CO₂), gases nobres, vapor de água e poeira, evidentemente depende da magnitude das emissões, e das condições meteorológicas e topográficas da região, que favorecem ou não a dispersão de poluentes, mas também de alguns serviços ecossistêmicos como a captura de gás carbônico pelas florestas, a regulação do clima, e do ciclo hidrológico, que através da evaporação e evapotranspiração das árvores, mantém a temperatura e a umidade do ar. Além disso, a água ao precipitar, agrega partículas de poeira e contaminantes que vão ser depositadas no solo, purificando o ar.

A geração e o consumo de energia, incluindo os combustíveis geram emissões de CO₂ e de outros gases do efeito estufa (GEE), que são externalidades negativas e provocam redução da qualidade do ar atmosférico. O setor de transporte tem, portanto, papel fundamental na mitigação e redução das emissões de GEE.

Como citado no “Manual para Valoração Econômica dos Recursos Ambientais” de Ronaldo Seroa da Motta.

Quando os custos da degradação ecológica não são pagos por aqueles que a geram, estes custos são externalidades para o sistema econômico. Ou seja, custos que afetam terceiros sem a devida compensação. Atividades econômicas são, desse modo, planejadas sem levar em conta essas externalidades ambientais e, conseqüentemente, os padrões de consumo das pessoas são forçados sem nenhuma internalização dos custos ambientais (MOTTA, 1997, p.3).

Dito de forma complementar por Roberto Guena de Oliveira no Manual de Economia da USP.

A poluição pode ser entendida do ponto de vista da economia como uma externalidade negativa. Há uma externalidade negativa quando a atividade de um agente econômico afeta negativamente o bem-estar ou o lucro de outro agente e não há nenhum mecanismo de mercado que faça com que este último seja compensado por isso. Assim, por exemplo, a fumaça que sai do escapamento de um automóvel afeta o bem-estar dos pedestres, mas o motorista não tem de pagar nada por isso a menos que um dispositivo legal o obrigue a tal; uma firma que polui um rio pode afetar a produtividade de um pescador que trabalha no mesmo rio etc. A poluição provocada pelo automóvel assim como a provocada pela firma são, portanto, externalidades negativas (OLIVEIRA, 2001, p. 569).

Uma externalidade negativa do setor de transporte veicular ocorre quando o ganho individual do seu uso é inferior aos danos ambientais causados, devendo haver uma regulação pelo poder público de forma a minimizar os custos sociais coletivos. Entre estes custos, podemos citar, além dos impactos ambientais, os custos do sistema de saúde, que atende pacientes com doenças respiratórias, causadas pela poluição. Desse modo, a regulação, pode ser a exigência de motores e combustíveis menos poluentes, a fiscalização das emissões, por meio das inspeções veiculares, e os programas de redução de emissões veiculares.

Outras alternativas para reduzir a externalidade negativa das emissões veiculares são a substituição integral ou parcial dos combustíveis derivados do petróleo pelos biocombustíveis, fabricados a partir da biomassa, sendo renováveis e orgânicos e que emitem menos GEE, ou ainda a eletrificação veicular, que vem

crescendo nos últimos anos, estando mais avançada nos países desenvolvidos e mais disseminada nos veículos leves (automóveis) do que nos pesados (caminhões e ônibus). Os biocombustíveis, a eletrificação veicular e outras fontes alternativas e mais limpas de energia como as usinas hidrelétricas, eólicas e solares, são opções para minimizar a dependência dos combustíveis fósseis, que um dia se esgotarão, e manter o modo de produção e as condições de vida da sociedade semelhantes às atuais, que exigem o consumo cada vez maior de energia.

No Brasil, os biocombustíveis, sobretudo o etanol e o biodiesel, também são importantes para minimizar os impactos das oscilações dos preços do petróleo e dos combustíveis fósseis, cuja oferta está concentrada em poucos grandes produtores, que atuam em cartel representados pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Durante a década de 1970 ocorreram crises do petróleo, que provocaram súbitos aumentos do preço do petróleo e de seus derivados, que geraram aumento dos índices de inflação. Como resposta à crise foram criados, em 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o objetivo de substituir a gasolina pelo álcool (etanol) e o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-Óleo), em 1980, para substituir o diesel por óleos vegetais. No entanto, com a queda dos preços internacionais do petróleo na década de 1980, o Pró-Óleo foi abandonado em 1986 (POUSA, SANTOS, SUAREZ, 2007).

Posteriormente, em 2005, com uma nova alta dos preços do petróleo e uma maior preocupação em relação ao aumento das emissões de GEE, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Segundo o PNPB e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) a adição de biodiesel ao diesel deveria ser feita de forma progressiva a partir de uma mistura de 2%, com previsão de alcançar 15% em 2023, meta que foi adiada para 2026.

O PNPB relaciona-se com os três pilares da sustentabilidade. Na economia, o biodiesel ao substituir parcialmente o óleo diesel, reduz a necessidade de sua importação, já que a produção brasileira não é suficiente para atender o mercado interno, melhorando o saldo da balança comercial, além de contribuir para o desenvolvimento industrial, geração de emprego e renda. Na questão ambiental, o biodiesel por emitir cerca de 70% menos GEE do que o

diesel, combustível mais consumido no País, diminui as emissões do setor de transporte e auxilia no cumprimento das metas do Acordo de Paris. Já no âmbito social, o programa desde o início teve a preocupação de incentivar a agricultura familiar, ao conceder aos produtores de biodiesel incentivos fiscais para adquirir matérias-primas da agricultura familiar, aumentando a renda dos produtores rurais e fomentando o desenvolvimento regional.

A dissertação analisa a produção e o uso do biodiesel nos transportes e as principais matérias-primas utilizadas. O biodiesel pode ser fabricado com diversas oleaginosas vegetais, sebo bovino e resíduos de óleos, mas desde o início do programa o óleo de soja é responsável por mais de 70% da matéria-prima consumida na produção (ANP, 2022). A dissertação destaca ainda a contribuição do biodiesel para o RenovaBio, a nova Política Nacional de Biocombustíveis, que incentiva o aumento da produção de biocombustíveis e estabeleceu metas de descarbonização para o setor de distribuição de combustíveis.

Neste sentido, o PNPB será analisado do ponto de vista econômico, social e ambiental e do desafio de conciliar o crescimento econômico, com a inclusão social e a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), aspectos importantes para o país alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A produção de biodiesel será examinada também sob a ótica da mudança do uso da terra e se existe competição relevante entre as áreas destinadas à produção de oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel, à produção de alimentos e à preservação da vegetação nativa.

A dissertação aborda ainda a perspectiva de disseminação dos veículos elétricos no mercado automotivo brasileiro de veículos leves e pesados. Os veículos elétricos ao trafegarem não emitem gases do efeito estufa, mas deve-se considerar as emissões totais e os impactos ambientais de todo o ciclo de vida do produto ou o conceito do “poço à roda”, que leva em conta desde a fonte da energia usada no carregamento das baterias, se é renovável ou de origem fóssil, e as emissões da fabricação das baterias elétricas que consomem minérios como lítio, cobalto, níquel e manganês e energia no seu processo produtivo. Segundo Young (2010), “o ciclo de vida do produto refere-se à análise de seus impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final, quando não é mais útil, ou seja, analisa o produto do “berço ao túmulo”. Assim, como as

baterias têm uma vida útil de aproximadamente dez anos, a sua reciclagem ou descarte também devem ser levados em conta ao se analisar os impactos ambientais e a melhor alternativa para o Brasil.

Não existe desenvolvimento sustentável se não for possível evitar as mudanças climáticas, desafio ainda mais urgente no caso dos países em desenvolvimento como o Brasil, que são mais dependentes dos serviços ecossistêmicos. Os biocombustíveis e o biodiesel são fontes de energia renováveis e menos poluentes, que contribuem para a redução das emissões de GEE do setor de transporte. O aumento da eficiência energética e a expansão da produção e uso de fontes renováveis são fundamentais para a transição de uma matriz energética baseada no uso de combustíveis fósseis para uma matriz de baixa emissão de carbono.

1.1. Objetivos

Analisar a produção e o uso do biodiesel e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) do ponto de vista de sua concepção baseada nos pilares: econômico, social e ambiental, e do desafio de conciliar o crescimento econômico, com a inclusão social e a redução dos impactos ambientais, condições necessárias para o desenvolvimento sustentável.

Verificar se os objetivos do PNPB de redução da importação de óleo diesel, redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), aumento da renda, do emprego e o desenvolvimento regional, através do incentivo fiscal para se produzir biodiesel utilizando matérias-primas vindas da agricultura familiar, estão sendo alcançados. Analisar ainda se existe competição relevante pelo uso da terra para produzir matérias-primas destinadas à produção de biodiesel, com as terras reservadas à preservação ambiental ou utilizadas na produção de alimentos. Verificar como o biodiesel está inserido na matriz energética brasileira e na Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Analisar a contribuição do PNPB para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que englobam objetivos ambientais, econômicos e sociais.

A dissertação analisa diferentes cenários tendenciais de produção e uso do biodiesel e biocombustíveis no Brasil, em um contexto em que os veículos

elétricos deverão ser cada vez mais disseminados, mas provavelmente com intensidade menor do que nos países desenvolvidos. Uma questão chave a ser analisada é se o transporte no Brasil pode ser descarbonizado mais rapidamente, por meio do aumento do consumo de etanol, de biodiesel e de outros biocombustíveis, produtos em que o Brasil é eficiente na produção e já tem infraestrutura consolidada, auxiliado pela eletrificação veicular, controle de emissões e renovação da frota. Esta questão sobre a tendência futura do biodiesel foi abordada em questionário enviado às associações de produtores de biodiesel, que pretendeu ainda identificar as dificuldades enfrentadas pelo setor produtivo e conhecer as sugestões de melhoria no PNPB e nas políticas públicas relacionadas ao setor.

1.2.

Metodologia

A metodologia consistiu em uma revisão sistemática, do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, de artigos acadêmicos, capítulos de livros, relatórios e publicações de entidades de classes, associações e órgãos governamentais, que produzem informações e estatísticas sobre energia, combustíveis fósseis, biocombustíveis, etanol, biodiesel, indústria, comércio exterior e agropecuária. Além das referências bibliográficas, foram utilizadas estatísticas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), da Secretaria de Comércio Exterior (Secex), da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), das Associações dos produtores de biocombustíveis e biodiesel, e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O trabalho foi complementado por um questionário enviado para as três associações¹ de produtores de biodiesel no Brasil. O questionário² objetivou

¹ ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais), Ubrabio (União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene) e APROBIO (Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil).

² O questionário, apresentado no Apêndice à dissertação, atendeu a todas especificações e princípios éticos das Resoluções nº 466/12 e 510/16 do CNS (Conselho Nacional de Saúde). Ele

avaliar o PNPB do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, identificar os principais desafios enfrentados pelo setor produtivo, conhecer as sugestões de melhoria do PNPB e de políticas públicas direcionadas ao setor, e sua perspectiva sobre o futuro da produção de biodiesel no Brasil, considerando as tendências globais e nacionais de eletrificação da frota de veículos de transporte.

não tinha qualquer pergunta obrigatória ou que pudesse constranger o informante e todas as identidades permaneceram anônimas.

2. Breve histórico da produção de biocombustíveis no Brasil

2.1. Introdução

De acordo com a Lei Nº 12.490, de 16 de setembro de 2011, biocombustível é a:

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 (Brasil, 2011).

Os biocombustíveis, ou agrocombustíveis, são fabricados a partir da biomassa, como a cana-de-açúcar, o milho, oleaginosas, gordura animal, madeira, resíduos de frituras, materiais graxos e outras matérias orgânicas. O livro “Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial” classifica os biocombustíveis segundo trecho que segue.

Do ponto de vista tecnológico, os biocombustíveis devem ser vistos em dois grupos distintos: biocombustíveis de primeira geração e biocombustíveis de segunda geração. Os primeiros incluem o etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel a partir de óleos vegetais. O segundo grupo caracteriza-se por utilizar, como matéria-prima, biomassa de baixo valor como resíduos e palhas. Enquanto a primeira geração pode ser considerada madura, a segunda ainda apresenta significativos desafios tecnológicos (PINTO JR. et al., 2007).

Os biocombustíveis, por terem menor quantidade de carbono, emitem menos GEE ao serem utilizados nos veículos automotores. Seu ciclo de vida, desde a agricultura até a combustão no motor, é considerado praticamente neutro em termos de emissões de GEE, pois o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar para a produção de etanol ou das oleaginosas para a produção do biodiesel irá capturar o CO₂ do ar, que foi emitido pelos veículos (MARGULIS, 2020). A produção de biocombustíveis favorece ainda a geração de empregos e renda na agricultura, que, por sua vez, demanda da indústria, máquinas, equipamentos, fertilizantes e defensivos agropecuários. Além disso, no Brasil, os biocombustíveis diminuem a dependência da importação de petróleo e diesel, cujos preços são voláteis às questões geopolíticas, como guerras e embargos, como as que ocorreram nas décadas de 70 e 80 nas crises ou choques do petróleo.

Segundo Pinto Jr. et al. (2007), entre 1950 e 1974, a demanda mundial de petróleo cresceu a uma taxa média anual de 9,5% ao ano e os preços internacionais ficaram estáveis no patamar de 2 a 3 Dólares por barril (159 litros). Em 1973, devido à Guerra do Yom Kippur, os países membros da OPEP embargaram a venda de petróleo a diversos países do Ocidente, quadruplicando o preço do barril de petróleo, passando de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 (PINTO JR. et al., 2007).

Outros choques mundiais na oferta de petróleo ocorreram em 1979/1980, por conta da Revolução Islâmica no Irã e em 1980, com a Guerra Irã-Iraque, que causou a queda na produção dos dois grandes produtores. Esses conflitos, além da redução momentânea da oferta, fizeram com que os países aumentassem suas compras para formar estoques, elevando ainda mais o preço do barril de petróleo, que chegou a mais de US\$ 30 em 1980 (PINTO JR. et al., 2007).

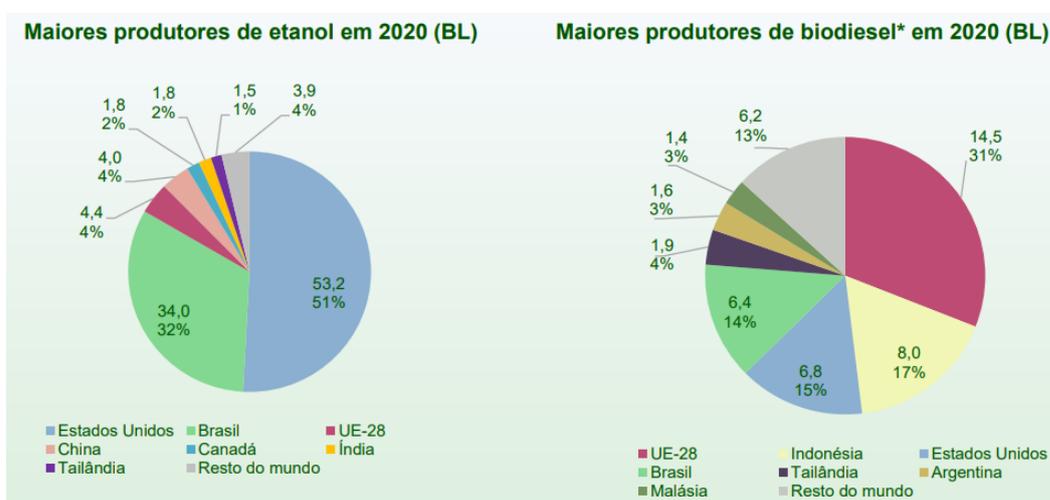
Com isso, o Brasil, que na época importava a maior parte do petróleo e seus derivados, elevou significativamente os gastos com a importação, aumentando o déficit da balança comercial. Diante desta conjuntura, o País aumentou os investimentos em prospecção de petróleo e passou a investir na pesquisa e desenvolvimento de combustíveis de origem orgânica e renovável, fabricados a partir da biomassa e capazes de substituir de forma parcial ou total os combustíveis fósseis em motores à combustão interna.

Neste sentido, foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado em 1975, que incentivou o uso do etanol como combustível para automóveis em substituição à gasolina. Uma nova elevação dos preços do petróleo no início dos anos 2000, durante o período conhecido como “boom das commodities”, impulsionado pelo crescimento chinês, fez com que fossem retomadas pesquisas, que haviam sido iniciadas na década de 80, com oleaginosas e o seu aproveitamento na produção de biodiesel.

Essas pesquisas conjugadas com o impacto da importação de diesel na balança comercial, com a preocupação de reduzir emissões de GEE e com objetivos de inclusão social, culminaram no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2005, para substituir parcialmente o diesel de petróleo pelo biodiesel, produzido a partir de variadas matérias-primas. A concepção do PNPB será detalhada no subcapítulo 2.3.

O Brasil é um dos principais produtores de biocombustíveis do mundo. Sua produção e toda cadeia de distribuição e comercialização é regulada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A produção brasileira de etanol, que corresponde a 32% do total mundial, só fica atrás dos Estados Unidos (51%) e, no caso do biodiesel, o Brasil é o quarto maior produtor com 14% da produção mundial, atrás da União Europeia, da Indonésia (17%) e dos Estados Unidos (15%), conforme Gráfico 2.

Gráfico 2: Maiores produtores de etanol e de biodiesel (em bilhões de litros) - 2020



Fonte: Renewables 2021 - Global Status Report 2021, apud EPE 2022c

* Inclui Biodiesel e HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)

Segundo a International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021, apud EPE, 2021b), estima-se que, em 2019, no Brasil, o setor de biocombustíveis era responsável por 839 mil empregos, sendo 264 mil pessoas ocupadas no setor de biodiesel (31%) e o restante no setor de etanol.

O potencial brasileiro de produção de biocombustíveis é devido à enorme extensão territorial e diversidade climática, de solos e de biomas do País. No Brasil cultivam-se diversas espécies vegetais que podem ser usadas para a produção de biocombustíveis, como a cana-de-açúcar e a soja, principais matérias-primas da produção do etanol e do biodiesel, respectivamente.

2.2.

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e a produção do etanol

O etanol é o biocombustível mais utilizado no Brasil com 17,4% (EPE, 2022a) do consumo total de combustíveis. Ele pode ser produzido a partir da fermentação de algumas matérias-primas, como cana-de-açúcar, milho, mandioca, beterraba, madeira, entre outras. As etapas da produção do etanol de cana-de-açúcar, principal matéria-prima utilizada no Brasil, envolvem a colheita, a moagem, a produção do melado, a fermentação e a destilação.

O bagaço da cana-de-açúcar, resíduo da produção, também é aproveitado na produção de energia (bioeletricidade) em termoelétrica na própria usina, tornando-a autossuficiente em energia e possibilitando a venda do excedente. A época da colheita da safra de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil, de abril a outubro, coincide com o período de menor produção de energia hidrelétrica no País, pois os reservatórios estão com baixo volume de água, e desse modo contribui para que se use menos termoelétricas a combustíveis fósseis, que são mais poluidoras. A energia gerada na usina de cana-de-açúcar, além de ser usada na produção de açúcar e etanol, também é exportada para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Em 2021, segundo a EPE (2022b), a participação da energia exportada para o SIN vinda da cana-de-açúcar na matriz elétrica nacional foi de 2,9%.

A produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi a primeira atividade agrícola comercial do Brasil colônia. Originária do sul da Ásia, já era cultivada pelos portugueses na ilha da Madeira, nos arquipélagos dos Açores e Cabo Verde, desde o século XV. Com o início da efetiva colonização portuguesa no Brasil foi introduzida a partir da década de 1530 e se adaptou bem ao clima e solo local. Nos séculos XVI a XVIII foi o principal produto exportado pelo Brasil, que se tornou um dos maiores produtores mundiais de açúcar (PRADO JUNIOR, 1972). Portanto, devido à longa experiência brasileira com o cultivo e à sua alta produtividade, a cana-de-açúcar foi escolhida como a matéria-prima principal para a produção de etanol.

O etanol vem sendo utilizado no Brasil como combustível, desde a década de 1920 (ANDRADE et al., 2009). Entretanto, somente após a criação do Proálcool, pelo Decreto nº 76.593 em 14 de novembro de 1975, em resposta ao

primeiro choque do petróleo em 1973, que a produção e o uso do etanol ganharam escala. Na época, o Brasil importava cerca de 80% do petróleo consumido e o aumento do preço causou grande déficit na balança comercial e de pagamentos (LEITE; LEAL, 2007). O Decreto de criação do Proálcool em seus dois primeiros artigos diz.

Fica instituído o Programa Nacional do Álcool visando ao atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos (Brasil, 1975, art. 1º).

A produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo será incentivada através 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 (Brasil, 1975, art. 2º).

O Proálcool teve o objetivo principal de diminuir a dependência das importações de petróleo e de gasolina, melhorar o saldo da balança comercial e de tentar manter o elevado crescimento econômico ocorrido de 1968 a 1973, o chamado milagre econômico. Outra questão econômica foi criar um novo mercado para a cana-de-açúcar, além da produção do açúcar, que, como toda commodity, tem seu preço sujeito à oferta e a demanda do mercado internacional. Além disso, melhorou a qualidade do ar nas cidades, pois o etanol emite menos material particulado e enxofre. A mistura de etanol anidro na gasolina tem o efeito de um aditivo, ao aumentar a taxa de octanagem, melhorando o desempenho do motor e evitando a necessidade de se adicionar chumbo tetraetila, altamente tóxico (CORREIA, 1996). Neste sentido foi subsidiada, através de crédito concedido por bancos públicos com juros reduzidos, a construção de usinas de etanol e a expansão da produção de cana-de-açúcar para abastecer as usinas produtoras.

Em sua fase inicial, o programa aumentou a mistura de etanol anidro (álcool etílico anidro combustível), que possui somente 0,7% de água em sua composição, na gasolina, para 20%. Em 1979, foi criado o Conselho Nacional do Álcool (CNAL), órgão responsável por formular as políticas e diretrizes do Programa Nacional do Álcool e com a incumbência de determinar a produção anual de álcool (NOVACANA, 2022). Neste período, com o segundo choque do petróleo, a indústria automobilística desenvolveu um automóvel movido

exclusivamente a etanol hidratado (álcool etílico hidratado combustível), que contém até 7,5% de água e é o etanol comum abastecido diretamente no posto de combustível (UNICA, 2022).

Para incentivar a demanda pelo etanol, foram reduzidos o IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) do veículo a etanol, e o preço do litro do etanol foi limitado por lei a 65% do preço da gasolina (MICHELLON et al., 2008).

O programa foi bem-sucedido até meados da década de 1980. A produção de etanol cresceu rapidamente, o etanol anidro continuou a ser adicionado à gasolina e a maioria dos automóveis fabricados passou a ser movida a etanol hidratado. No entanto, a partir de 1986, período que ficou conhecido como o “contrachoque do petróleo”, os preços internacionais do petróleo recuaram devido ao aumento da produção de países não pertencentes a OPEP, à substituição dos derivados de petróleo e à desaceleração econômica mundial. Além disso, a produção interna de petróleo e derivados era superior àquela que motivou o lançamento do Proálcool. Neste novo contexto, o programa foi perdendo força (GOLDEMBERG, MACEDO e MÔNACO, 1994, apud PINTO Jr. et al., 2007).

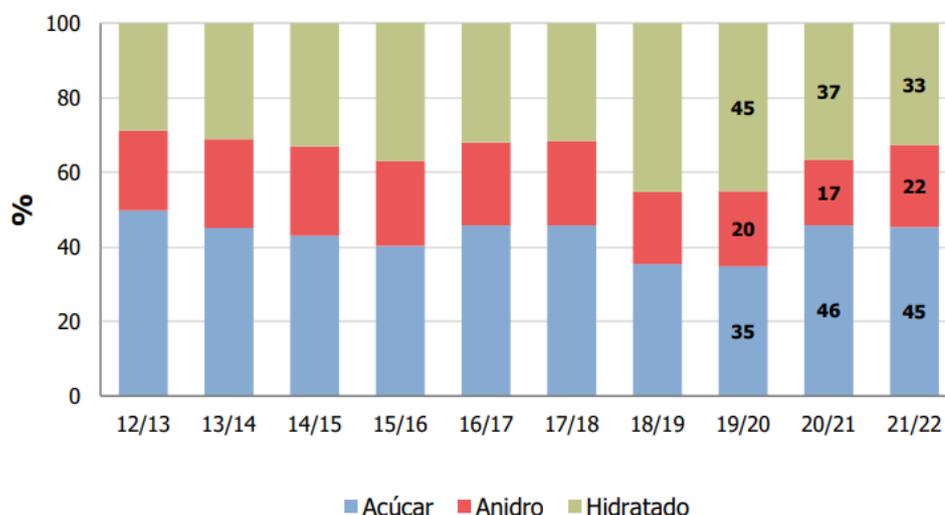
Para agravar a situação, como muitas usinas de cana-de-açúcar têm opção de produzir tanto o açúcar como o etanol, quando os preços internacionais do açúcar se tornaram mais atrativos, as usinas destinaram uma parcela maior para a sua exportação, em detrimento do etanol, o que provocou desabastecimento e perda de confiança e interesse dos consumidores em adquirir automóveis movidos 100% a etanol. Desse modo, a fabricação desses veículos, que chegou a corresponder a cerca de 90% do total de veículos produzidos na década de 1980, despencou para menos de 1% no final dos anos 1990 (ANFAVEA, 2022). Outros fatores como a liberação da importação de automóveis a partir de 1990, que utilizavam somente gasolina ou diesel, e o incentivo via redução de impostos para as vendas de automóveis de até 1.000 cilindradas, movidos exclusivamente a gasolina, também influenciaram na perda de mercado para a produção de etanol (BIODIESELBR, 2006).

No entanto, devido à obrigação da mistura de etanol anidro à gasolina e a existência de uma grande frota de automóveis movidos exclusivamente a etanol hidratado, o Proálcool continuou existindo (LEITE e LEAL, 2007). Em 2003, o

lançamento dos veículos flex fuel, que podem ser abastecidos com gasolina e/ou etanol hidratado em qualquer proporção, a elevação do preço do petróleo e uma maior preocupação com as emissões de GEE, após o Protocolo de Kyoto (1997), trouxeram de volta um maior protagonismo para o etanol. O veículo com motor flex oferece opção no abastecimento, pois permite ao consumidor escolher qual combustível utilizar, em função dos preços da gasolina e do etanol. Os veículos flex obtiveram grande êxito no mercado e corresponderam, em 2020, a 91% das vendas e a 76% da frota em circulação de veículos leves, que inclui automóveis e comerciais leves, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2022b). Em 2009, resolução da ANP nº 9 obrigou os postos de combustíveis a trocarem o nome nas bombas de abastecimento de álcool para etanol, para padronizar o nome com a nomenclatura internacional.

O preço da gasolina no Brasil é ditado em boa medida pelo preço do barril de petróleo e pela cotação do Dólar. Já o preço do etanol está sujeito à safra de cana-de-açúcar, ao preço da própria gasolina, que vai impactar na demanda por etanol, por serem produtos substitutos, e à cotação internacional do açúcar e do Dólar, que vão determinar o “mix” de produção entre etanol e açúcar pelas usinas. Nos últimos anos mais da metade da produção de cana-de-açúcar tem sido destinada à produção de etanol, conforme o Gráfico 3 (EPE, 2022b). Na safra de 2021/22, 55% da produção de cana-de-açúcar foi destinada à produção de etanol e 45% à produção de açúcar (percentuais similares à safra anterior).

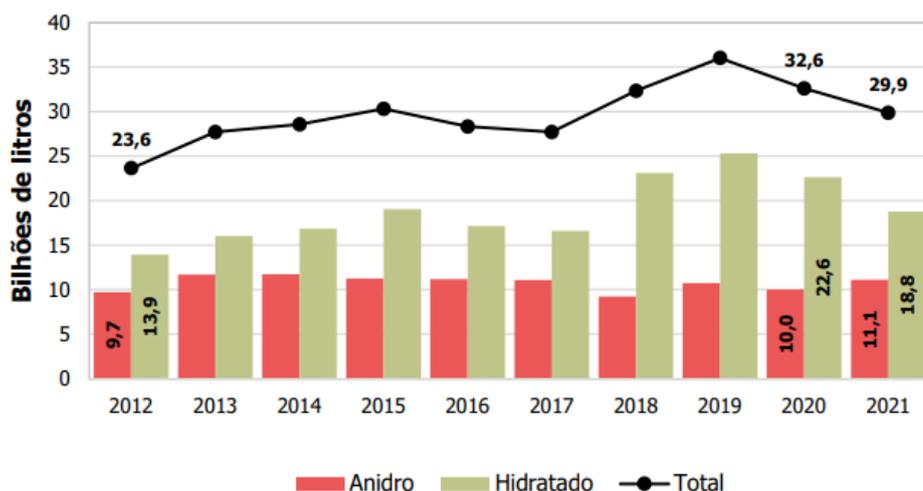
Gráfico 3: Mix de produção (açúcar x etanol) - safra 2012/2013 - safra 2021/2022



Fonte: Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - ano 2021. EPE a partir de CONAB (EPE, 2022b)

Os preços e a demanda por gasolina, açúcar e etanol estão interligados, mas a tecnologia flex permite a substituição dos combustíveis, caso haja uma elevação do preço da gasolina ou do etanol, o que dá maior segurança energética ao consumidor e ao país no abastecimento de combustível. Atualmente, o etanol anidro é adicionado à gasolina na proporção de 27%, taxa estabelecida em 2015, maior percentual mundial. Segundo a legislação (Lei nº 8723 de 28 de outubro de 1993), o percentual de adição do etanol anidro na gasolina pode variar de 18% até 27,5%. De acordo com o Decreto nº 10.940 de 14 de janeiro de 2022 é o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) que determina este percentual. O Gráfico 4 mostra a evolução da produção total de etanol, etanol anidro e hidratado desde 2012. Em 2021, a produção total de etanol nas 361 usinas em operação (EPE, 2022b) foi de 29,9 bilhões de litros, sendo 18,8 bilhões de hidratado e 11,1 bilhões de anidro. A produção foi 8,4% inferior à assinalada em 2020, em razão da queda de 5,3% da produção de cana-de-açúcar na safra de 2021 (715,7 milhões de toneladas). Importante mencionar que devido à eficiência energética do etanol ser equivalente à 70% da gasolina, o preço do litro de etanol hidratado oscila em torno de 70% do preço da gasolina comum.

Gráfico 4: Produção brasileira de etanol (da cana-de-açúcar e do milho) - 2012-2021

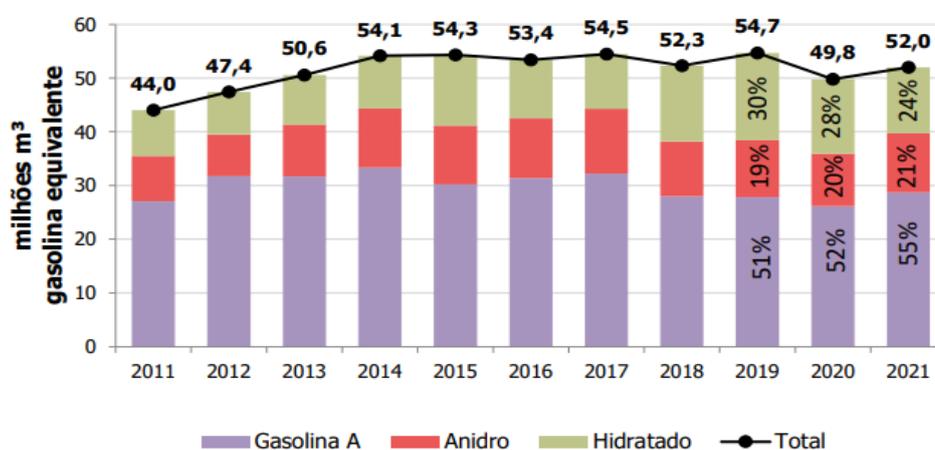


Fonte: Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - ano 2021. EPE a partir de MAPA, 2022 (EPE, 2002b)

Ao longo de 2021, o avanço da vacinação contra a Covid-19 possibilitou o retorno das atividades presenciais e a maior circulação de pessoas, resultando no aumento da demanda por combustíveis. No entanto, este aumento ocorreu no

consumo de gasolina e etanol anidro (adicionado à gasolina), enquanto o consumo de etanol hidratado decresceu, em função da piora na relação do preço entre etanol e gasolina. O Gráfico 5 apresenta a participação no consumo entre gasolina, etanol anidro e hidratado, desde 2011. Vale citar que, em 2021, o consumo total de etanol carburante correspondeu a 45% da demanda por combustível no ciclo Otto, percentual inferior ao registrado em 2020 (48%), tornando o consumo de combustíveis menos renovável (EPE, 2022b).

Gráfico 5: Demanda do ciclo Otto e participação dos diferentes combustíveis - 2012-2021



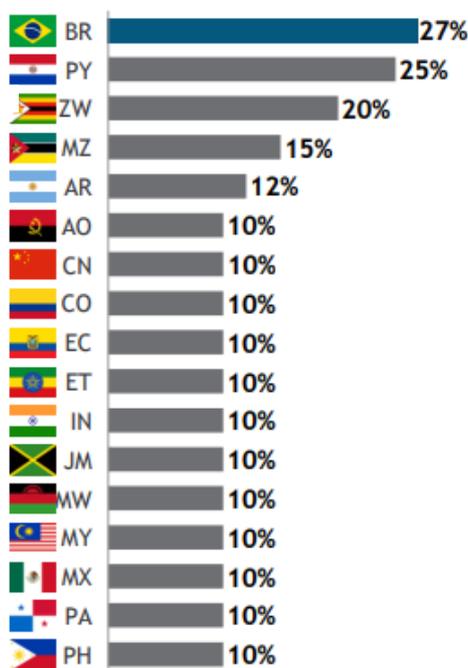
Nota: Os dados de demanda excluem a parcela relativa ao GNV.

Fonte: Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - ano 2021 (EPE, 2022b)

A obrigatoriedade da mistura de etanol na gasolina em vários países abre a possibilidade de expansão das exportações de etanol, que registraram vendas de 1,9 bilhão de litros em 2021 (EPE, 2022b). O Gráfico 6 mostra os percentuais de adição de etanol na gasolina exigidos em alguns países (ANFAVEA, 2021b). Em 2021, a produção mundial de etanol recuou ligeiramente para 105 bilhões de litros (EPE, 2022b). O Brasil é o segundo no ranking mundial com aproximadamente 30% do total mundial e produz, principalmente, etanol a partir da cana-de-açúcar. Nos últimos anos a produção de etanol de milho, que se concentra nos estados de Mato Grosso e Goiás, vem aumentando, tendo alcançado 3,3 bilhões de litros em 2021, um acréscimo de 35% na comparação com 2020 (2,4 bilhões de litros) (EPE, 2022b). Os Estados Unidos, que produzem o etanol utilizando milho é o maior produtor mundial. Já a Europa também produz etanol, só que a partir da

beterraba. Porém, o etanol fabricado a partir da cana-de-açúcar é mais produtivo e tem menores custos do que o feito com o milho (PINTO JR, et al., 2007).

Gráfico 6: Percentual de etanol exigido na gasolina por país em 2019



OBS: Os EUA não possuem uma exigência nacional de quantidade de etanol na gasolina, porém na média, a gasolina consumida possui 10% de etanol em volume.

Fonte: ANP, Global Status Report, apud ANFAVEA (2021b)

Para o futuro, uma possibilidade é a expansão da produção de etanol de segunda geração (E2G) ou etanol de lignocelulose (bioetanol) produzido a partir de resíduos da produção de açúcar ou etanol de primeira geração, como a palha e o bagaço da cana, de forma a complementar a produção atual (CATOLICO et al., 2015). Com isso, é possível aumentar a produção de etanol com a mesma quantidade de cana-de-açúcar, o que evita a ampliação da área plantada e a competição com terras destinadas à produção de alimentos e à preservação ambiental.

Por outro lado, a quantidade de bagaço disponível para a geração de energia elétrica será menor, e o produtor deverá escolher entre produzir mais etanol ou energia, dependendo dos preços de mercado, assim como escolhe produzir etanol ou açúcar. A produção de etanol de segunda geração ainda é pequena no Brasil, somente duas usinas estão produzindo por este processo em escala comercial, com produção anual em torno de 100 milhões de litros ao ano,

um valor pequeno frente aos 29,9 bilhões de litros da produção brasileira (EPE, 2022b). Porém existe previsão de três novas usinas de E2G entrarem em operação até 2024 (NOVACANA, 2022). A produção do E2G tem custos operacionais mais elevados e necessidade de um maior incentivo por parte do governo (CATOLICO et al., 2015). No exterior, alguns projetos não têm conseguido atingir a escala comercial e pararam suas operações (EPE, 2022b).

A produção de etanol atualmente é mais eficiente e sustentável do que a realizada no passado. Além da maior produtividade, o aumento da colheita mecanizada, que chegou a 91% na safra de 2021/22 (EPE, 2022b), evita a queima da palha da cana, método usado para se facilitar a colheita, que emite CO₂ e fuligem. O ciclo da produção de etanol levando em conta a emissão total “do poço à roda” é considerado neutro, pois a emissão de CO₂ do uso do etanol nos veículos é absorvida pelo crescimento vegetativo da cana-de-açúcar ao fazer a fotossíntese. O etanol também não emite dióxido de enxofre (SO₂), uma das causas da chuva ácida.

2.3.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)

O motor diesel ou motor de ignição por compressão é um motor de combustão interna inventado pelo engenheiro franco-alemão Rudolf Diesel (1858-1913), em 1893, em que a combustão ocorre pelo aumento da temperatura provocado pela compressão do ar, e que ainda hoje se destaca pela economia de combustível. A história do biodiesel teve início quando Rudolf Diesel na Exposição Mundial de Paris, em 1900, utilizou com sucesso o óleo de amendoim como combustível para o funcionamento de um pequeno motor, que havia sido construído para consumir petróleo. Mais tarde também foram utilizados outros óleos orgânicos, como o óleo de mamona e gorduras animais (KNOTHE et al., 2005). Diesel acreditava na importância dos óleos vegetais, por serem uma fonte de energia renovável e produzida pela agricultura, diante da escassez futura dos combustíveis fósseis.

In any case, they make it certain that motor-power can still be produced from the heat of the sun, which is always available for agricultural purposes, even when all

our natural stores of solid and liquid fuels are exhausted (Rudolf Diesel) (KNOTHE et al., 2005).

Cabe mencionar que Rudolf Diesel utilizou em seu motor óleos vegetais “in natura”. A primeira patente do que hoje conhecemos como biodiesel foi concedida em 1937 ao belga G. Chavanne da Universidade de Bruxelas e há registro, em 1938, do uso de biodiesel feito com óleo de palma em ônibus que circulava entre as cidades de Bruxelas e Louvain (KNOTHE et al., 2005).

Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-45), devido à escassez de petróleo, muitos países pesquisaram e usaram óleos vegetais como combustível (MATTEI, 2008). Com o fim da guerra e a normalização do abastecimento de petróleo, as pesquisas e o uso do biodiesel foram interrompidos até a década de 1970, quando então ocorreram crises do petróleo e o aumento abrupto do seu preço e derivados. Na década de 1980, alguns países da Europa, tais como Alemanha, Áustria e França e, nos anos 1990, os Estados Unidos implementaram políticas de incentivo à produção e uso do biodiesel (MATTEI, 2008). Algumas cooperativas de fazendeiros austríacas iniciaram a produção de biodiesel em pequena escala, mas a primeira planta em escala industrial foi inaugurada em 1991 em Aschach, também na Áustria, com capacidade de 10 mil m³ por ano (BIODIESELLOGIC, 2022). O primeiro registro que se tem do uso do termo “biodiesel” foi num artigo chinês em 1988 e a partir daí o termo “biodiesel” na literatura se popularizou (KNOTHE et al., 2005).

No Brasil, as primeiras pesquisas ocorreram na década de 1920, quando o Instituto Nacional de Tecnologia testou combustíveis alternativos e renováveis (HOLANDA, 2004). Durante a Segunda Guerra Mundial, assim como na Europa, também se procurou usar óleos vegetais, em substituição aos combustíveis fósseis. Porém, foi somente com o primeiro choque do petróleo que o governo e pesquisadores brasileiros voltaram a investir na pesquisa e na produção de combustíveis orgânicos para substituir o óleo diesel. Em 1980, foi criado o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-Óleo), que continha o Prodiesel como um de seus subprogramas. O Pró-Óleo tinha o objetivo de gerar excedentes de óleo vegetal que tornassem seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Previa-se uma mistura de 30% de óleo vegetal ao óleo diesel, com perspectiva de sua substituição integral no longo prazo (EMBRAPA, 2006).

No desenvolvimento do biodiesel, destacam-se as pesquisas realizadas pelo engenheiro químico Expedito Parente, pesquisador e professor da Universidade Federal do Ceará, que culminaram na primeira patente no mundo para a produção de biodiesel em escala industrial, solicitada em 1980 e concedida em 1983 pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com o nome "Processo de Produção de Combustíveis a partir de Frutos ou Sementes Oleaginosas". Parente trabalhava inicialmente com processos de produção de álcool, mas acreditava que a substituição do diesel pelo biodiesel era mais importante por este ser usado em veículos coletivos e no transporte rodoviário, enquanto o álcool substituiria a gasolina somente em veículos de passeio (BARDAWIL, 2005, apud TEIXEIRA E TAOUIL, 2010; BIODIESELBR, 2014).

Em 1983, o governo federal lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), em parceria com a indústria automobilística e de óleos vegetais, com institutos de pesquisa e fabricantes de peças, lubrificantes e combustíveis, no qual foi testada a utilização de biodiesel puro e em diferentes percentuais de mistura ao diesel fóssil, em veículos que percorreram mais de 1 milhão de quilômetros (BIODIESELBR, 2014). No entanto, com o sucesso e a priorização do Proálcool e a queda da cotação internacional do petróleo nos anos 1980, estes programas de estudos e incentivos à produção de biodiesel ficaram em segundo plano na política energética brasileira, sendo abandonados durante a década de 1980.

Apenas no início dos anos 2000, com a maior preocupação ambiental pela sociedade, após a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92 ou Rio-92) e após o Brasil ratificar o Protocolo de Kyoto em 1997 que o governo brasileiro voltou a se interessar pelo biodiesel.

Em 2002, foi criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, através da Portaria MCT nº 702, de 30 de outubro de 2002, o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiobiodiesel), que tinha o objetivo inicial de adicionar 5% de biodiesel ao diesel mineral até 2005 e 20% em quinze anos (VIGLIANO, 2003, apud POUSA, SANTOS, SUAREZ, 2007). Em seguida, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi lançado no governo de Luiz Inácio Lula da Silva em 06 de dezembro de 2004 e regulamentado pela Medida Provisória nº 214 de 13 de setembro de 2004,

posteriormente convertida na Lei nº 11.097 (Lei do Biodiesel) em 13 de janeiro de 2005, que considera o abastecimento nacional de combustíveis como utilidade pública e introduziu o biodiesel na matriz energética nacional ao estabelecer um percentual mínimo de adição do biodiesel ao diesel de petróleo. De acordo com esta lei, o biodiesel é definido como:

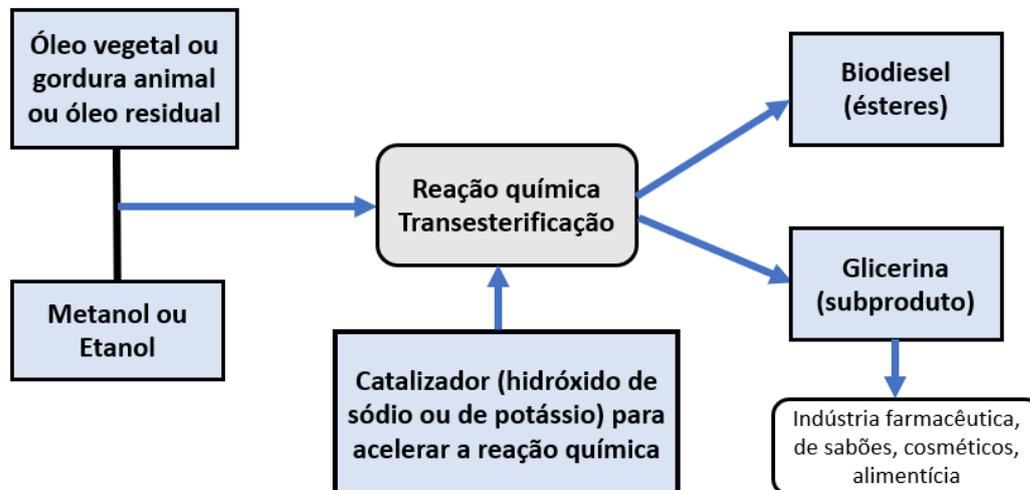
Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (Brasil, 2005).

O biodiesel adicionado ao óleo diesel pode ser utilizado no transporte rodoviário, sobretudo em caminhões e ônibus, ferroviário e aquaviário, de cargas e passageiros, em tratores e colheitadeiras agrícolas, geradores de energia, e motores estacionários, como os que movimentam máquinas, por exemplo. Em 2021, o óleo diesel respondeu por 45,1% do consumo de combustíveis nos transportes no País (EPE, 2022a). O setor rodoviário concentrou 77,4% do consumo de diesel, a agropecuária (13,1%), o setor industrial (2,3%) e outros usos (7,2%) (EPE, 2022f).

Para transformar o óleo vegetal, a gordura animal ou óleos residuais em biodiesel, existem três processos químicos: a transesterificação, o craqueamento térmico e a esterificação.

A transesterificação, o mais utilizado no Brasil e que demora cerca de oito horas, é uma reação química entre a matéria-prima (óleo vegetal, gordura animal ou óleo residual) com um álcool (etanol ou metanol), que na presença de um catalisador (hidróxido de sódio ou de potássio) para acelerar a reação química, resulta no biodiesel (éster) e como subproduto a glicerina, que pode ser vendida às indústrias farmacêuticas, de sabões, cosméticos e alimentícia, conforme apresentado na Figura 1. A remoção da glicerina do óleo vegetal gera um produto mais adequado para os motores do tipo diesel. (ENCARNAÇÃO, 2008). Como o álcool mais utilizado é o metanol, em função de suas propriedades físicas e químicas e por sua melhor diluição no hidróxido de sódio, o biodiesel é também chamado cientificamente de FAME (Fatty Acid Methyl Ester, ou Éster Metílico de Ácido Graxo).

Figura 1: O processo de produção do biodiesel

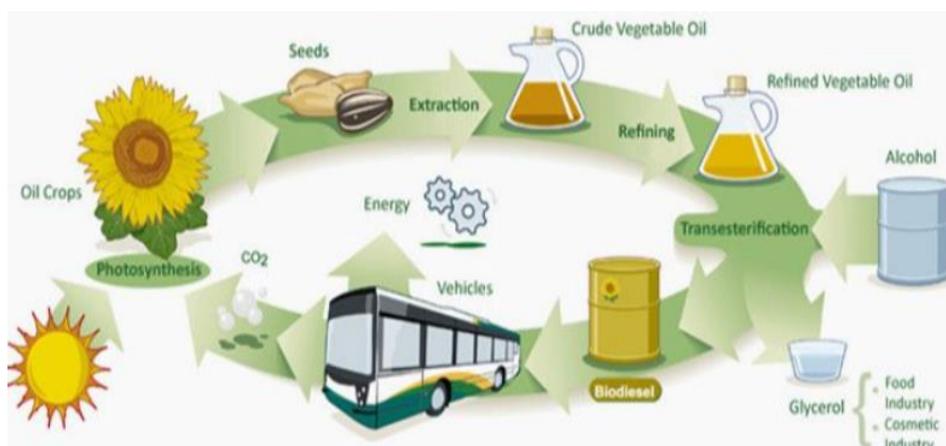


Fonte: Elaboração própria a partir de (LEITE, s.d.). Disponível em <<https://pt.slideshare.net/makemx/pr-lcool-eprleo>>

Existem plantas industriais de biodiesel que utilizam um único tipo de matéria-prima, como a soja ou o sebo bovino, que são os principais insumos, ou instalações que usam mais de uma matéria-prima e com flexibilidade para usar tanto o metanol como o etanol (PINTO JR. et al., 2007). As usinas de biodiesel também podem ser classificadas como integradas, parcialmente integradas e não integradas. As integradas são as que produzem ou comercializam as oleaginosas (soja, girassol, algodão, dendê etc.), esmagam o grão para produzir o óleo vegetal e com este óleo produzem o biodiesel. As integradas têm a opção de vender o grão, o óleo ou o biodiesel, de acordo com a lucratividade de cada produto. As empresas parcialmente integradas são aquelas que conseguem produzir o óleo vegetal, por terem capacidade de esmagar o grão, e produzir o biodiesel. Já as não integradas produzem exclusivamente o biodiesel (MENDES; COSTA, 2010).

A transesterificação é a parte industrial do ciclo de produção do biodiesel que inclui, a montante da cadeia de produção, a produção agrícola da oleaginosa ou a pecuária, a extração do óleo vegetal, da gordura animal ou os óleos residuais. A jusante, a mistura do biodiesel ao diesel de petróleo é realizada em determinado percentual na refinaria ou na distribuidora de combustíveis líquidos, e posteriormente ocorre a distribuição e comercialização do combustível e a sua utilização no transporte. O ciclo se “fecha” com a emissão de CO₂ pelo veículo e a absorção desta emissão através do crescimento do vegetal e da fotossíntese, que libera oxigênio e vapor de água para a atmosfera, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2: O ciclo de produção do biodiesel



Fonte: Duquesne Energy Initiative, 2015. Disponível em: <<http://www.duqlawblogs.org/energy/2015/04/19/biodiesel/>>

Na gestão do PNPB, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo (SAF), incentiva a produção de biodiesel e apoia a participação da agricultura familiar na cadeia de produção (MAPA, 2019). Conforme o site do MAPA:

O PNPB é um programa interministerial do Governo Federal que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão produtiva e no desenvolvimento rural sustentável, via geração de emprego e renda (MAPA, 2019).

As principais diretrizes do programa são: implantar um programa sustentável, promovendo a inclusão produtiva da agricultura familiar; garantir preços mínimos, qualidade e suprimento; e produzir o biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, fortalecendo as potencialidades regionais (MAPA, 2019).

O programa é conduzido pela Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB), coordenada pela Casa Civil da Presidência da República que tem como função elaborar, implementar e monitorar o programa, propor os atos normativos que se fizerem necessários à implantação do programa, assim como analisar, avaliar e propor outras recomendações e ações, diretrizes e políticas públicas (MAPA, 2019).

O PNPB também possui um Grupo Gestor a quem compete a execução das ações relativas à gestão operacional e administrativa voltadas para o cumprimento das estratégias e diretrizes estabelecidas pela CEIB (MAPA, 2019).

O PNPB foi elaborado com base nos três pilares da sustentabilidade - o ambiental, o econômico e o social (EPE, 2021b). O biodiesel, ao emitir menos GEE, minimiza o impacto ambiental das emissões do óleo diesel, derivado de petróleo mais consumido no Brasil por ser utilizado em caminhões e ônibus em um país onde predomina o transporte rodoviário. No âmbito da economia, o biodiesel é importante para o equilíbrio da balança comercial. A produção nacional de diesel é insuficiente para atender o consumo interno, então a adição de biodiesel ao diesel reduz a necessidade de importar o diesel fóssil, cujo preço está sujeito às oscilações dos preços internacionais do petróleo e do Dólar.

Segundo Maroun e Schaeffer (2012), o PNPB foi criado também com o objetivo de inclusão social e desenvolvimento regional, por meio da geração de renda e emprego na agricultura familiar, através da produção de diferentes oleaginosas em diversas regiões do País. O PNPB incentiva a participação dos agricultores familiares no cultivo de vegetais oleaginosos, estimulando, através da redução de impostos, a compra de matérias-primas da agricultura familiar pelas usinas de biodiesel. A partir do instrumento Selo Combustível Social (SCS) (Decreto nº 5.297 de 6 dezembro de 2004), que posteriormente com o Decreto nº 10.527 de 22 de outubro de 2020, mudou de nome para Selo Biocombustível Social (SBS), o PNPB estabeleceu regras entre as usinas produtoras de biodiesel e os agricultores familiares, com o objetivo de estimular a inclusão social na agricultura.

O produtor de biodiesel para poder solicitar o SBS, concedido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), deve ter autorização da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para operar, e possuir o Registro Especial de Produtor de Biodiesel obtido na Secretaria da Receita Federal. Segundo o MAPA (2022), “a solicitação de concessão de uso do SBS pode ser feita, a qualquer momento, por meio do portal Gov.Br. O prazo para análise é de até 90 dias corridos e o resultado é divulgado no Diário Oficial da União, e em lista específica publicada no site da pasta”.

As usinas de biodiesel para terem direito a concessão, manutenção e uso do Selo Biocombustível Social devem adquirir, mediante contrato de compra e venda, um determinado percentual de seu custo de matérias-primas de produtores familiares enquadrados no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura

Familiar (Pronaf), ou de suas cooperativas. Os percentuais variam com a região do País. Além disso, devem prestar assistência técnica e capacitação a esses produtores. Segundo a Portaria N° 144/2019 do MAPA, os percentuais mínimos estabelecidos eram de 40% para a Região Sul, 30% para o Sudeste, Nordeste e Semiárido e 15% para o Centro-Oeste e Norte. Já o agricultor para fazer parte do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), deve cumprir algumas regras definidas na Lei da Agricultura Familiar (Lei n° 11.326/2006): ter propriedade com área de no máximo quatro módulos fiscais, utilizar predominantemente mão-de-obra da própria família, ter percentual mínimo (definido pelo Poder Executivo) da renda familiar proveniente de seu estabelecimento e dirigir seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006).

Com a Portaria SAF/MAPA n° 280/2022, em vigor desde o dia 30 de maio de 2022, o percentual mínimo de aquisição da agricultura familiar pelos produtores para concessão e manutenção do Selo Biocombustível Social passou a ser único para todas as regiões, sendo fixado em 51% do valor do biodiesel comercializado. Para compor este percentual, além das compras de matérias-primas para a produção de biodiesel, podem ser incluídas as compras de outros produtos da agricultura familiar, os custos com a assistência técnica e extensão rural (ATER), doações de ferramentas, equipamentos, mudas e sementes, custos com análise e correção do solo, gastos com a recuperação de reserva legal ou área de preservação permanente, entre outros, conforme estabelecido na Portaria MAPA n° 144 de 22 de julho de 2019 (MAPA, 2019).

As usinas de biodiesel que recebem o Selo Biocombustível Social (SBS) têm direito à isenção ou redução de impostos. Como regra geral, a tributação federal do biodiesel tem que ser inferior à do diesel fóssil. As reduções são na alíquota do PIS/Pasep (Programa de Integração Social/Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público), da Cofins (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) e isenção do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e da CIDE-Combustíveis (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico). As usinas com o SBS têm acesso ainda a linhas de crédito especiais junto ao BNDES, Banco da Amazônia, Banco do Nordeste e Banco do Brasil.

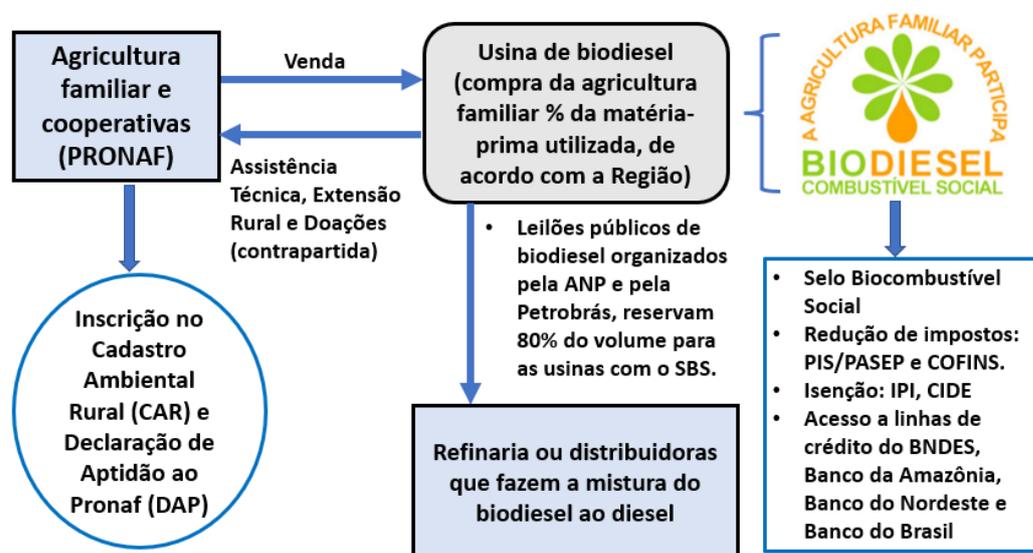
De acordo com o Decreto N° 10.527, de 22 de outubro de 2020, os

impostos do biodiesel são diferenciados em função do produtor ter ou não o Selo Biocombustível Social (SBS), da matéria-prima utilizada na produção e da região de produção da matéria-prima. Para produtores que não tenham o SBS, a redução do PIS/Pasep e Cofins é de 78,02% para o biodiesel produzido por qualquer matéria-prima, exceto mamona e palma (dendê), ou redução de 81,29% para o biodiesel fabricado a partir de mamona ou de fruto, caroço ou amêndoa de palma produzidos nas regiões Norte e Nordeste e no Semiárido. Para as usinas de biodiesel que possuem o SBS, a redução é de 91,35% para o biodiesel fabricado a partir de matérias-primas adquiridas de agricultor familiar enquadrado no Pronaf; e de 100% para a produção a partir de qualquer matéria-prima produzida nas Regiões Norte, Nordeste e do Semiárido adquiridas de agricultor familiar enquadrado no Pronaf.

Os produtores rurais que participam do PNPB, em contrapartida, devem estar inscritos no Cadastro Ambiental Rural (CAR), que fornece dados georreferenciados da propriedade rural, facilitando o combate ao desmatamento, e possuir a Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (DAP), que é um documento que identifica os agricultores familiares e seus empreendimentos familiares rurais e possibilita os benefícios do Pronaf como o crédito subsidiado (EPE, 2021b; Portaria SAF/MAP nº 280/2022).

No modelo de comercialização vigente até 2021, as usinas detentoras do SBS tinham prioridade na comercialização do biodiesel, por meio de leilões públicos bimestrais, organizados pela ANP e pela Petrobrás. As usinas deveriam vender sua produção em volume e faixa de preços definidos pela ANP às refinarias ou distribuidoras, que efetuariam a mistura do biodiesel ao óleo diesel. Estas, por meio dos leilões, tinham que comprar no mínimo 80% do biodiesel das usinas detentoras do Selo Biocombustível Social. No entanto, na prática a Petrobrás atuava como intermediária, adquirindo toda a produção de biodiesel e a revendendo para as distribuidoras. A Figura 3 mostra o fluxo de comercialização do biodiesel no modelo de leilões que existiu até 2021.

Figura 3: Fluxo de comercialização do biodiesel no modelo de leilões que vigorou até 2021

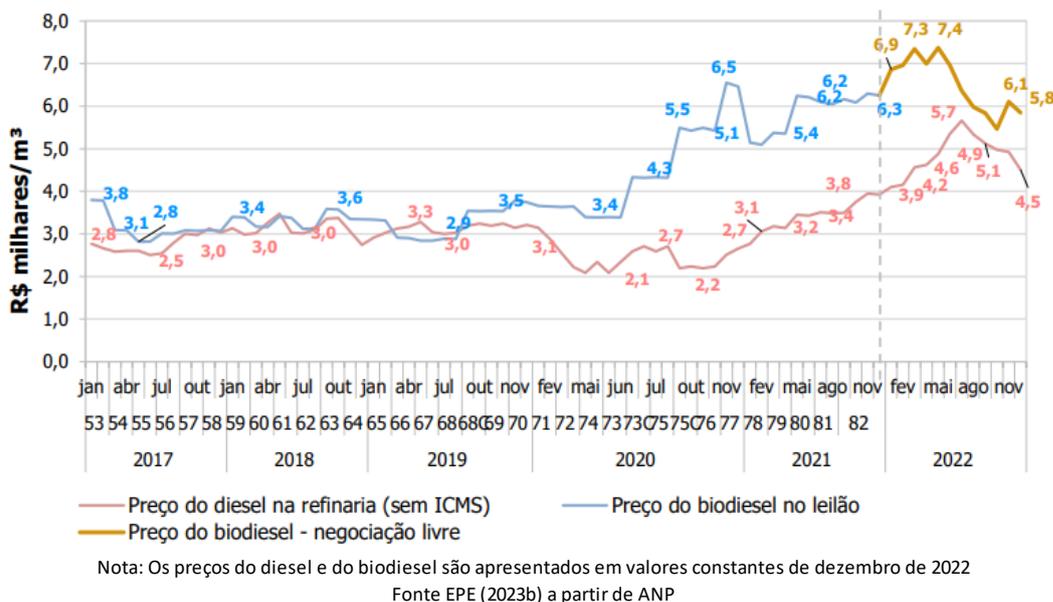


Fonte: Elaboração própria, baseado em Pedroti, 2013

A partir do início de 2022, a ANP (Resolução ANP nº 857 de 28 de outubro de 2021) alterou o modelo de comercialização do biodiesel, encerrando o modelo de leilões. No modelo atual, a comercialização é feita diretamente entre os produtores e as distribuidoras de combustíveis líquidos por meio de contrato de fornecimento de biodiesel ou no mercado à vista. As distribuidoras devem comprar no mínimo 80% do seu volume de produtores detentores do Selo Biocombustível Social (SBS), através de contratos de fornecimento. Os restantes 20% podem ser adquiridos de produtores que não possuem o SBS ou mesmo de produtores com o Selo, seja através de contratos ou no mercado à vista, ou ainda puderam ser importados, em caráter excepcional, apenas durante o ano de 2022.

O Gráfico 7 mostra os preços negociados nos leilões de biodiesel, que aconteceram até 2021 e, a partir de 2022, no modelo de comercialização direta entre as usinas de biodiesel e as distribuidoras de combustíveis. Observa-se que, até o final de 2019, os preços do biodiesel e do diesel fóssil eram próximos, com os preços do biodiesel um pouco mais elevados. A partir de 2020, o aumento da cotação das commodities, sobretudo do óleo de soja, provocou o aumento dos preços do biodiesel. No entanto, em meados de 2022, com o aumento do preço internacional do petróleo e o recuo do preço do óleo de soja, os preços do biodiesel e do diesel voltaram a ficar próximos.

Gráfico 7: Preços médios - biodiesel e diesel sem ICMS



O PNPB estabeleceu a adição do biodiesel ao diesel fóssil de forma gradual e parcial. O percentual começou em 2% (denominado B2, onde o B significa *blend*, mistura em inglês, para diferenciar do diesel A, sem adição de biodiesel) em 2005 em caráter voluntário, tornando-se obrigatório em janeiro de 2008. Outras resoluções do CNPE e leis, ao longo dos anos, elevaram gradativamente o teor de biodiesel no óleo diesel, como mostra a Figura 5.

Em 2018, quando a mistura já era de 10%, o Conselho Nacional de Política Energética, por meio da Resolução CNPE N° 16/2018, autorizou a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a fixar o percentual de adição de biodiesel ao diesel vendido ao consumidor final em 15% em março de 2023, com acréscimos anuais de 1% a partir de 2019. Esta autorização foi condicionada à prévia realização de testes e ensaios em motores de veículos, que concluíssem satisfatoriamente pela possibilidade técnica do teor de 15% do biodiesel no diesel. A adesão ao aumento do percentual no mês de março coincide com o período da colheita da soja, principal matéria-prima utilizada na produção do biodiesel, que ocorre de janeiro a abril. A Figura 4 mostra a evolução do percentual de adição obrigatória do biodiesel ao diesel desde o início do PNPB até a adição de 15% prevista inicialmente para 2023 e postergada para 2026 pelo CNPE (Resolução CNPE N° 03 de 20/03/2023).

Figura 4: Evolução do percentual obrigatório de adição de biodiesel no diesel mineral (previsto)



Fonte: Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - ano 2021 (EPE, 2021b)

Em 2020, seguindo o cronograma estabelecido pelo CNPE (Resolução CNPE N° 16/2018), a proporção de biodiesel adicionado ao diesel fóssil passou a ser de 12% em março, porém ao longo do ano foi alterada para 10% em setembro e para 11% em novembro. Em 2021, nos meses de janeiro e fevereiro, o teor de biodiesel foi de 12% e, em março, retomando o cronograma, a mistura passou a ser de 13%. Porém, devido ao aumento do preço do óleo de soja, a adição recuou para 10% entre maio e agosto. Ela voltou a crescer em setembro para 12% e decresceu para 10% no período de novembro de 2021 até março de 2023.

A partir de abril de 2023, a mistura foi majorada para 12% e um novo cronograma foi proposto pelo CNPE (Resolução CNPE N° 03 de 20/03/2023), com incrementos anuais de 1% na mistura, no primeiro dia de abril, até alcançar 15% em abril de 2026. No entanto, a resolução estabelece a possibilidade da antecipação do cronograma, ao dizer que “será reavaliada, neste mesmo CNPE, a redução do prazo para os aumentos do teor do biodiesel com base em estudos de oferta, demanda e seus impactos econômicos”. A mesma resolução também determina que as “aquisições provenientes do Programa Selo Biocombustível Social para as Regiões Norte, Nordeste e Semiárido sejam, no somatório, de pelo menos 10% em 2024, 15% em 2025 e 20% em 2026” (Resolução CNPE N° 03 de 20/03/2023).

Em seguida à decisão do CNPE, a ANP (Resolução ANP N° 920, de 04/04/2023) publicou uma nova especificação físico-química do biodiesel, mais adequada ao aumento gradual do teor de biodiesel, que chegará a 15% em 2026. A nova especificação determinou obrigações mais rígidas em relação ao padrão de qualidade, com o objetivo de obter um maior controle dos contaminantes, estabilidade oxidativa e propriedades a frio do produto, características importantes para a qualidade do biodiesel.

Em alguns casos, como em regiões distantes de refinarias de petróleo, é autorizada a comercialização e o uso voluntário do biodiesel em percentual de adição superior aos 15% obrigatórios. Nestas situações, os percentuais máximos são de até 20% em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento, 30% no transporte ferroviário, 30% no uso agrícola e industrial, e 100% no uso experimental, conforme a Resolução CNPE n° 3/2015.

Com objetivos semelhantes ao do Brasil, muitos países efetuam a adição de biodiesel ao diesel mineral. A produção mundial de biodiesel, que alcançou 45 bilhões de litros em 2021, é mais disseminada entre os países do que a de etanol, devido a possibilidade de se produzir biodiesel com diversas matérias-primas, como óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais, como óleo de cozinha usado (REN21, 2022).

Em 2020, havia 49 países com uso mandatório de biodiesel. A Figura 5 mostra o mapa com os percentuais de adição de biodiesel no diesel fóssil em 2020. Evidentemente este quadro é alterado a cada ano. A Indonésia, maior produtor individual de biodiesel e que utiliza o óleo de palma como matéria-prima, aumentou a mistura para 30% (maior percentual mundial) e realiza testes para implementar a adição de 40%, a fim de reduzir as importações de óleo diesel (BIODIESELBR, 2022). Na Argentina, recentemente, foi autorizado misturas de até 12,5% para reduzir a importação de diesel e combater a inflação (BIODIESELBR, 2022).

o que evita a contaminação do solo, e o gás liberado pode ser usado para cozinhar alimentos, em substituição ao gás de botijão.

O bioquerosene de aviação, desenvolvido nos anos 1980, pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar, oleaginosas, gorduras animais e resíduos em um processo semelhante ao da produção do biodiesel. É um biocombustível substituto do querosene de aviação, combustível fóssil que, em 2021, correspondeu a 3,0% do consumo total de combustíveis do setor de transporte (EPE, 2022a).

Diante do Acordo de Paris (2015), o setor de aviação foi o primeiro a criar metas próprias para a mitigação das mudanças do clima (YOSHINAGA, 2020), com o estabelecimento pela Organização da Aviação Civil Internacional das Nações Unidas (International Civil Aviation Organization - ICAO/UN) de um acordo de redução de emissão com as empresas aéreas, denominado CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), no qual define um crescimento neutro de carbono na indústria da aviação, a partir de 2021 (ICAO, 2018, apud EPE 2022b).

Atualmente não há obrigação de adição do bioquerosene ao querosene de aviação pela ANP, seu uso é voluntário e foi regulamentado pela Lei nº 14.248, de 25 de novembro de 2021, que criou o Programa Nacional do Bioquerosene. O bioquerosene de aviação pode contribuir para a redução das emissões do setor de aviação.

O hidrogênio pode ser obtido de diversas fontes, renováveis ou não renováveis. Dependendo da fonte ele é classificado como hidrogênio cinza, azul ou verde. O hidrogênio cinza é produzido a partir de derivados de petróleo, como o gás natural ou com carvão mineral, e o carbono gerado pelo processo é liberado na atmosfera. O hidrogênio azul também é produzido com fontes fósseis, mas o carbono é capturado e armazenado no subsolo. Por outro lado, na produção do hidrogênio verde não são emitidos GEE, pois ele é fabricado a partir de energias renováveis como a eólica ou a solar (DE LARA e RICHTER, 2023). O hidrogênio verde pode ser usado em veículos elétricos com célula de combustível, nos quais o oxigênio e o hidrogênio são combinados para se gerar eletricidade.

Segundo a Agência Internacional de Energia, atualmente 99% do hidrogênio combustível são produzidos a partir de fontes não renováveis e menos

de 0,1% por meio da eletrólise da água, mas, no futuro, com o desenvolvimento da tecnologia e a busca por fontes de energia limpa, a produção de hidrogênio verde pode se expandir (EPE, 2021b).

3. A produção do biodiesel no Brasil

3.1. Introdução

Neste capítulo, serão apresentadas informações e estatísticas da evolução da produção de biodiesel no Brasil desde o início do PNPB, em 2005. A produção é analisada por região brasileira e por tipo de matéria-prima utilizada.

Na concepção do PNPB, o óleo de mamona na Região Nordeste e o óleo de dendê ou de palma na Região Norte, que contam com os maiores incentivos fiscais, deveriam ser as principais matérias-primas usadas na produção de biodiesel nestas regiões. Porém, não foi isso que aconteceu. Além da soja, a principal matéria-prima, outros vegetais oleaginosos, gorduras animais, materiais graxos e resíduos de frituras também são utilizados, porém em menor escala. Numa perspectiva mais sustentável, ainda existe a possibilidade de produção de biodiesel a partir dos frutos de algumas palmeiras nativas, o que vem sendo estudado pela Embrapa. Por fim, é mencionado o biocombustível HVO, também conhecido como diesel verde ou renovável, que pode ser adicionado ao diesel de petróleo, inclusive junto com o biodiesel.

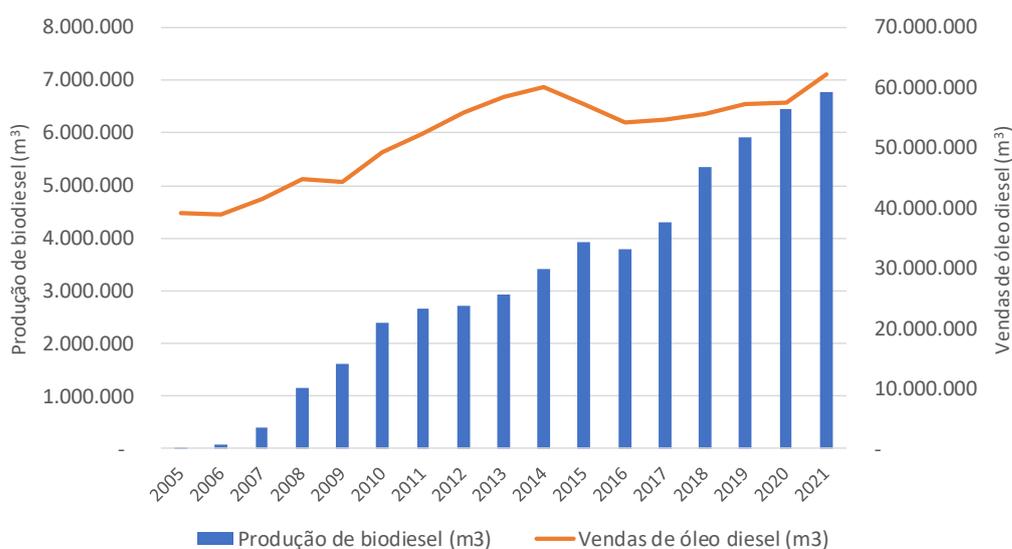
3.2. A produção atual e as principais matérias-primas utilizadas

Como se observa no Gráfico 8, que apresenta a evolução do volume produzido de biodiesel puro (B100) e as vendas de óleo diesel, a produção de biodiesel segue em trajetória de crescimento desde o início do PNPB em 2005. Mesmo com a pandemia de Covid-19 e medidas de isolamento social, a produção de 2020 atingiu 6,4 milhões de m³, assinalando um acréscimo de 9,2%, em relação ao ano anterior. Em 2021, com a retomada da economia e a maior circulação de pessoas e mercadorias, a produção avançou 5,0%, alcançando 6,8 milhões de m³, maior patamar desde o início do PNPB em 2005, apesar da redução do percentual de adição do biodiesel no diesel mineral ao longo do ano, que chegou a 13% em março, mas fechou o ano em 10%.

A produção do biodiesel, além de ser determinada pelo percentual de mistura do biodiesel no diesel, é diretamente influenciada pela oferta doméstica de

óleo diesel, já que é um percentual deste. A demanda por diesel, por sua vez, é influenciada pela variação do PIB. Em 2021, as vendas de óleo diesel B (com adição de biodiesel) atingiram 62,1 milhões de m³, maior patamar desde o início da série histórica (ANP, 2022b).

Gráfico 8: Produção brasileira de biodiesel puro (B100) x vendas de óleo diesel B pelas distribuidoras, em metros cúbicos (m³): 2005-2021



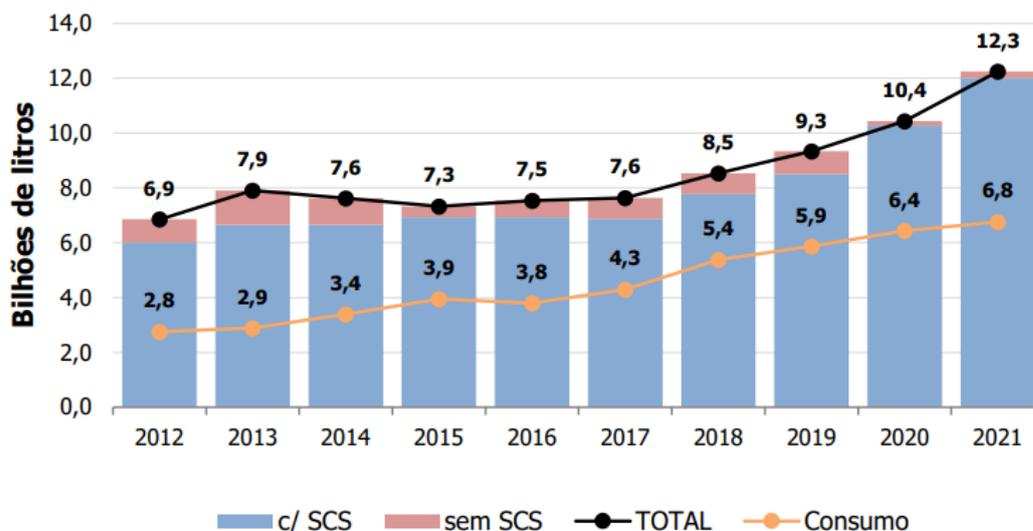
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados estatísticos da ANP (2022b).

Conforme o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 2022, da ANP, a atual capacidade de produção de biodiesel é de 12,3 bilhões de litros nas 53 usinas em operação. Esta capacidade é suficiente para atender ao crescimento da demanda e ao aumento para 15% da mistura de biodiesel no diesel, meta inicialmente prevista para 2023 e adiada para 2026, visto que a produção de 2021 correspondeu a somente 55,4% da capacidade instalada do País. Segundo projeção da EPE no Plano Decenal de Expansão de Energia, a demanda de biodiesel atingirá 12,1 bilhões de litros em 2032 (EPE, 2022e).

O Gráfico 9 mostra a evolução da capacidade de produção e do consumo de biodiesel desde 2012. Observa-se que, em razão da entrada em operação de novas plantas industriais, houve uma expansão da capacidade instalada de mais de 60% no período de 2017 a 2021, ou seja, o setor produtivo realizou investimentos prevendo o aumento da mistura, o que ainda não se efetivou. Outro destaque no gráfico é que praticamente toda a capacidade de produção de biodiesel vem de

usinas que possuem o Selo Biocombustível Social, demonstrando a forte adesão às suas regras e que o PNPB vem cumprindo o objetivo de integrar a agricultura familiar à produção de biodiesel.

Gráfico 9: Capacidade de produção e consumo de biodiesel - em bilhões de litros: 2012-2021



Fonte: EPE (2022b), a partir de ANP 2022a.

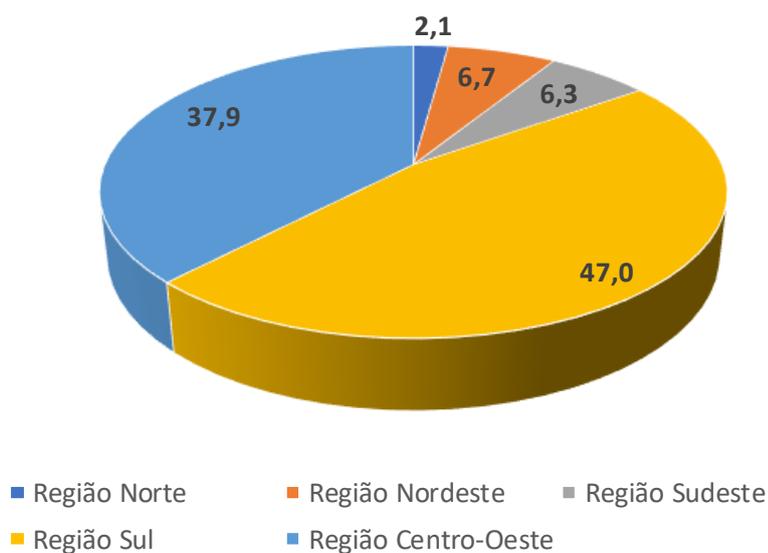
Vale mencionar ainda o potencial de exportação do biodiesel, tendo em vista a capacidade ociosa das usinas. Em 2021, o País exportou 7.531 m³, o dobro do volume exportado em 2020, mas ainda uma quantidade insignificante no comércio internacional, dominado pelos Estados Unidos, Europa e Argentina (ME, 2022a, apud EPE 2022b). A capacidade produtiva mostrada no gráfico anterior e a produção de biodiesel estão concentradas nas regiões Centro-Oeste e Sul, que juntas possuem 78,3% da capacidade e 84,9% da produção do País, conforme mostram o mapa na Figura 6 e o Gráfico 10, a seguir.

Figura 6: Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100), segundo Grandes Regiões (mil m³/ano) - 2021



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022, ANP 2022a.

Gráfico 10: Produção de biodiesel por Grande Região (em % do Brasil) - 2021

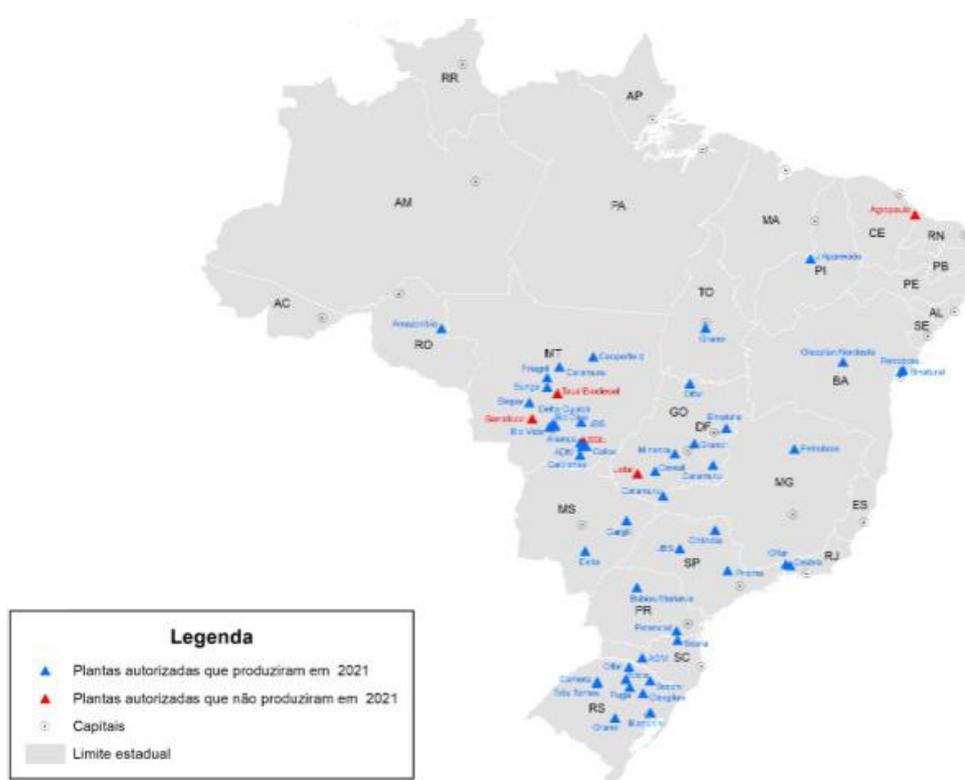


Fonte: Elaboração própria, a partir de Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022, ANP 2022a.

Em relação à produção, em termos regionais, como pôde ser visto no Gráfico 10, as regiões Sul (47,0%) e Centro-Oeste (37,9%) concentraram mais de 80% do biodiesel produzido em 2021 (ANP, 2022), apesar da Região Sudeste ser o maior mercado consumidor. O Nordeste produziu 6,7%, o Sudeste (6,3%) e o Norte apenas 2,1% do total do Brasil. A produção de biodiesel está presente em treze Unidades da Federação, com destaque para o Rio Grande do Sul, com 27,4% da produção nacional, Mato Grosso (19,5%), Paraná (18,1%) e Goiás (14,3%), os quais em conjunto corresponderam a 79,3% da produção brasileira em 2021 (ANP, 2022a).

O mapa abaixo (Figura 7) mostra a localização das 53 usinas de biodiesel autorizadas, e evidencia a concentração da produção nas regiões Sul e Centro-Oeste. A seguir, a Figura 8 mostra uma foto de uma usina de biodiesel.

Figura 7: Distribuição das usinas de biodiesel no Brasil - 2021



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022, ANP, 2022a.

Figura 8: Foto de usina de biodiesel

*Usina em Montes Claros (Foto: Divulgação/Petrobras)*

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversos tipos de matérias-primas renováveis, que podem ser divididas em três grupos (Câmara, 2006, apud Sallet; Alvim, 2011).

a) Óleos vegetais: líquidos à temperatura ambiente, como os óleos de soja, algodão, amendoim, babaçu, canola, dendê, girassol, mamona.

b) Gorduras animais: pastosas ou sólidas à temperatura ambiente, como o sebo bovino, óleo de peixe, banha de porco, óleo de mocotó.

c) Óleos e gorduras residuais: matérias-primas relacionadas ao meio urbano, como óleos residuais originários de cozinhas domésticas e industriais (óleo de fritura); gordura sobrenadante (escuma) de esgoto; óleos residuais de processamentos industriais.

Conforme trecho abaixo, citado no artigo “Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil”.

A viabilidade de cada matéria-prima dependerá de suas propriedades técnicas, sua competitividade econômica e seus benefícios socioambientais, contemplando aspectos como: teor de óleo; produtividade agrícola (produção por unidade de área); equilíbrio agrônomico; diferentes sistemas de produção; ciclo cultural (sazonalidade); adaptação regional; e impacto socioambiental de seu

desenvolvimento. A análise desses aspectos é de extrema importância para definir estratégias de produção e exploração do potencial energético dos recursos naturais disponíveis de forma sustentável e eficiente (Ramos, 1999, 2003, apud Sallet; Alvim, 2011).

Ao longo dos dezoito anos de existência do PNPB houve uma reconfiguração das matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel. No início, a mamona, a soja, o dendê, o algodão e o girassol figuravam como as oleaginosas mais promissoras para atender à demanda das usinas (EPE, 2021b), por conta de sua oferta já disponível ou pela sua produtividade de óleo por hectare, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Características das oleaginosas

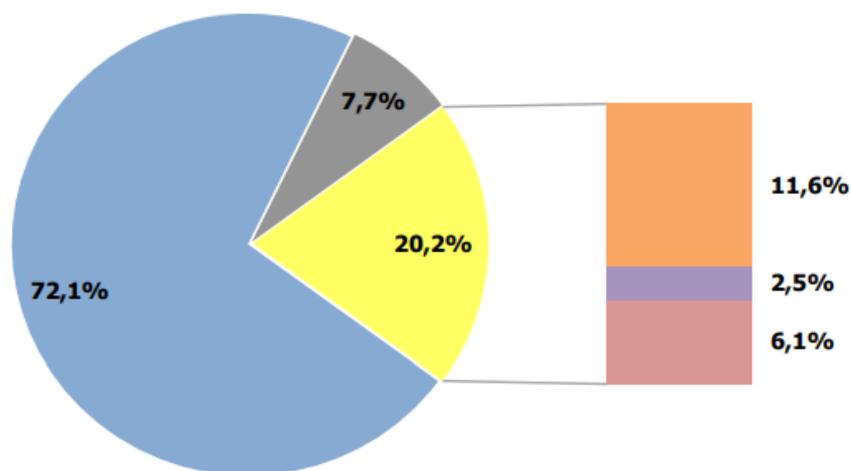
Espécies	Teor de óleo (%)	Ciclo (anos)	Meses de colheita	Produtividade (ton óleo/ha)
Dendê	20	8	12	3,0–6,0
Babaçu	66	7	12	0,1–0,3
Girassol	38–48	Anual	3	0,5–1,9
Canola	40–48	Anual	3	0,5–0,9
Mamona	43–45	Anual	3	0,5–0,9
Soja	17	Anual	3	0,2–0,4
Algodão	15	Anual	3	0,1–0,2

Fonte: Costa e Santos (2008), apud Mendes e Costa, 2011.

Apesar do PNPB e o Selo Biocombustível Social (SBS) terem o objetivo de diversificar o tipo de matéria-prima e a região produtora, não conseguiram evitar que mais de 70% do biodiesel seja fabricado a partir da soja e mais de 80% nas regiões Sul e Centro-Oeste, como já citado. A liderança da soja é devido à sua abundante oferta e estrutura de produção, capaz de atender à demanda dos produtores de biodiesel.

Conforme dados da ANP, em 2021, 72,1% do biodiesel foram fabricados com óleo de soja, 11,6% com materiais graxos, 7,7% com gordura bovina, 2,5% com óleo de dendê (palma) e 6,1% com outras matérias primas, como gordura de frango ou de porco, óleo de algodão, óleo de colza/canola, óleo de fritura usado, óleo de milho e óleo de palmiste – Gráfico 11.

Gráfico 11: Participação das matérias-primas na produção de biodiesel em 2021



■ Oléo de Soja ■ Gordura Bovina ■ Materiais graxos ■ Dende ■ Outras

Materiais graxos inclui: mistura de matérias-primas em tanque e reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel.

Outras: Gordura de frango, gordura de porco, óleo de algodão, óleo de colza/canola, óleo de fritura usado, óleo de milho, óleo de palmiste.

Fonte: EPE 2022b, a partir de ANP 2022

Embora o óleo de soja seja a principal matéria-prima, vale citar outras que têm potencial de ganhar participação no mix de insumos para a produção de biodiesel. A dimensão territorial do Brasil, com sua diversidade de climas e biomas, proporciona o cultivo de várias espécies que podem fornecer óleo para a produção de biodiesel, como mostra o mapa da Figura 9.

Figura 9: Aptidões regionais para o fornecimento de matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel no Brasil



Fonte: Elaboração própria, a partir de Parente (2003) e Embrapa (2012, 2013, 2014, 2015).

Desse modo, as diversas condições edafoclimáticas do Brasil propiciam a produção de variadas matérias-primas vegetais para a produção de biodiesel. No Centro-Oeste destacam-se a produção da soja, do milho, do algodão, do girassol e há potencial do uso da macaúba. No Sudeste, cultivam-se a soja, algodão, girassol e a macaúba é nativa nas áreas de cerrado. No Sul, predominam os plantios de soja, milho, colza (canola) e do girassol. O Nordeste é apto para o cultivo da mamona e do pinhão-manso no semiárido, do babaçu no Maranhão e Piauí na região conhecida como Mata dos Cocais, da soja e do algodão nas áreas de Cerrado no oeste da região e do dendê na Bahia. No Norte, o dendezeiro se adaptou bem em áreas já desmatadas da Amazônia, como em pastagens degradadas e em sistemas agroflorestais. Outras palmeiras nativas, como o inajá, tucumã e babaçu também podem fornecer óleo para a fabricação de biodiesel.

Além desses insumos, pode-se produzir biodiesel com materiais graxos, com gordura animal, principalmente, sebo bovino, mas também gordura de porco, de frango e óleo de peixe, com óleo de fritura usado e até com algas. O sebo bovino, resíduo da produção de frigoríficos, é importante pois tem abundante oferta disponível, em função do rebanho de 224,6 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2022b). O relatório “Benefícios Ambientais da Produção e do Uso do Biodiesel” do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014), estima que cerca de 40 milhões de bovinos sejam abatidos por ano, gerando mais de 800

milhões de quilos de sebo, sendo metade destinada à produção de biodiesel e o restante a outros usos, como a fabricação de sabões, detergentes, cosméticos e ração animal. Vale citar que grandes frigoríficos também possuem plantas industriais produtoras de biodiesel, que aproveitam o sebo bovino disponível como matéria-prima. Assim como o sebo bovino, o aproveitamento dos materiais graxos e dos óleos residuais de fritura industriais ou domésticos para a fabricação de biodiesel evita o descarte inadequado desses dejetos nos recursos hídricos, solo e aterros sanitários.

3.3.

A soja: a matéria-prima mais utilizada

A soja, oleaginosa de origem chinesa, foi introduzida no Brasil no final do século XIX, mas só começou a aparecer nas estatísticas agropecuárias na década de 1940 (EMBRAPA, 1987). Por ser de clima temperado, a soja foi plantada inicialmente na Região Sul, porém com o desenvolvimento pela Embrapa de sementes adaptadas ao clima tropical, atualmente é produzida em todas as regiões do País. É o produto agrícola com a maior produção, a maior área plantada e o maior valor de produção do Brasil, que se destaca como o maior produtor e exportador mundial, tendo ultrapassado os Estados Unidos recentemente.

Segundo a Produção Agrícola Municipal 2021 (IBGE, 2022a), foram produzidos 134,9 milhões de toneladas de soja, um crescimento de 10,8%, em comparação à safra de 2020 (121,8 milhões de toneladas) em uma área plantada de 39,2 milhões de hectares, 5,3% superior à de 2020 e maior que os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina somados. A produtividade foi de 3.445 kg/ha, 5,2% superior à registrada em 2020 (3.275 kg/ha). A safra de 2021 atingiu um valor de produção de R\$ 341,7 bilhões, assinalando um acréscimo de 102,1% em relação à safra de 2020 (R\$ 169,1 bilhões), por conta dos maiores preços internacionais e do Dólar valorizado, já que a soja por ser uma commodity tem sua cotação dolarizada.

Diversos motivos contribuem para essa dimensão da produção da soja no Brasil. A soja é um produto agrícola de fácil comercialização, pois existem poucos produtores e menos ainda exportadores (os principais são o Brasil, Estados Unidos, Argentina e Paraguai) e muitos países consumidores, pois seu farelo, rico

em proteína, é insumo básico na produção de rações para suínos, aves e bovinos. A produção de soja é realizada em grande parte do território brasileiro, com alta produtividade, o período do plantio até a colheita é de somente cinco meses, e seus grãos podem ser armazenados por até um ano, aguardando melhores preços para a comercialização (DALL'AGNOL, 2007). Na maioria dos casos seu cultivo é realizado em grandes ou médias propriedades por empresas agrícolas ou produtores familiares mais capitalizados e organizados em cooperativas, os quais têm acesso a assistência técnica, crédito para investimentos em máquinas agrícolas, armazenagem, fertilizantes, defensivos, o que garante uma elevada produtividade e um fluxo constante de produção para atender ao mercado interno e externo.

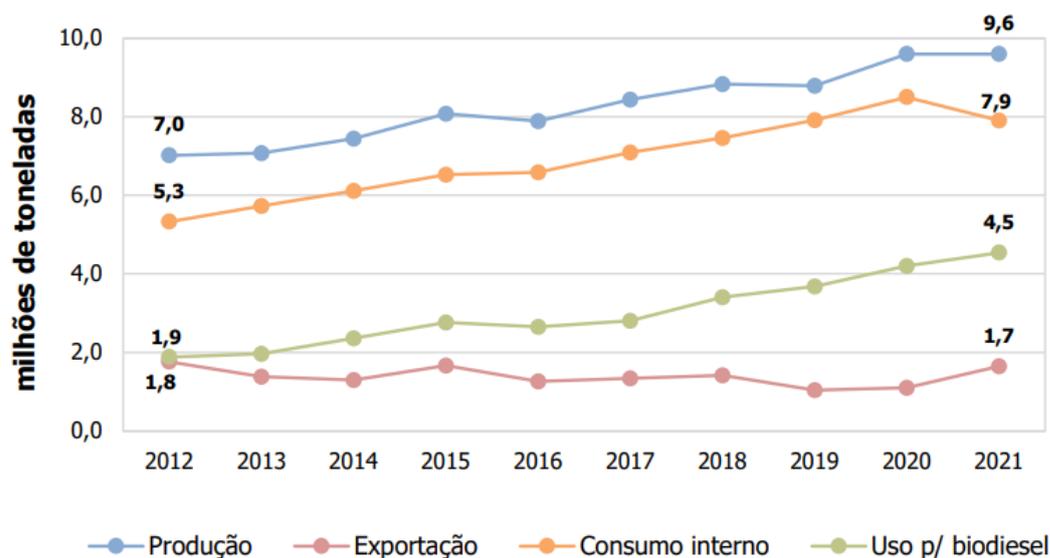
A soja possui uma cadeia produtiva consolidada e tecnologicamente madura, com oferta regular, e conta com um aparato legal para acompanhamento das suas fronteiras de expansão. O seu desenvolvimento se baseou em pesquisas para selecionar variedades com alto teor de proteína e menor teor de óleo. Cerca de 80% do peso do grão é proteína vegetal, utilizada na produção de ração animal, e os 20% restantes, se constituem do óleo usado na alimentação humana, fabricação de biodiesel, uso farmacêutico e várias aplicações industriais (EPE, 2021b).

Os grãos de soja, ao serem processados resultam no farelo de soja e no óleo de soja. O principal objetivo, em geral, é a produção do farelo, componente da ração animal, porém o óleo de soja (coproduto) agrega valor à produção. Mesmo a soja sendo uma das oleaginosas de menor rendimento de óleo por hectare (de 0,2 a 0,4 t/ha), o óleo de soja é o óleo vegetal de maior produção no Brasil, com 77% do total de óleos produzidos (ABIOVE, 2021) e vem fornecendo matéria-prima em quantidade suficiente para atender à crescente produção de biodiesel.

A publicação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) “Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis de 2021” apontou que a produção de óleo de soja foi de 9,64 milhões de toneladas em 2021, um pouco superior à registrada em 2020 (9,56 milhões). Deste total, 4,5 milhões de toneladas foram destinadas à produção de biodiesel, um incremento de 7,1%, em relação aos 4,2 milhões de toneladas em 2020. O Gráfico 12 mostra a evolução da produção total de óleo de

soja, a produção de óleo para o consumo interno (soma da produção para o biodiesel com a produção destinada ao consumo humano e para outros usos), a produção exclusiva para biodiesel, e a produção exclusiva para as exportações.

Gráfico 12: Mercado de óleo de soja - 2012-2021



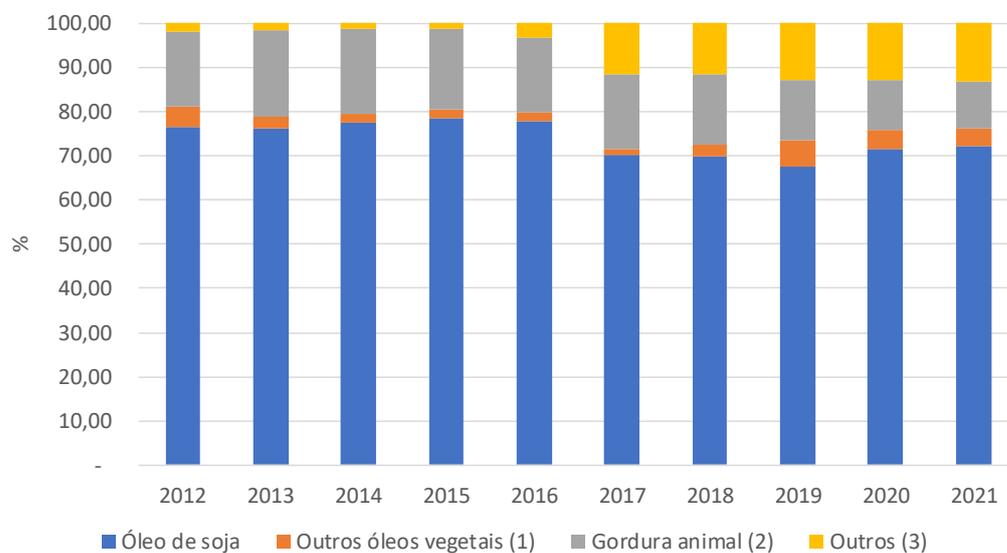
Nota: O consumo interno compreende o óleo para biodiesel, alimentício e outros usos.

Fonte: EPE a partir de ABIOVE (2022)

Observa-se no gráfico que a produção de óleo de soja destinada ao biodiesel cresceu a taxa superior ao aumento da produção total de óleo de soja, enquanto as exportações sofreram ligeiro recuo e hoje representam um percentual menor do total, pois uma parcela maior da produção passou a ser direcionada ao mercado interno e à fabricação de biodiesel.

Como dito anteriormente, em 2021, 72,1% do biodiesel foi produzido a partir da soja, que fornece um fluxo regular de matéria-prima (óleo de soja), que atende à necessidade das usinas de biodiesel. O Gráfico 13 mostra a liderança da soja como matéria-prima para a produção de biodiesel, cuja participação oscilou entre 67,7% e 78,6% no período de 2012 a 2021.

Gráfico 13: Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, em percentual do total: 2012-2021



Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2022a)

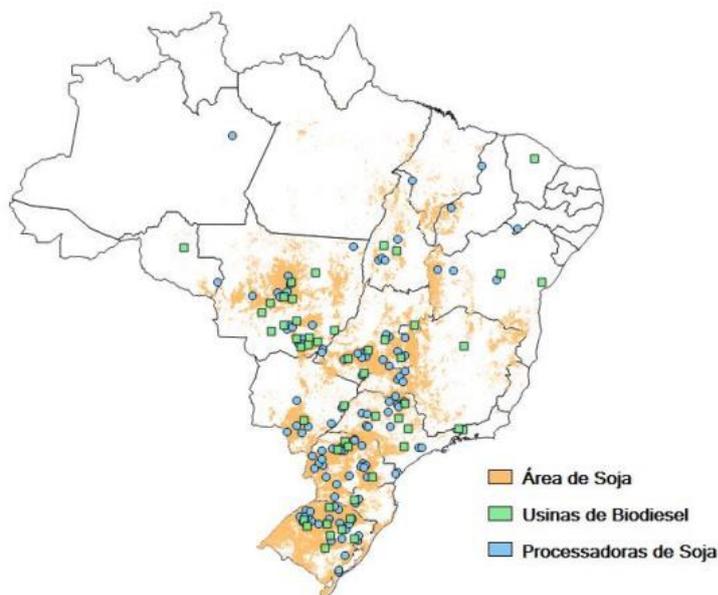
(1) Inclui óleo de algodão, canola, girassol, macaúba, milho, palma e palmiste

(2) Inclui gordura bovina, de frango e de porco

(3) Inclui óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

Não por coincidência, as regiões Sul e Centro-Oeste, que são as que mais produzem soja no País, também são aquelas onde se localizam as indústrias processadoras de soja e as usinas de biodiesel, conforme mostra o mapa (Figura 10) abaixo.

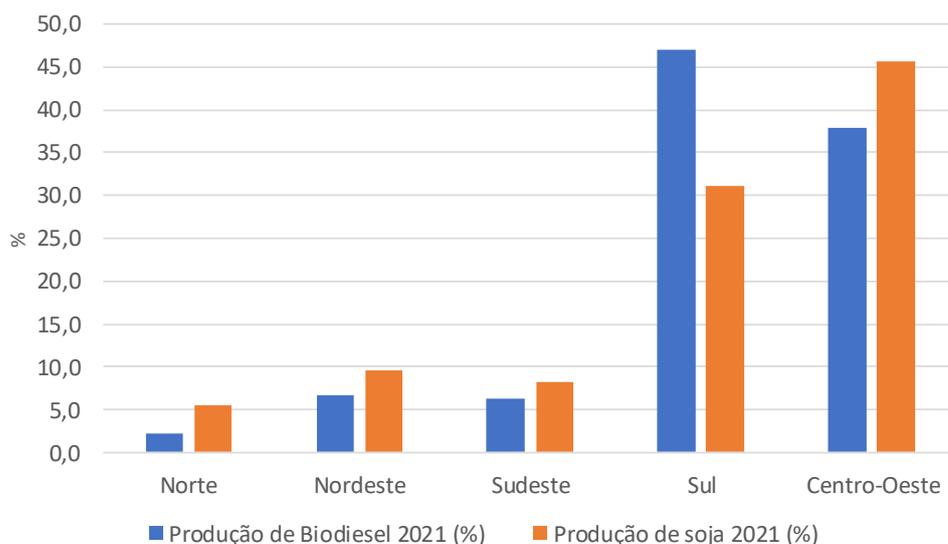
Figura 10: Localização das áreas produtoras de soja, das indústrias processadoras de soja e das usinas de biodiesel no Brasil



Fonte: ABIOVE, 2019

Na safra de 2021, segundo a Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2022) o Centro-Oeste produziu 45,6% e o Sul, 31,1% da soja brasileira. Em relação à produção de biodiesel, o Centro-Oeste foi responsável por 37,9% e a Região Sul por 47,0%, conforme mostra o Gráfico 14.

Gráfico 14: Produção de soja e de biodiesel por Grandes Regiões do Brasil, em percentual do total, em 2021



Fonte: Elaboração própria com dados da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2022) e ANP, 2022a

3.4.

A Mamona e o Dendê e os incentivos do PNPB para estimular a agricultura familiar

A mamona e o dendê (palma) possuem os maiores benefícios fiscais do PNPB e na concepção do programa deveriam ser as “culturas-chave”. Por serem intensivas em mão-de-obra, gerariam emprego, renda, inclusão social e desenvolvimento nas regiões Nordeste e Norte. A produção de biodiesel utilizando a mamona ou o dendê tem redução de 81,29% dos tributos (PIS/Pasep e Cofins), no caso de as usinas não possuírem o Selo Biocombustível Social (SBS) e para aquelas que possuem, a redução é de 100%.

A mamona (*Ricinus communis*) é uma oleaginosa originária da Ásia Meridional ou da África, mas que se adaptou bem a solos pouco férteis e ao clima semiárido presente em boa parte do Nordeste e no norte de Minas Gerais, desfavorável para muitas espécies agrícolas (BIODIESELBR, apud ENCARNAÇÃO, 2008). Foi introduzida no Brasil pelos portugueses, pois seu óleo era usado na iluminação e como lubrificante nos eixos das carroças e nas engrenagens dos engenhos de açúcar (BIODIESELBR, 2006). É cultivada, principalmente, pelos agricultores familiares, por ser um arbusto extremamente resistente, fornecendo uma opção de renda mesmo em períodos de estiagem.

O objetivo do PNPB era tornar a mamona uma das principais matérias-primas para a produção de biodiesel, sobretudo no Nordeste (JUNIOR e YOUNG, 2013). Assim, pelo fato da mamona ser cultivada tipicamente em pequenas propriedades familiares, estaria comprovado o caráter de inclusão social do PNPB. Todavia, a produção de mamona não atingiu um volume necessário para atender ao mercado de biodiesel, em função de dificuldades no cultivo, provocadas por secas prolongadas e cada vez mais irregulares, investimento insuficiente, manejo inadequado, elevada sazonalidade, preços instáveis, endividamento dos agricultores, falta de tradição em associativismo e dispersão das propriedades no território, que dificultou a prestação de assistência técnica e a gestão da comercialização e da logística. Vale citar ainda que a mamona por conta da elevada viscosidade de seu óleo deve ser misturada a outra oleaginosa na produção de biodiesel para cumprir às exigências técnicas da ANP (MAIA et al., 2007, apud CHECHETTO et. al., 2010).

Desse modo, o cultivo da mamona tem baixa produtividade e os agricultores, de forma geral, também cultivam outros produtos para terem uma segurança alimentar, destinando uma pequena parte da propriedade para a oleaginosa (CASTRO, 2011; FERREIRA et al., 2015). Além disso, o óleo de mamona (óleo de rícino) também é utilizado em outros mercados, como na indústria química, de cosméticos e como lubrificante, que remuneram melhor o produtor (Boletim do Selo Biocombustível Social, MAPA, 2021).

Outra questão que dificultou a viabilidade da mamona como matéria-prima para o biodiesel foi a paralisação da usina da Petrobrás Biocombustível no Ceará (Quixadá) em 2016, e a redução da produção de outras duas usinas da Petrobrás em Minas Gerais (Montes Claros) e na Bahia (Candeias) (VASCONCELOS, 2023), que consumiam mamona. Segundo dados da ANP (2022), a mamona, não vem sendo utilizada na produção de biodiesel e as usinas do Nordeste, ainda em operação, produzem biodiesel, principalmente, a partir do óleo de soja.

O Dendezeiro ou Palma (*Elaeis guineensis*) é uma palmeira nativa da costa ocidental da África (Golfo da Guiné), mas é cultivada no Brasil desde o século XVI. Inicialmente foi plantada no sudeste da Bahia, onde se adaptou bem ao solo e ao clima tropical úmido, e posteriormente se expandiu para a Amazônia, sobretudo no Pará, estado que concentra mais de 90% da produção brasileira, segundo a pesquisa Produção Agrícola Municipal 2021 (IBGE, 2022).

O óleo de palma é o óleo vegetal mais produzido no mundo, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), correspondendo a mais de 38% da produção mundial de óleos vegetais. É a oleaginosa cultivada de maior produtividade. Produz dez vezes mais óleo que a soja, quatro vezes mais que o amendoim e duas vezes mais que o coco. Pode produzir até 6 toneladas de óleo por hectare por ano (EMBRAPA, 2011b), enquanto a soja produz de 500 a 600 quilos. Os maiores produtores são a Indonésia e a Malásia, que juntas tem mais de 80% da produção mundial, enquanto o Brasil tem menos de 1% (BASTOS, apud REIS et al., 2017).

O Governo Federal criou, em 2010, o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo (PL 7326/10), com o objetivo de incentivar o cultivo do dendê em áreas degradadas da Amazônia Legal, que não façam parte de reservas legais, terras indígenas ou quilombolas, e em áreas do Nordeste utilizadas para cana-de-

açúcar. Além disso, o dendê foi escolhido como cultura-chave do PNPB na Região Norte para estimular o agricultor familiar a integrar a cadeia de biocombustíveis. Para fazer parte do programa e ter direito a financiamento o produtor deve ter o Cadastro Ambiental Rural (CAR) regularizado e a área de plantio não pode ter sido desmatada depois de 2008. O programa também veta novos desmatamentos para o plantio do dendê e só aprova o licenciamento ambiental de projetos em áreas permitidas pelo Zoneamento Agroecológico, que classificou os solos com maior aptidão para o cultivo do dendê (RAMALHO FILHO et al., 2008).

Além do plantio comercial, o dendê pode ser cultivado em Sistemas Agroflorestais (SAFs). Pesquisa feita em parceria entre a Embrapa, a empresa Natura e a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açú (Pará) mostrou que o dendê cultivado em SAFs é produtivo e gera serviços ambientais, como alimentos, madeira e regulação do clima e da água. A pesquisa avaliou por doze anos os cultivos de dendê e outras espécies frutíferas e florestais plantadas em uma mesma área, utilizando manejo agroecológico, com adubação orgânica, adubação verde, cobertura viva e biocaldas. A produtividade média por planta foi de 180 kg de cachos no SAF, contra 139 kg no plantio convencional em monocultura. O teor de óleo por cacho também foi superior, de 24,7% no SAF, e no monocultivo variou de 18% a 22%. Neste SAF (Figura 11), a matéria orgânica depositada no solo foi semelhante à de uma floresta, aumentando de 31 t para 47,5 t o estoque médio de carbono no solo por hectare, e a temperatura média ficou 5% menor do que na área externa ao SAF. (KATO et al., 2011, EMBRAPA, 2021).

Figura 11: Sistema Agroflorestal com dendê em Tomé-Açú (Pará)



Fonte: Embrapa, 2021.

Ao contrário da mamona, que não está sendo mais utilizada como matéria-prima na produção de biodiesel, o dendê, nos últimos anos ganhou participação. Em 2017, por exemplo, sua participação era de 0,82% e em 2021 alcançou 2,5% da produção nacional de biodiesel.

Outra utilização do biodiesel produzido a partir do dendê ou até mesmo do óleo de dendê puro é na geração de energia em geradores elétricos em localidades isoladas da Região Norte, onde a rede elétrica não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Neste caso, o uso do biodiesel ou do óleo de dendê in natura evita o custo elevado do frete no transporte do diesel de petróleo da refinaria até o local do gerador (COELHO et al, 2005).

3.5. As palmeiras nativas

Uma alternativa às tradicionais oleaginosas é a produção de biodiesel a partir dos frutos de algumas palmeiras nativas, em função de sua elevada produtividade de óleo por hectare e de sua abundância em nosso País, tanto que o Brasil era conhecido pelos indígenas como Pindorama, que em tupi-guarani quer dizer região ou terra das palmeiras. (BIODIESELBR, 2012). No Brasil, a área com palmeiras é de cerca de 40 milhões de hectares, que podem produzir em

média 3 toneladas de óleo por hectare, ou seja, 120 milhões de toneladas de óleo no total por ano. Existem no Brasil diversas espécies nativas de palmeiras com potencial para a produção de biodiesel, tais como a macaúba, tucumã, inajá, babaçu, buriti, licuri e tucum (BIODIESELBR, 2012). A macaúba parece ser a palmeira nativa de maior potencial de atingir uma escala comercial que possibilite atender às usinas de biodiesel. “A macaúba tem despontado como promissora, devido a sua alta produtividade e a sua adaptação aos diversos ecossistemas brasileiros (EPE, 2021b)”.

A Embrapa desde 2010, junto com universidades, tem o projeto “Pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em palmáceas para a produção de óleo e aproveitamento econômico de coprodutos e resíduos” (“ProPalma”), com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), e tem priorizado investimentos em pesquisa em quatro espécies de palmeiras, selecionadas pela densidade energética (kcal/g) e distribuição territorial para serem usadas como matérias-primas na produção comercial de óleos. Tucumã, macaúba, inajá e babaçu foram escolhidos para a pesquisa por serem palmeiras nativas produtoras de óleo e coprodutos, presentes em várias regiões e biomas, mas que atualmente são exploradas apenas de forma extrativista (EMBRAPA, 2011, 2012).

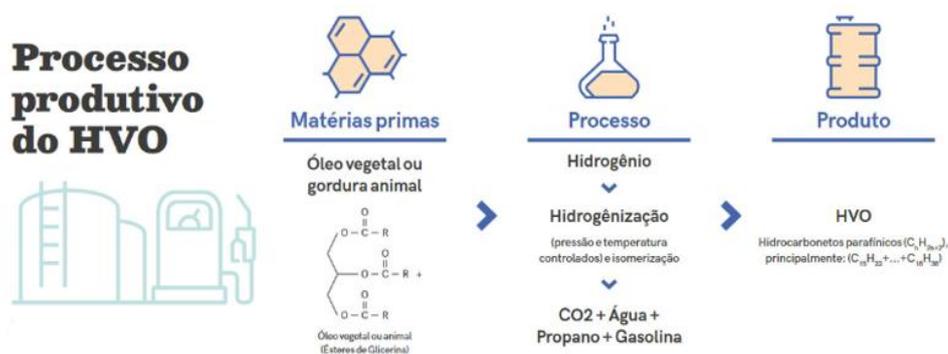
Apesar do grande potencial deve-se estudar melhor estas palmeiras nativas para se determinar o método mais eficiente de germinação, adubação, ponto de colheita, beneficiamento e armazenamento dos frutos e do óleo extraído e as principais pragas e doenças para desenvolver o manejo adequado. Deve-se ampliar a escala de produção de modo a fornecer um fluxo regular de óleo para abastecer uma usina produtora de biodiesel, que deve estar localizada próxima da fonte de matérias-primas. A produção de biodiesel a partir de palmeiras, seja em larga escala ou realizada por pequenos produtores organizados em cooperativas, junto com a produção de coprodutos como farinhas, produtos alimentícios, torta para ração, carvão vegetal e óleos, ao gerar renda e oportunidades de trabalho é mais um incentivo para preservar estas palmeiras e recuperar áreas desmatadas.

3.6.

O biodiesel de segunda geração: HVO (Hydrotreated Vegetable Oil ou Óleo Vegetal Hidrotratado) - o diesel verde ou diesel renovável

Além dos dois biocombustíveis mais produzidos (etanol e biodiesel) vale mencionar o biocombustível HVO (Hydrotreated Vegetable Oil ou óleo vegetal hidrotratado), também conhecido como diesel verde ou diesel renovável. O HVO é um biocombustível formado pela mistura de hidrocarbonetos (carbono e hidrogênio), enquanto o biodiesel é uma mistura de ésteres (carbono, hidrogênio e oxigênio). Tanto o HVO como o biodiesel podem ser produzidos utilizando óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais, o que os diferencia é o processo de produção e a qualidade do produto final. O biodiesel é fabricado pelo processo químico da transesterificação, como explicado no capítulo dois, enquanto o HVO é produzido pelo processo químico de hidrotratamento (HDT), em que as matérias-primas reagem com o gás hidrogênio em condições controladas de pressão e temperatura, formando um líquido semelhante ao diesel fóssil (SOUZA, 2020), como mostra a Figura 12.

Figura 12: Processo produtivo do HVO



Fonte: Revista NTUrbano, Ed. 42, Nov/Dez 2019. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, 2019

Como o HVO tem composição química semelhante à do combustível fóssil (*drop in*) (EPE, 2022b), pode ser usado puro ou em qualquer percentual de adição ao diesel de petróleo, sem necessidade de alteração no motor. Uma outra vantagem é que a produção do HVO permite utilizar a infraestrutura das refinarias de petróleo existentes. Pode ainda ser adicionado juntamente com o biodiesel ao diesel fóssil, sendo possível no futuro ter na composição do diesel até 15% de biodiesel (conforme prevê a legislação), mais um determinado percentual de

HVO. Segundo o fabricante de caminhões e ônibus Scania, o HVO reduz de 50% a 90% a emissão de gases do efeito estufa em relação ao diesel fóssil (SCANIA, 2019, apud EPE, 2020), além de emitir menos 33% de material particulado fino, 30% menos de hidrocarbonetos, 24% menos de monóxido de carbono e menos 9% de óxidos de nitrogênios (NTU, 2019).

No Brasil, o HVO ainda é fabricado em caráter experimental pela Petrobrás, através do coprocessamento, que processa na refinaria o diesel fóssil em conjunto com o óleo vegetal ou gordura animal. Nos Estados Unidos e em países da Europa e da Ásia, o HVO já é comercializado há cerca de dez anos. É o terceiro biocombustível mais produzido no mundo, atrás do etanol e do biodiesel. Em 2021, a produção mundial de HVO atingiu 9,5 bilhões de litros, enquanto a produção de biodiesel foi de 45 bilhões de litros (REN21, 2022, apud EPE 2022b). A capacidade produtiva mundial do HVO “vem aumentando rapidamente em função de investimentos em novas plantas e também devido à entrada de empresas petrolíferas no setor, que convertem antigas refinarias em plantas de produção de HVO” (REN21, 2022, apud EPE 2022b).

O HVO também possui alguns pontos negativos. Embora seja um combustível renovável, seu processo produtivo ainda envolve insumos fósseis, como o gás hidrogênio vindo do gás natural. Ele também pode aumentar o consumo de combustível dos veículos, se comparado com misturas de alto teor de diesel fóssil (SOUZA, 2020). Segundo a EPE, “o HVO apresenta elevados consumos energéticos em algumas rotas tecnológicas, o que pode impactar nos custos de produção, afetar a formação de preço e influenciar a penetração no mercado brasileiro de combustíveis” (EPE, 2020a).

4. Análise econômica do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)

4.1. Introdução

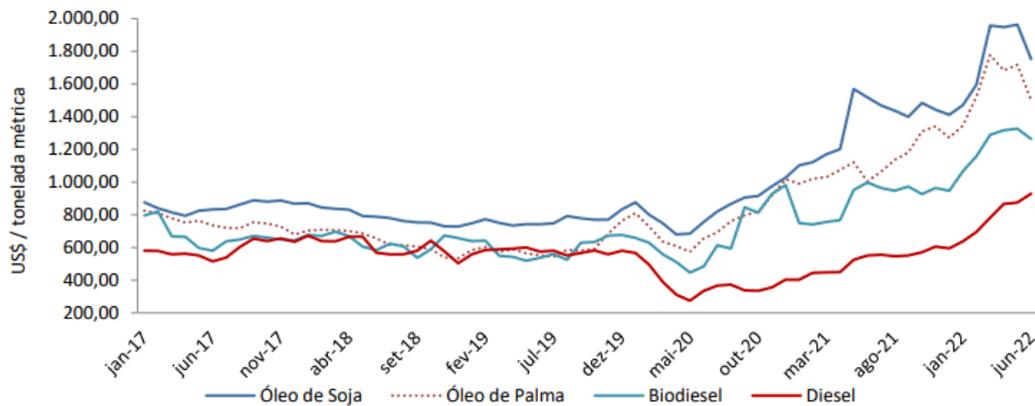
Este capítulo analisa os principais aspectos econômicos do PNPB: os custos de produção do biodiesel, com destaque para as principais matérias-primas utilizadas; a contribuição do biodiesel para o saldo da balança comercial brasileira, ao substituir parte da importação de diesel fóssil pela produção interna de biodiesel; e ainda discute se no Brasil existe competição pelo uso da terra entre a produção de oleaginosas, sobretudo a soja, utilizadas na produção de biodiesel, com a terra destinada à produção de alimentos ou à preservação ambiental.

4.2. Os custos de produção do biodiesel, segundo as matérias-primas utilizadas

Existe uma limitação de dados sobre os reais custos de produção do biodiesel no Brasil, independentemente da matéria-prima utilizada. Os estudos existentes são antigos e defasados ou não são suficientemente pormenorizados. Isto é uma limitação do trabalho, mas não impede algumas análises sobre o tema.

Os custos de produção do biodiesel são influenciados por diferentes fatores, como o tipo de matéria-prima, o local de produção, as técnicas agrícolas aplicadas, as tecnologias do processo de produção do biodiesel e os impostos (CORRÊA, 2005). O principal custo é o da compra ou da produção da matéria-prima, pois o óleo vegetal ou a gordura animal utilizados respondem por 80% a 85% do custo total (MENDES; COSTA, 2010; EPE, 2002e). O preço do óleo de soja tem grande relevância para a economia da produção do biodiesel, pois mais de 70% do biodiesel produzido desde o início do PNPB provem desse óleo. Por ser uma commodity, ele tem seu preço determinado no mercado mundial. Em caso de aumento de sua cotação, o custo de produção do biodiesel é elevado, ficando eventualmente mais caro que o diesel de origem fóssil, conforme pode ser observado no Gráfico 15, o que provoca pressão econômica e política para a redução do percentual de mistura do biodiesel no diesel.

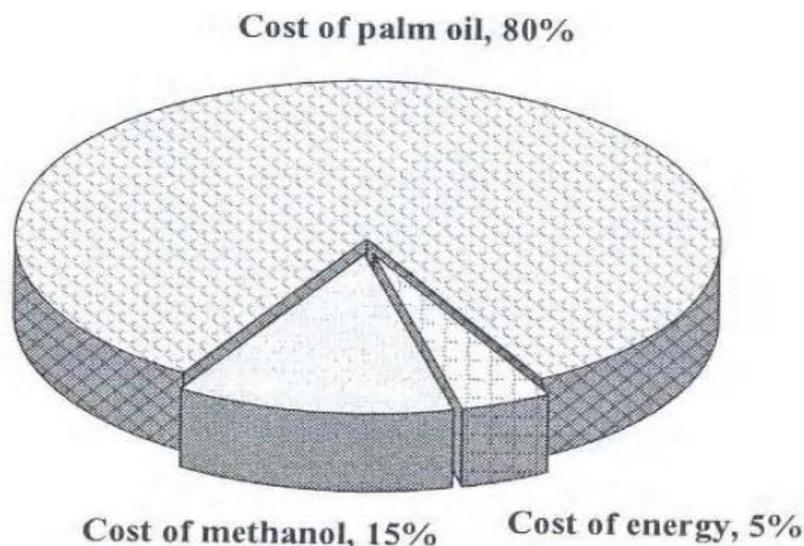
Gráfico 15: Preços internacionais do biodiesel, diesel, óleo de soja e óleo de palma



Fonte: EPE (2022e) com base em ABIOVE (2022), ANP (2022) e IndexMundi (2022)

Outro estudo que sugere que o principal custo de produção do biodiesel é a matéria-prima, foi realizado na Tailândia com a utilização de óleo de palma, que representou cerca de 80% dos custos operacionais, seguido pelo custo do metanol (15%) e da energia (5%), como mostra o Gráfico 16 (KAPILAKARN; PEUGTONG, 2007).

Gráfico 16: Percentual médio dos custos variáveis no processo de transesterificação



Fonte: KAPILAKARN; PEUGTONG, 2007

Aproximadamente 20% dos custos do processo de produção provêm de outros insumos e mão-de-obra. Após a matéria-prima, o maior custo vem do

álcool (etanol ou metanol), utilizado na transesterificação. O metanol é o mais utilizado e representa aproximadamente 10% dos custos. Os 10% restantes são produtos químicos necessários ao processo, como o hidróxido de sódio ou de potássio, além de energia, água e vapor, manutenção da planta industrial e salários e encargos dos trabalhadores (SALLET E ALVIM, 2011).

Embora o etanol seja abundante no Brasil e derivado de uma fonte renovável (cana-de-açúcar ou milho), há preferência no processo de transesterificação pelo uso do metanol, pois além de ter menor custo, oferece vantagens físicas e químicas devido a reação mais eficiente com o hidróxido de sódio (catalisador), que gera uma melhor separação da glicerina do biodiesel (OLIVEIRA et al., 2017).

A rota metílica ainda consome menos da metade de eletricidade, 20% a menos de vapor e requer 45% a menos de volume de reagente comparado à rota etílica (URIBE, ALBERCONI e TAVARES, 2014). Existem alguns aspectos negativos do metanol, como ser altamente inflamável e tóxico, ser produzido a partir do gás natural (fonte fóssil, porém menos poluente do que o óleo diesel) e ser integralmente importado, pois desde 2016 o Brasil não fabrica metanol. A produção brasileira sempre foi modesta e nunca abasteceu mais do que 1/3 do consumo interno de metanol (EPE, 2019a). Segundo a EPE (2019a, p. 6), apesar do Brasil ser um dos maiores produtores mundiais de biodiesel pela rota metílica, “não há previsão de novos empreendimentos neste segmento devido a dificuldades associadas à disponibilidade e ao preço do gás natural, à competição internacional, assim como ao volume de investimentos requeridos”.

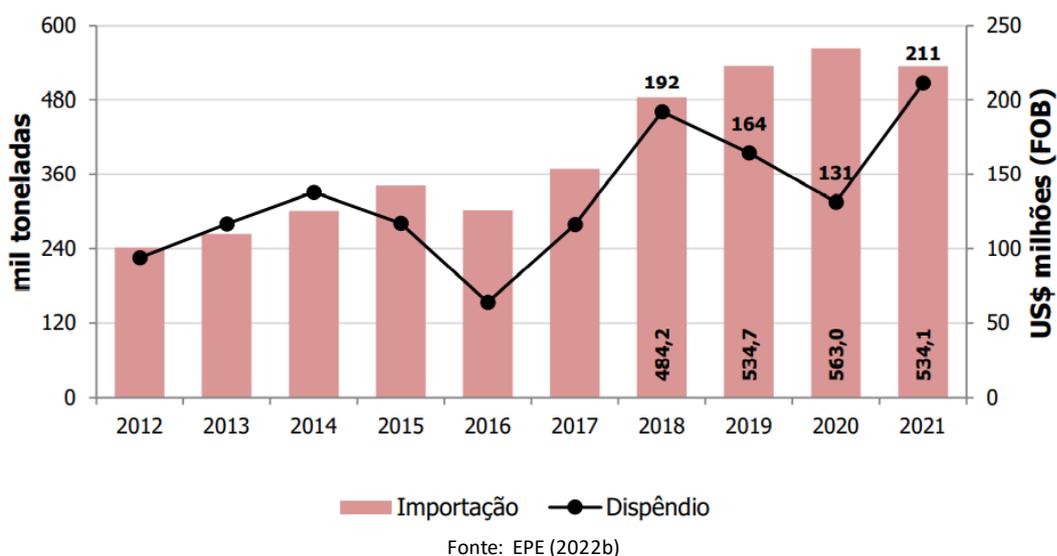
Como o metanol é importado, o custo de produção do biodiesel depende do seu preço internacional, que por sua vez depende do preço do gás natural e da cotação do Dólar, o que reduz os impactos positivos na balança comercial da substituição do diesel importado pelo biodiesel nacional, assunto que será tratado no próximo subcapítulo.

Segundo a ANP (2022a), o consumo de metanol pode variar em função do processo de produção e das matérias-primas utilizadas na fabricação do biodiesel. “Estima-se que cada metro cúbico de biodiesel produzido exige cerca de 115 litros de metanol” (EPE, 2019a, pag. 9). Em 2019, apesar de 10 das 51 plantas produtoras de biodiesel autorizadas apresentarem flexibilidade no processo

produtivo, todas operavam somente pela rota metílica na transesterificação (EPE, 2019a).

Em 2021, o Brasil importou 534,1 mil toneladas de metanol, sobretudo, do Chile, Trinidad e Tobago, Venezuela e Argentina, uma queda de 5,1%, em comparação a 2020 (563,0 mil toneladas), em função da oscilação e redução do percentual obrigatório de adição de biodiesel no óleo diesel. As despesas com a importação alcançaram 211 milhões de Dólares, 61% superior a 2020 (US\$ 131 milhões), por conta da valorização do Dólar (EPE, 2022b). O Gráfico 17 mostra a evolução da quantidade de metanol importada exclusivamente para a produção de biodiesel e o dispêndio com estas importações, no período de 2012 a 2021.

Gráfico 17: Importação de metanol para a produção de biodiesel (em quantidade (mil t) e valor (US\$)) - 2012-2021



Vale citar ainda o custo com a prestação gratuita de assistência técnica e extensão rural (ATER) e doações de insumos e serviços aos agricultores familiares, contrapartida obrigatória das usinas de biodiesel que possuem o Selo Biocombustível Social. Em 2021, segundo o Boletim do Selo Biocombustível Social (MAPA, 2022), os investimentos em ATER foram de R\$ 71,7 milhões, assinalando um aumento de 6,3% em relação ao ano anterior (R\$ 67,4 milhões), enquanto as doações, que incluíram análise de solos, sementes e mudas, calcário, adubos e horas máquina, somaram R\$ 89,3 mil. O custo do Selo Biocombustível Social é como se fosse um custo fixo para a usina de biodiesel, pois esta precisa

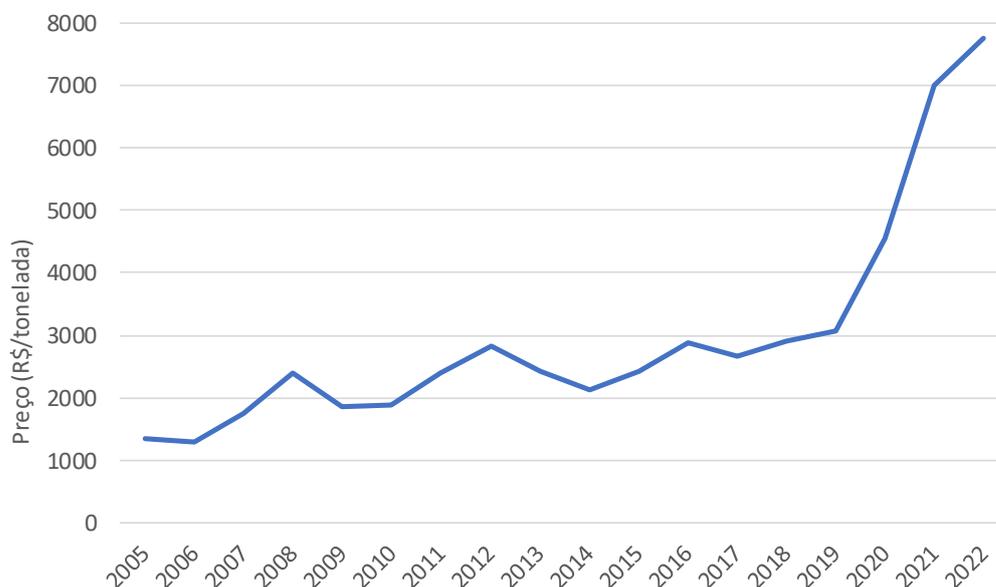
assinar os seus contratos de aquisição de matéria-prima da agricultura familiar no ano anterior ao ano de produção do biodiesel (GOULART, 2018).

O custo de logística é um fator determinante para a produção do biodiesel. Em geral, os produtores estão localizados próximos à produção da matéria-prima ou dos grandes centros consumidores. Como a soja é a principal matéria-prima utilizada, a maioria das usinas de biodiesel estão localizadas na Região Centro-Oeste ou na Região Sul (MENDES; COSTA, 2010).

A soja, devido a sua enorme oferta, a sua infraestrutura de produção e armazenamento, e a facilidade de comercialização, tende a continuar sendo o insumo mais utilizado na produção de biodiesel, mesmo que outras matérias-primas tenham um rendimento de óleo por hectare superior. A oferta abundante de óleo de soja permite o suprimento necessário para abastecer usinas de biodiesel com maior capacidade de produção, o que permite ganhos de escala e redução dos custos de produção por m³. Por ser o insumo mais utilizado, a soja é referência nos custos de produção e na formação do preço de venda do biodiesel.

Como dito no capítulo 2, as usinas de biodiesel também podem ser classificadas como integradas, parcialmente integradas e não integradas. As não integradas adquirem o óleo vegetal a preço de mercado e não a custo de produção, como as empresas integradas e as parcialmente integradas fazem, que efetuam o próprio esmagamento da soja. Como cerca de 80% a 85% do custo total de produção do biodiesel é devido ao custo da matéria-prima e a soja responde por mais de 70% das matérias-primas utilizadas, é importante analisar a evolução do preço do óleo de soja desde o início do PNPB, em 2005 – Gráfico 18. A elevação abrupta do preço do óleo de soja a partir de 2020, levou à redução da mistura de biodiesel no diesel, que havia chegado a 13% em 2021, para 10% ainda em 2021, teor que permaneceu até abril de 2023, quando a adição foi elevada para 12%.

Gráfico 18: Preço médio anual do óleo de soja em bruto por tonelada no atacado no Paraná, de 2005 a 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de Ipeadata, 2023

A literatura sobre os custos de produção de biodiesel por matéria-prima é escassa e antiga. Por ocasião do início do PNPB foi publicado, em 2006, o estudo denominado “Quanto custa produzir biodiesel?” (BARROS et al., 2006a) do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da ESALQ/USP em parceria com a empresa Dedini S/A Indústrias de Base, que fornece equipamentos e instalação de plantas industriais para a produção de biodiesel. Este trabalho posteriormente deu origem ao artigo “Custos de produção de biodiesel no Brasil” (BARROS et al., 2006b), que analisou os custos operacionais de produção de seis matérias-primas agrícolas (soja, girassol, amendoim, mamona, dendê e caroço de algodão), nas cinco grandes regiões do País, em três escalas industriais. O cálculo dos custos foi feito sem considerar impostos de comercialização e margem de lucro das usinas produtoras, portanto não deve ser comparado ao óleo diesel comercializado nos postos de combustíveis. Foram considerados ainda os custos e receitas dos “subprodutos”, tanto na etapa do esmagamento, quanto na fabricação do biodiesel, sejam esses positivos ou negativos (BARROS et al., 2006a). Vale citar ainda que os custos estão em valores da época do estudo (2005), portanto não levam em conta a inflação acumulada.

Em cada região, foi considerado o uso de matérias-primas de acordo com as respectivas vocações agrícolas. Desse modo, foi analisada a produção de biodiesel a partir das seguintes origens vegetais: Região Sul: soja e girassol; Região Sudeste: soja, girassol e amendoim; Região Centro-Oeste: soja, caroço de algodão e girassol; Região Nordeste: soja, caroço de algodão e mamona; Região Norte: soja, mamona e dendê, (BARROS et al., 2006a).

Os cálculos foram feitos para plantas industriais de biodiesel de três escalas de produção: 10 mil toneladas biodiesel por ano, 40 mil toneladas biodiesel por ano e 100 mil toneladas de biodiesel por ano. Independentemente da escala, adota-se para o estudo unidades industriais integradas, ou seja, que realizam a extração de óleo e também o processamento de biodiesel. Todos os coeficientes industriais foram fornecidos pela Dedini S/A. Os cálculos agrícolas e preços da maioria dos produtos agrícolas têm como fonte levantamentos primários do Cepea (BARROS et al., 2006a).

Numa das frentes, calculou-se o custo considerando-se a inserção da matéria-prima agrícola a custo de produção e, noutra instância, partindo do seu preço regional de mercado. Tanto para os custos de produção quanto para os preços dos produtos agrícolas foram consideradas informações da safra 2004/05 - cotações médias de junho/04 a julho/05, com exceção do dendê, cujos preços são de agosto/05. (BARROS et al., 2006a)

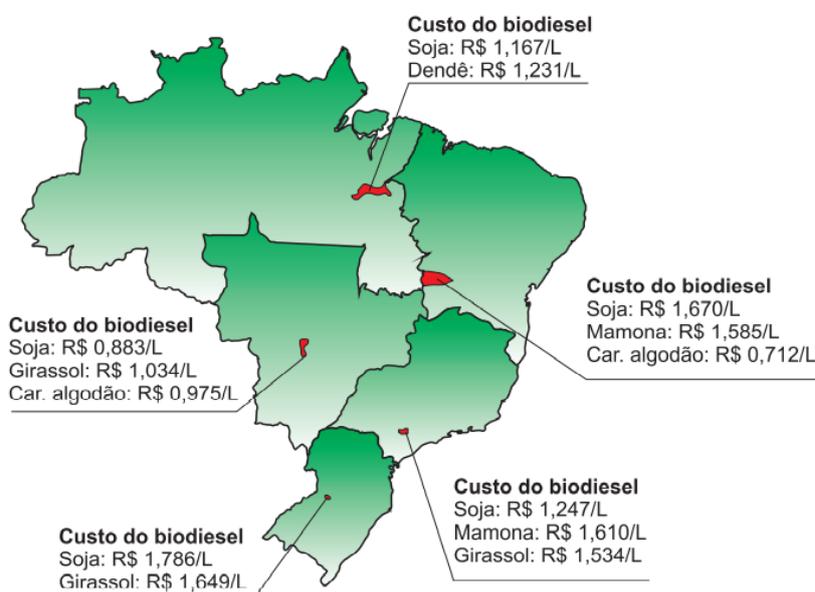
Segundo o estudo, o biodiesel produzido a partir do caroço de algodão, em uma indústria com capacidade para processar 100 mil toneladas de biodiesel por ano, instalada na região de Barreiras (BA) foi o mais barato do Brasil e poderia ser fabricado ao custo de R\$ 0,66 por litro na safra (2004/05). Já o mais caro (R\$ 2,25/litro) foi o fabricado numa usina com capacidade de 10 mil toneladas de biodiesel/ano, na mesma região, processando mamona adquirida a preço de mercado. O segundo biodiesel de menor custo foi o produzido a partir da soja na Região Centro-Oeste, com um litro de biodiesel custando R\$ 0,83, considerando a obtenção da matéria-prima a custo de produção agrícola (base safra 2004/05), em uma planta industrial com capacidade de 100 mil t/ano, e o terceiro de menor custo foi o biodiesel produzido a partir da soja na Região Norte (R\$ 0,85/litro), mas com a aquisição do grão a preço de mercado (BARROS et al., 2006a).

Entre os três tamanhos de usinas de biodiesel, a planta com capacidade de 40 mil toneladas por ano foi a que apresentou a melhor relação custo/benefício, pois obteve ganho de escala, em relação a unidade de 10 mil, e, em relação à planta de 100 mil toneladas por ano, necessita menor volume de capital e de

matéria-prima, o que reduz o risco do investimento ((BARROS et al., 2006b).

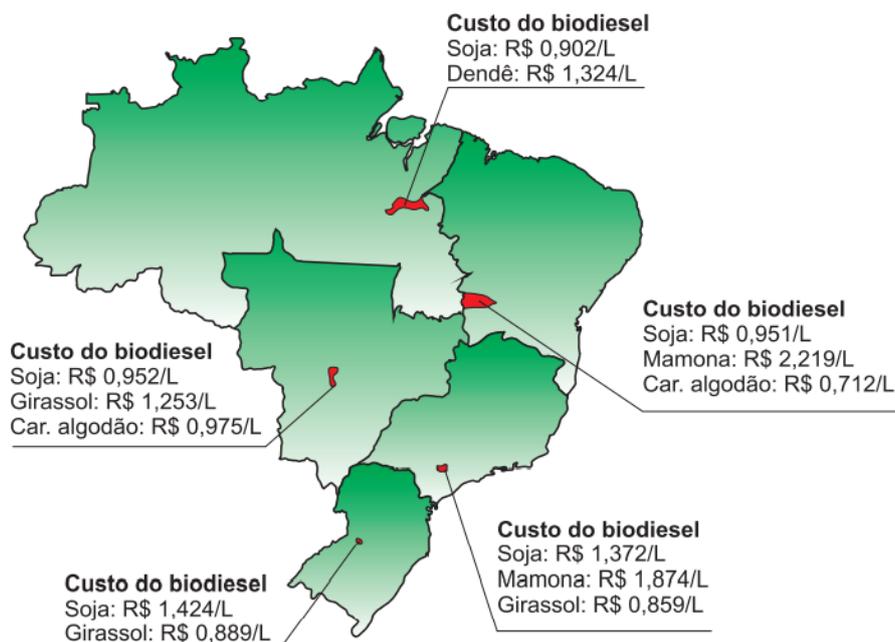
As Figuras 13 e 14 resumem os custos de produção em unidades industriais com capacidade de produção de 40 mil toneladas por ano. Na Figura 13, os custos de produção de biodiesel foram calculados a partir da matéria-prima agrícola a custo de produção, e na Figura 14 considerando a matéria-prima agrícola comprada a preço de mercado.

Figura 13: Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola a custo de produção agrícola (com arrendamento) em planta de 40 mil toneladas por ano - Safra 2004-2005



Fonte: Barros et al., (2006b)

Figura 14: Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola comprada no mercado em planta de 40 mil toneladas por ano - Safra 2004-2005



Fonte: Barros et al., (2006b)

Uma estimativa mais recente dos investimentos e dos custos operacionais e de manutenção relativos ao setor de biodiesel foi feita pela EPE (2022d) para o período de 2023 a 2032. O cálculo dos investimentos requeridos foi realizado com base nos dados da ANP de ampliação e construção de novas usinas de biodiesel. Conforme informações disponíveis até setembro de 2022, as sete solicitações de ampliação somam 0,5 bilhão de litros e a construção de onze novas plantas industriais totaliza 3,1 bilhões de litros, para os quais serão necessários investimentos de aproximadamente R\$ 2,2 bilhões até 2032. Já os custos operacionais e de manutenção da produção de biodiesel fabricado a partir do óleo de soja foram estimados com base nos preços médio de venda nos leilões entre 2015 e 2019 e em informações de especialistas do setor (UBRABIO, 2019, apud EPE, 2022d), resultando em um custo de R\$ 3,92/litro. Para o período de 2023-2032, estima-se que acumulem custos operacionais de R\$ 432 bilhões (EPE, 2022d).

4.3.

A importância do biodiesel para a redução das importações de petróleo e de diesel - a balança comercial brasileira

Em 2021, a produção brasileira de petróleo recuou 1,5%, em relação ao ano anterior, e registrou produção de 2,9 milhões de barris/dia. Destes, 2,1 milhões de barris/dia vieram do pré-sal, cerca de 74% da produção nacional (ANP, 2022a). As exportações de petróleo atingiram 1,3 milhão de barris/dia, enquanto as importações alcançaram 163,2 mil barris/dia, um crescimento de 21,2% no confronto com 2020 (ANP, 2022a).

Embora o Brasil seja o nono maior produtor mundial de petróleo, com participação de 3,3% do total mundial (ANP, 2022a) e um exportador líquido, o País necessita importar petróleo, em função da característica de suas refinarias. A maioria delas foi construída até 1980 (ver Tabela 2), época na qual o Brasil importava a maior parte do petróleo consumido, e foram projetadas para processar petróleo leve, característica do petróleo comprado do Oriente Médio. O petróleo brasileiro, com exceção do pré-sal, de menor densidade, tem a característica de ser pesado, então as refinarias brasileiras precisam importar o petróleo leve, que é mais caro, para ser misturado ao pesado e compor um “blend” para poder ser refinado.

Tabela 2: Início de operação e capacidade de refino (barris/dia) das refinarias brasileiras

REFINARIA	MUNICÍPIO (UF)	INÍCIO DE OPERAÇÃO	CAPACIDADE NOMINAL BARRIS/DIA
TOTAL			2.423.727
Replan - Refinaria de Paulínia	Paulínia (SP)	1972	433.996
Mataripe - Refinaria de Mataripe S/A (ex-Rlam)	São Francisco do Conde (BA)	1950	377.388
Revap - Refinaria Henrique Lage	São José dos Campos (SP)	1980	251.592
Reduc - Refinaria Duque de Caxias	Duque de Caxias (RJ)	1961	251.592
Repar - Refinaria Presidente Getúlio Vargas	Araucária (PR)	1977	213.854
Refap - Refinaria Alberto Pasqualini S/A	Canoas (RS)	1968	220.143
RPBC - Refinaria Presidente Bernardes	Cubatão (SP)	1955	179.184
Regap - Refinaria Gabriel Passos	Betim (MG)	1968	166.051
Recap - Refinaria de Capuava	Mauá (SP)	1954	62.898
Reman - Refinaria Isaac Sabbá	Manaus (AM)	1956	45.916
RPCC - Refinaria Potiguar Clara Camarão	Guamaré (RN)	2000	44.658
Rnest - Refinaria Abreu e Lima ¹	Ipojuca (PE)	2014	115.009
Riograndense - Refinaria de Petróleo Riograndense S/A	Rio Grande (RS)	1937	17.014
Manguinhos - Refinaria de Petróleos de Manguinhos S/A	Rio de Janeiro (RJ)	1954	14.303
Univen - Univen Refinaria de Petróleo Ltda.	Itupeva (SP)	2007	5.158
Lubnor - Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste	Fortaleza (CE)	1966	10.378
Dax Oil - Dax Oil Refino S/A	Camaçari (BA)	2008	2.095
Ssoil Energy S/A	Coroados (SP)	2021	12.498
Six ²	São Mateus do Sul (PR)	2007	-

FONTE: ANP/SPC, conforme a Resolução ANP n° 852/2021.

¹Autorizada a processar 100 mil barris/dia, conforme exigência da Renovação da Licença de Operação, emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. ²A capacidade de processamento é de 7.800 t/dia de xisto bruto.

Em 2021 foram importados um total de 59,6 milhões de barris de petróleo. As importações vieram do Oriente Médio (45,7%), da África (29,7%) e da América do Norte (24,1%) e somaram aproximadamente US\$ 4 bilhões, um crescimento de 52,9%, influenciado tanto pelo aumento da quantidade importada, como pelo efeito do aumento do preço médio do barril de petróleo, que atingiu US\$ 67,07, assinalando um acréscimo de 26,1% em relação a 2020 (ANP, 2022a). Vale citar a influência da base de comparação baixa em 2020, devido a pandemia de Covid-19, que reduziu o consumo e o preço do petróleo. O Gráfico 19, apresenta a evolução das importações de petróleo em volume e em valor nos últimos dez anos.

Gráfico 19: Evolução do volume importado (milhões de barris) e do dispêndio com a importação de petróleo (milhões de US\$) - 2012-2021



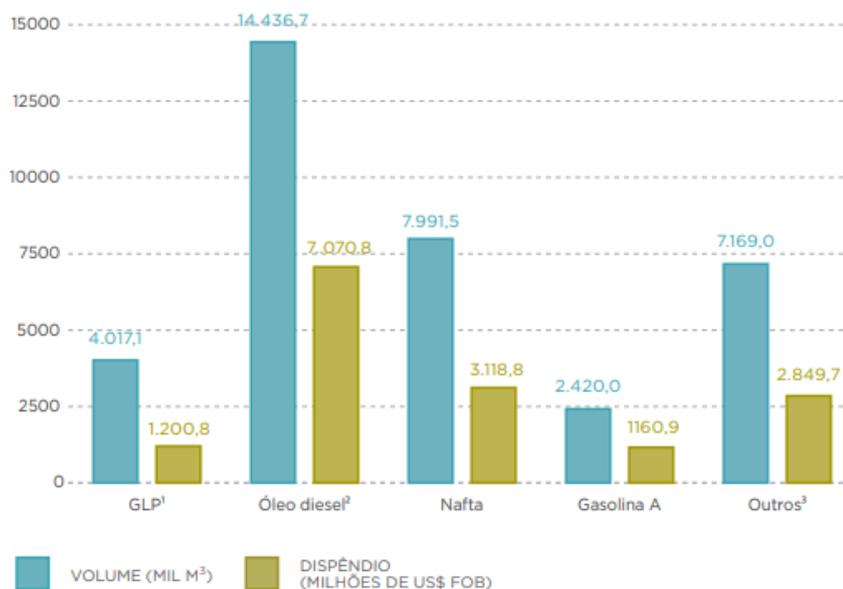
FONTE: MDIC/Secex (Tabelas 2.51 e 2.53).

NOTAS: 1. Inclui condensado, inclusive o importado pelas centrais petroquímicas.
2. Dólar em valor corrente.

O Brasil não tem capacidade de refino suficiente para atender à demanda interna por derivados de petróleo e por isso importa óleo diesel e gasolina, os dois combustíveis mais utilizados no País, além de outros derivados. Em 2021, o volume total de derivados de petróleo importado foi de 36 milhões de m³, um aumento de 27,5% em relação a 2020 (28,3 milhões de m³), e o gasto com a importação cresceu 85,1%, atingindo US\$ 15,4 bilhões. O óleo diesel é o principal derivado importado, responsável por 40,1% (14,4 milhões de m³) do volume total de importados e 45,9% (US\$ 7,1 bilhões) do total dispendido com as importações

- Gráfico 20. Importante citar que somente o custo com a importação de óleo diesel (US\$ 7,1 bilhões) é bem superior ao da importação de petróleo (US\$ 4 bilhões) (ANP, 2022a).

Gráfico 20: Participação, em volume e dispêndio, dos principais derivados de petróleo importados em 2021



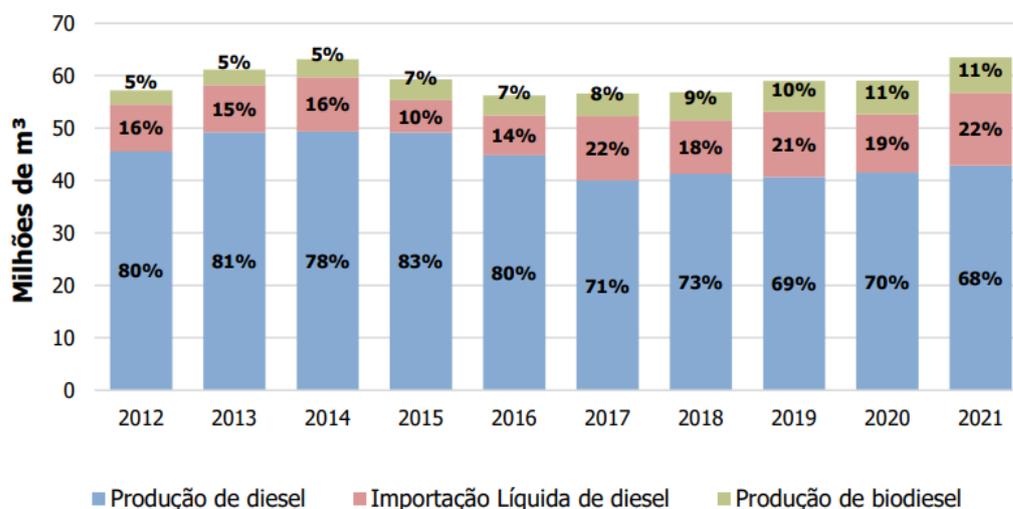
FONTE: MDIC/Secex (Tabelas 2.55 e 2.58).

NOTA: Dólar em valor corrente.

¹Inclui propano e butano. ²Inclui óleo diesel marítimo. ³Inclui gasolina de aviação, óleo combustível, querosene de aviação, querosene iluminante, derivados não energéticos (asfalto, parafina, coque, lubrificantes, solventes e outros derivados não energéticos).

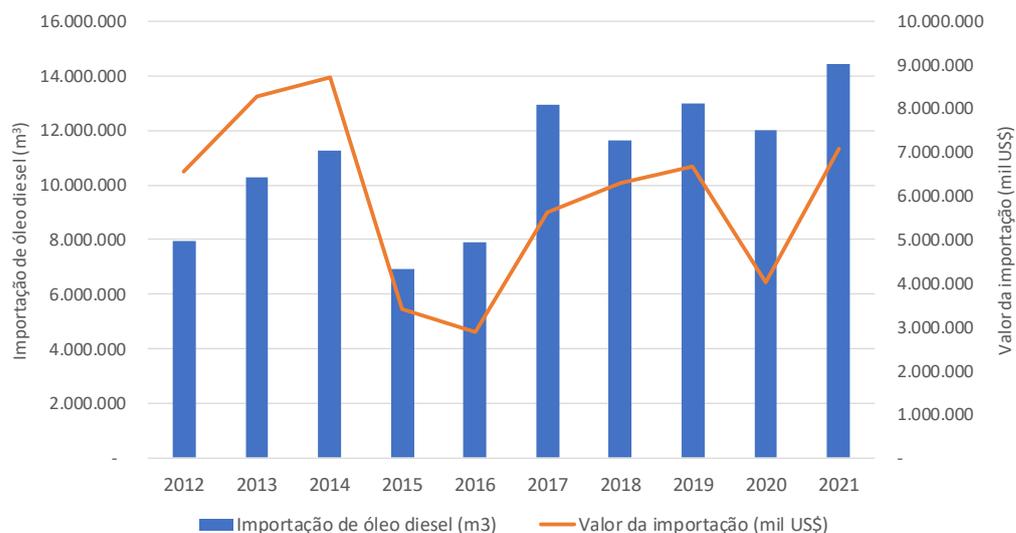
Lembrando que um dos três principais objetivos do PNPB é substituir parte do diesel de origem fóssil importado pelo biodiesel produzido no Brasil, o Gráfico 21 mostra a evolução, nos últimos dez anos, da produção de biodiesel e da oferta de diesel A (sem adição de biodiesel), composta pela produção brasileira e pela importação líquida (o Brasil exporta uma pequena quantidade de diesel). Em 2021, a produção brasileira de diesel fóssil assinalou a menor participação da oferta interna desde 2012, ao responder por 68% desta, taxa que chegou a alcançar 83% em 2015. Ainda em 2021, a importação de óleo diesel foi responsável por 22% do suprimento do mercado interno, percentual que foi de apenas 10% em 2015. Com os aumentos escalonados da adição de biodiesel ao diesel fóssil, a participação do biodiesel cresceu de 5% em 2005 até atingir 11% em 2020, taxa que se repetiu em 2021 (EPE, 2022b). Vale observar que os dados da EPE no Gráfico 21 estão arredondados e em alguns anos não somam exatamente 100%.

Gráfico 21: Oferta de diesel A (sem adição de biodiesel) e produção de biodiesel - 2012-2021



Fonte: EPE (2022b).

O Gráfico 22 mostra a evolução da importação de óleo diesel em volume (m^3) e em valor (milhares de Dólares). Em 2021 foram importados pelo Brasil 14,4 milhões de m^3 de diesel, um crescimento de 20,4% em comparação a 2020 (12,0 milhões de m^3) ao custo de 7,1 bilhões de Dólares, valor 75,6% superior ao despendido em 2020 (US\$ 4,0 bilhões), explicado tanto pelo aumento do volume como pelo aumento do preço médio do diesel importado, que passou de US\$ 336/ m^3 para US\$ 490/ m^3 , um avanço de 45,9% (ANP, 2022a, 2022b). Em 2021, o volume importado de diesel foi recorde, em função da parada programada para manutenção da Refinaria Abreu e Lima (RNEST) e das oscilações da adição de biodiesel ao diesel ao longo do ano, que exigiram maior importação para atender o mercado interno (ANP, 2021b). As importações vieram, principalmente, dos Estados Unidos (49,8%), Ásia-Pacífico (22,6%) e Oriente Médio (17,5%) (ANP, 2022a). Vale citar, que o fator de utilização das refinarias, que foi de 79% da capacidade instalada em 2021 (ANP, 2022a), também contribuiu para o aumento das importações de óleo diesel.

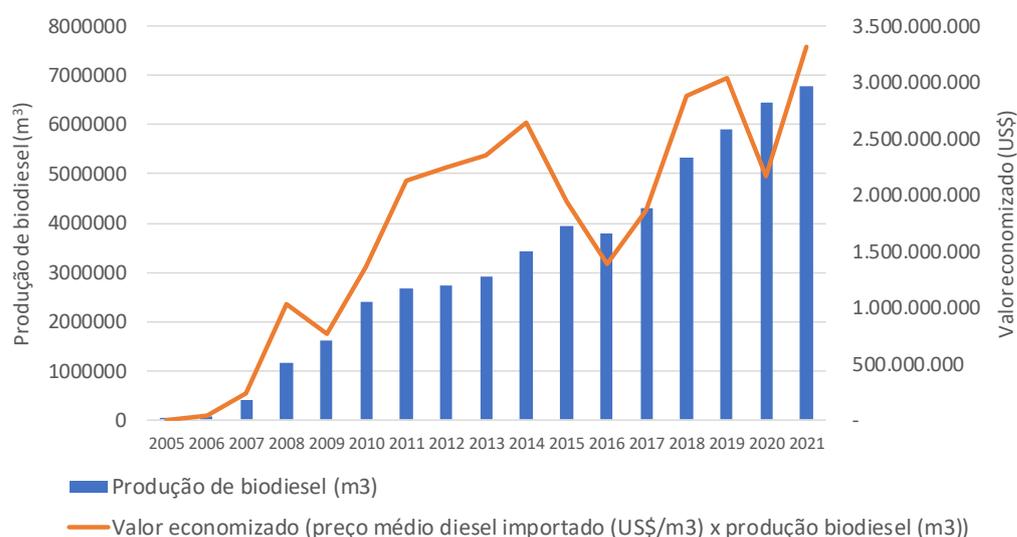
Gráfico 22: Importação de óleo diesel (em m³) e em valor (mil US\$) - 2012-2021

Nota: Dólar nominal

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados estatísticos da ANP (2022b).

Segundo a EPE, “o aumento da participação do biodiesel no ciclo diesel atenuou as necessidades de importação de diesel fóssil desde o início do PNPB” (EPE, 2022b, p. 32). Considerando que a produção de 1 m³ de biodiesel substitui a importação de 1 m³ de óleo diesel, podemos calcular o valor que foi economizado desde o início do PNPB em 2005. Se o PNPB não existisse, a importação de óleo diesel, em 2021, teria sido 46,9% superior e atingido cerca de 21,2 milhões de m³, (soma da importação de óleo diesel com a produção de biodiesel em 2021), o que representaria 34,1% das vendas de óleo diesel em 2021 (62,1 milhões de m³). Em termos de valor, a importação de diesel, considerando o custo médio de importação de US\$ 490/m³ teria sido, em 2021, de US\$ 10,4 bilhões, ou seja, US\$ 3,3 bilhões superior à registrada em 2021. Desde o início do PNPB, em 2005, até 2021, já foram produzidos 53,8 milhões de m³ de biodiesel e evitadas importações de US\$ 29,4 bilhões com óleo diesel. O Gráfico 23 apresenta a evolução da produção de biodiesel e o que foi economizado com a substituição da importação de óleo diesel a cada ano, no período de 2005 a 2021.

Gráfico 23: Economia com a substituição da importação de óleo diesel pela produção interna de biodiesel, desde o início do PNPB - 2005-2021



Nota: Dólar nominal

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados estatísticos da ANP (2022b).

Segue a Tabela 3 com uma análise um pouco mais detalhada para o período de 2015 a 2021, levando em conta a substituição da importação de óleo diesel pelo biodiesel. A tabela mostra também a receita obtida com a exportação de glicerina bruta e glicerol e os gastos com a importação de metanol, consumido no processo de produção do biodiesel. A glicerina bruta é um coproduto gerado no processo de transesterificação, que dá origem ao biodiesel e corresponde a aproximadamente 10% do peso do biodiesel fabricado. Por exemplo, em 2021, o resultado da substituição da importação do óleo diesel pelo biodiesel, somado as exportações de glicerina bruta e do glicerol e subtraído dos custos com a importação de metanol, resultou em um saldo positivo de US\$ 3,4 bilhões.

Tabela 3: Balança comercial da produção de biodiesel: importação de óleo diesel, exportação de glicerina bruta e de glicerol, e importação de metanol - 2015-2021 (valores em US\$ nominal)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Produção Biodiesel (m³) (1)	3.937.269	3.801.339	4.289.840	5.336.529	5.902.766	6.444.990	6.765.850
Importação Diesel (m³)	6.940.100	7.918.324	12.955.230	11.649.957	13.007.765	11.994.559	14.436.654
Valor Importação Diesel (US\$)	3.415.147.205	2.896.816.213	5.622.448.833	6.294.023.210	6.686.879.437	4.027.207.267	7.070.798.212
Preço Médio (m³ Diesel importado (US\$/m³) (2)	492	366	434	540	514	336	490
Valor Economizado (US\$) (1) x (2)	1.937.486.956	1.390.670.607	1.861.750.498	2.883.121.147	3.034.424.791	2.163.923.706	3.313.784.488
(+) Exportação Glicerina Bruta (US\$)	50.761.435	33.202.763	66.342.545	97.792.587	46.292.762	61.558.224	164.291.000
(+) Exportação Glicerol (US\$)	26.488.518	26.190.280	36.634.654	59.893.066	54.751.463	59.439.371	120.332.000
(-) Importação de Metanol para Biodiesel (US\$)	117.115.951	63.866.897	116.141.981	192.097.847	164.399.989	131.200.000	211.283.000
Saldo	1.897.620.958	1.386.196.753	1.848.585.716	2.848.708.952	2.971.069.027	2.153.721.301	3.387.124.488

Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2022b), EPE (2017, 2018b, 2019b, 2020b, 2021b, 2022b).

A capacidade de produção de óleo diesel, devido à falta de investimento na construção de novas refinarias de petróleo e na ampliação das já existentes, cresceu pouco nos últimos anos. Em 2021, segundo a ANP (2022a), o parque de refino brasileiro contava com dezoito refinarias de petróleo, com capacidade para processar 2,4 milhões de barris/dia, conforme mostra a Tabela 4. Das dezoito refinarias, doze pertencem à Petrobras e respondem por 82,3% da capacidade total de refino. A última refinaria de grande porte construída no Brasil - Abreu e Lima, em Pernambuco - entrou em operação em 2014 e 70% do seu petróleo refinado é destinado a produção de óleo diesel (Petrobras, 2022).

Tabela 4: Evolução da capacidade de refino (barris/dia), segundo refinarias - 2012-2021

REFINARIAS (UNIDADE DA FEDERAÇÃO)	CAPACIDADE DE REFINO (BARRIS/DIA)									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TOTAL¹	2.101.953	2.199.445	2.348.418	2.393.704	2.401.567	2.401.567	2.401.567	2.406.926	2.406.926	2.423.727
Riograndense (RS)	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014
Lubnor (CE)	8.177	8.177	8.177	9.435	10.378	10.378	10.378	10.378	10.378	10.378
Manguinhos (RJ)	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	10.001	10.001	14.303
Recap (SP)	53.463	53.463	53.463	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898
Reduc (RJ)	242.158	242.158	242.158	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592
Refap (RS)	201.274	201.274	201.274	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143
Regap (MG)	150.955	150.955	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051
Reman (AM)	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916
Repar (PR)	207.564	207.564	207.564	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854
Replan (SP)	415.127	415.127	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996
Revap (SP)	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592
Mataripe (BA) (ex-Rlam)	279.897	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388
RPBC (SP)	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	179.184	179.184	179.184
RPCC (RN)	37.739	37.739	37.739	37.739	44.658	44.658	44.658	44.658	44.658	44.658
Rnest (PE) ²	-	-	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009
Univen (SP)	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158
Dax Oil (BA)	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095
Ssoil (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.498
Six (PR) ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL⁴ (BARRIL/DIA-CALENDÁRIO)	1.996.855	2.089.472	2.230.997	2.274.019	2.281.488	2.281.488	2.281.488	2.286.580	2.286.580	2.302.540
FATOR DE UTILIZAÇÃO⁵ (%)	96,5	98,4	94,4	87,2	80,3	76,2	75,7	76,4	77,3	79,0

FONTE: ANP/SPC, conforme as Resoluções ANP nº 16/2010 e 17/2010.

¹ Capacidade nominal em barris/dia. ² Autorizada a processar 100 mil barris/dia, conforme exigência da Renovação da Licença de Operação, emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. ³ A capacidade de processamento é de 7.800 t/dia de xisto bruto. ⁴ Capacidade de refino calendário-dia, considerando-se o fator médio de 95%. ⁵ Fator de utilização das refinarias, considerando o petróleo processado no ano.

4.4.

Existe competição relevante pelo uso da terra para a produção de matérias-primas destinadas à produção de biodiesel com a produção de alimentos e a preservação da vegetação nativa?

Esta seção analisa se existe competição ou trade-off entre o uso da terra para a produção de matérias-primas para a fabricação de biodiesel e as terras destinadas à produção de alimentos ou à preservação ambiental.

Como já mencionado, mais de 70% das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel provêm da soja, que é o produto agrícola brasileiro de maior volume e valor de produção, com escala suficiente para atender com segurança à demanda das usinas de biodiesel. Apesar da quantidade produzida e da área ocupada pela soja serem enormes, o percentual da produção eventualmente destinado à produção de biodiesel é pequeno em relação ao total da safra. A Tabela 5 resume a produção do complexo da soja em 2020 e 2021 (EPE, 2022b).

Tabela 5: O complexo da soja: 2020 e 2021

Milhões de toneladas	2020	2021	Δ % (2020- 2021)
Produção de soja	128,0	138,9	8,5%
Capacidade instalada de processamento de soja	64,0	64,0	0,0%
Exportação de soja em grão	83,0	86,1	3,8%
Soja processada	46,8	47,8	2,0%
Farelo de soja produzido	36,0	36,8	2,1%
Óleo de soja produzido	9,56	9,64	0,85%
Exportação de óleo de soja	1,1	1,7	48,8%
Consumo de óleo alimentício e outros	8,5	7,9	-4,1%
Consumo de óleo de soja para biodiesel	4,2	4,5	7,1%

Nota: A densidade considerada para o óleo de soja foi 0,92 KG/L
Fonte: ABIOVE (2022), ANP (2022a), apud, EPE (2022b)

Em 2021, segundo a ABIOVE (2022), a safra de soja em grãos foi recorde e atingiu 138,9 milhões de toneladas³, dos quais 86,1 milhões de toneladas (62,0%) foram exportadas sem processamento principalmente para a China, que foi destino de 70% da soja vendida no exterior (Secex, 2022, apud IBGE, 2022a).

³ Resultado ligeiramente diferente do apontado pelo IBGE (134,9 milhões de t, (IBGE, 2022a)), por conta de diferenças metodológicas e período de coleta da pesquisa.

Da soja que permaneceu no mercado interno, 47,8 milhões de toneladas foram processadas pela indústria e deram origem a 36,8 milhões (t) de farelo e a 9,6 milhões (t) de óleo de soja (a soja esmagada gera aproximadamente 80% de farelo e 20% de óleo).

Da produção de farelo, componente da ração animal, praticamente a metade foi exportada (17,2 milhões de t) em 2021 (ABIOVE, 2022). O óleo de soja é utilizado na alimentação humana, para a produção de biodiesel e uma parcela menor é exportada. O óleo de soja destinado à produção de biodiesel (4,5 milhões de toneladas), embora represente 46,7% do total de óleo produzido em 2021, não compete com o uso alimentício, pois há excesso de produção interna, comprovado pela exportação de 1,7 milhão de tonelada de óleo (2021). Segundo o engenheiro agrônomo e pesquisador da Embrapa, Amélio Dall’Agnol (2007), não se produz soja com o objetivo principal de se obter o óleo de soja, seja para alimentação ou para a produção de biodiesel. A produção de soja e o seu óleo é consequência da demanda crescente por farelo proteico, matéria-prima para a fabricação de rações para suínos, aves e bovinos, para atender o aumento do consumo de carnes, ovos e leite, impulsionado pela maior renda per capita, sobretudo, dos países emergentes.

Sendo o óleo um coproduto da produção de farelo de soja, não se produz soja especificamente para a produção de biodiesel. Dessa maneira, não existe uma área de soja cultivada exclusivamente para ser utilizada como matéria-prima para a produção de biodiesel. Caso existisse, considerando a parcela da produção de óleo de soja destinada à produção de biodiesel (4,5 milhões de t) e considerando que o processamento do grão resulta em 20% de óleo e 80% de farelo, seriam necessários aproximadamente 22,5 milhões de toneladas de soja, ou seja, cerca de 16,2% da produção total de 2021 para atender à demanda por biodiesel.

O acréscimo do teor de biodiesel no diesel para 12% a partir de abril de 2023 e a retomada do cronograma de incrementos anuais de 1% até atingir 15% em 2026 exigirá o aumento do processamento da soja no Brasil. Junto com a maior oferta de óleo de soja, aumentará também a quantidade de farelo de soja, que poderá ser exportado ou destinado ao mercado interno para a fabricação de rações, cuja maior oferta contribuirá para a queda em seu preço e consequentemente no preço das carnes, leite e laticínios. Vale citar ainda que a

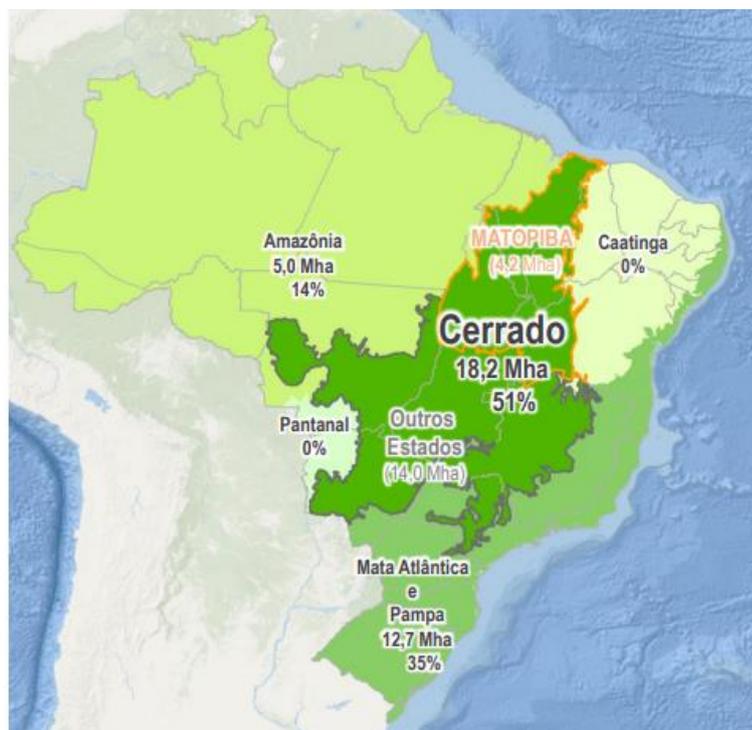
mistura já chegou a 13% em 2021 e não houve escassez de óleo de soja para alimentação.

Conforme dito pela ONG Repórter Brasil, no relatório “O Brasil dos agrocombustíveis: impactos das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade - soja e mamona 2009”.

É difícil mensurar o efeito que a produção dos agrocombustíveis exerce sobre o preço dos alimentos, uma vez que outras variáveis ajudam a explicar a valorização dessas commodities, como o aumento do consumo de carne na China, que impulsiona a demanda por soja e milho (REPÓRTER BRASIL, 2009, p. 8).

A despeito do pequeno impacto da produção de biodiesel em termos de área e de produção, é importante evitar a expansão da produção de soja em direção ao bioma Amazônia, como medida de contenção do desmatamento da floresta. Nesse sentido, foi relevante a Moratória da Soja, compromisso assinado em 24 julho de 2006 pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e pela Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC), de não comercializar nem financiar a soja produzida em áreas desmatadas no bioma Amazônia, após 22 julho de 2008, data estabelecida pelo novo Código Florestal para definir a área rural consolidada. Segundo o mapa a seguir (Figura 15) o cultivo de soja se concentra no Cerrado, onde se localiza 51% da produção nacional, e na Mata Atlântica e no Pampa com 35%, enquanto a Amazônia é responsável por 14% (RUDORFF, RISSO, ABIOVE, 2020).

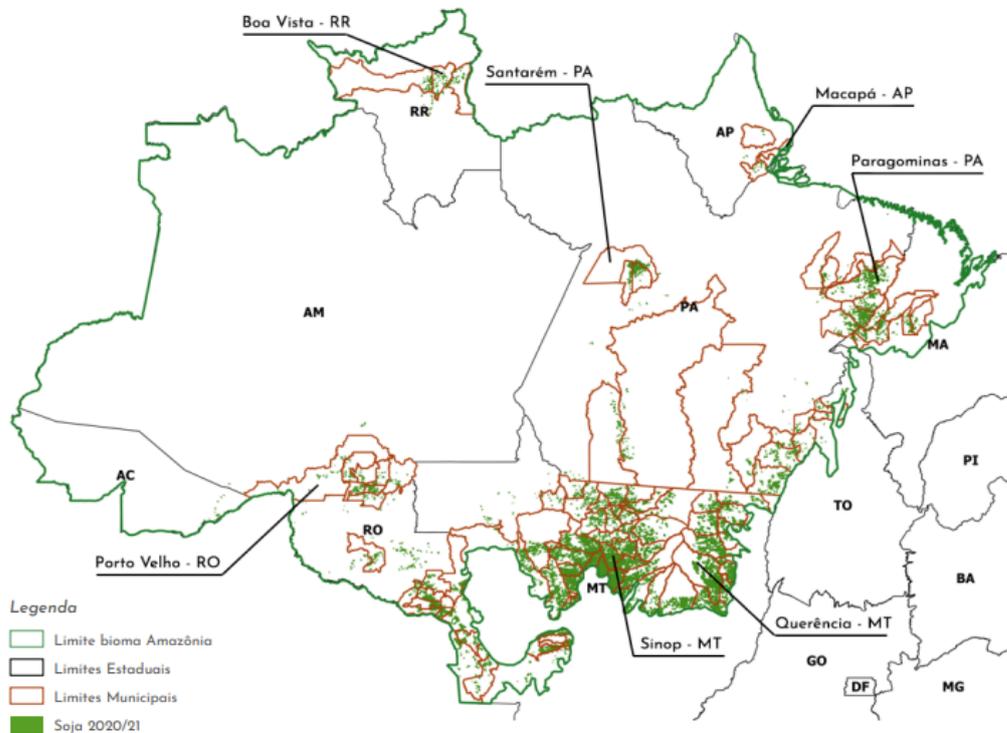
Figura 15: Distribuição da produção de soja nos biomas brasileiros em 2019



Fonte: RUDORFF, RISSO, ABIOVE (2020)

Segundo o relatório da Moratória da Soja na safra de 2020/2021, a área ocupada pela soja no bioma Amazônia foi de 5,85 milhões de hectares, correspondendo a pouco mais de 1% da área total do bioma. Os estados de Mato Grosso (76,9%), Pará (11,5%), Rondônia (6,8%) e Maranhão (2,9%) concentram 98,1% da área de soja na Amazônia (MORATÓRIA DA SOJA, 2022). A localização do cultivo de soja na região é apresentada no mapa abaixo (Figura 16), que identifica os 109 municípios com mais de 5.000 hectares de soja, que são responsáveis por 97,9% (5,73 milhões de hectares) da área ocupada pela soja no bioma, enquanto os 2,1% restantes estão distribuídos entre 92 municípios.

Figura 16: Localização da área de soja cultivada no bioma Amazônia e os 109 municípios com mais de 5.000 ha de soja na safra 2020/21.

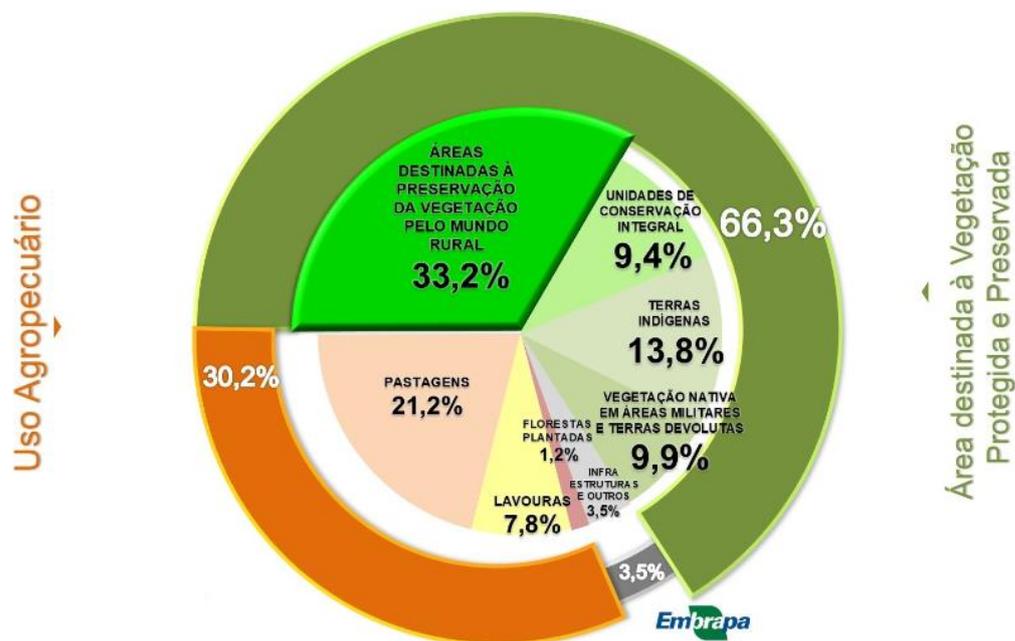


Fonte: Moratória da Soja, 2022.

A área plantada de soja na Amazônia vem crescendo mesmo com a Moratória da Soja, porém este crescimento ocorreu na sua quase totalidade em áreas já desmatadas anteriormente a 22 de julho de 2008 (marco da Moratória). Do total da área de soja na Amazônia (5,85 milhões de ha), 5,70 milhões de ha são áreas em acordo com a Moratória e apenas 0,15 milhões de ha estão em desacordo (MORATÓRIA DA SOJA, 2022).

O Brasil tem imensas áreas já desmatadas e pastagens degradadas e abandonadas, que podem ser convertidas para a produção de alimentos ou mesmo ter sua vegetação nativa recuperada. Conforme mostra o Gráfico 24, a área de pastagens ocupa 21,2% do território brasileiro, superfície muito superior à ocupada pela agricultura (7,8%) (EMBRAPA, 2021).

Gráfico 24: Quantificação territorial da ocupação, dos usos das terras e das áreas destinadas à preservação, conservação e proteção da vegetação nativa no Brasil (2021)

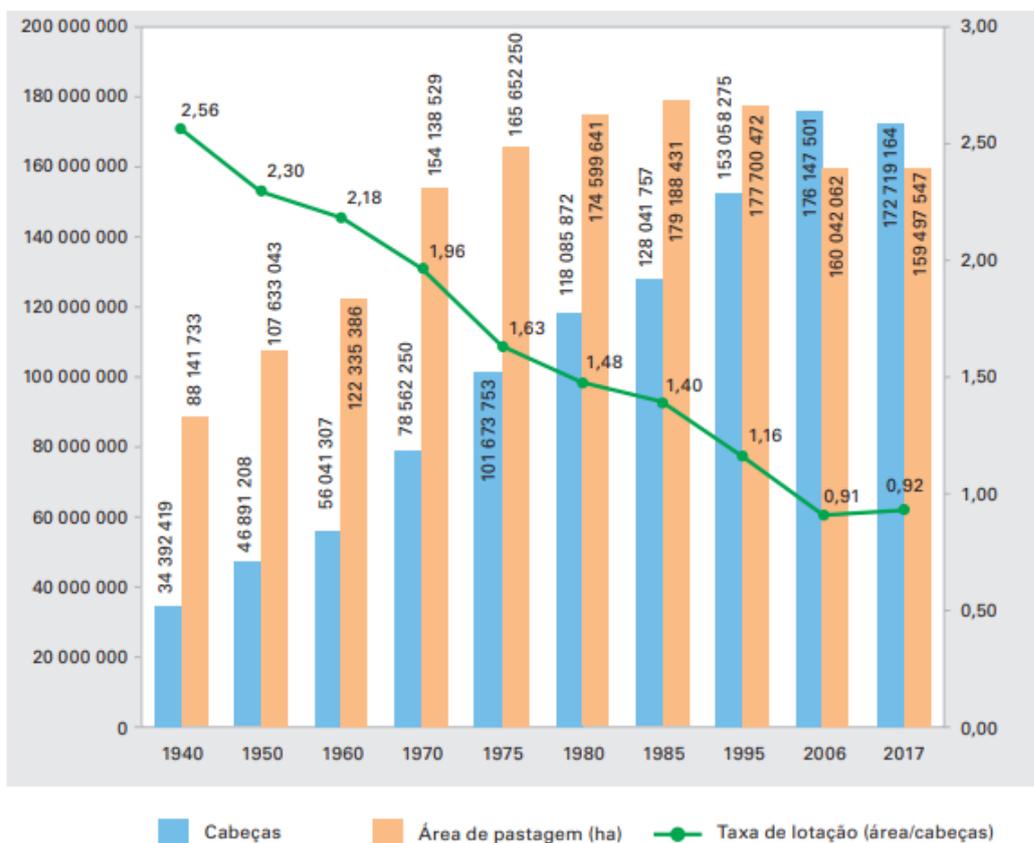


Fonte: MMA, 2018; FUNAI, 2018; EMBRAPA TERRACLASS, 2014; IBGE, 2017, 2018, 2019; SFB/SICAR, 2021, apud, EMBRAPA, 2021.

Além disso, a produtividade da agricultura e, sobretudo, da pecuária no Brasil podem ser elevadas significativamente. Na agricultura, boa parte do País produz duas safras ao ano. Quanto à pecuária, segundo o último Censo Agropecuário do IBGE (2017) havia apenas 1,08 cabeças de gado bovino por hectare de pastagem, resultado de um rebanho de 172,7 milhões de cabeças ocupando uma área de 159,5 milhões de hectares. O Gráfico 25 mostra a evolução ao longo dos Censos Agropecuários do número de cabeças de gado, da área de pastagem e da taxa de lotação (área/cabeças). Observa-se que a tendência é de aumento da lotação, a qual em 1940 era de 2,46 hectares para cada bovino e passou para menos de um hectare (0,92 ha) por bovino no Censo de 2017. Além disso, desde o Censo Agropecuário de 1995, a área de pastagem vem decrescendo, tendo recuado 19,7 milhões de hectares entre os Censos de 1985 e 2007. Na hipótese de a taxa de lotação aumentar somente 10% e ser mantido o rebanho do

último Censo, seriam liberados cerca de 14,5 milhões de hectares⁴, que poderiam ser utilizados para a lavoura ou para a recuperação da vegetação nativa.

Gráfico 25: Cabeças, área de pastagem e taxa de lotação de bovinos - Brasil - 1940/2017



Fonte: IBGE, Censos Agropecuários, 1940/2017.

Apesar das oleaginosas vegetais, principalmente o óleo de soja, serem a maior parcela das matérias-primas utilizadas na fabricação do biodiesel, os insumos de origem animal ou de resíduos de óleos representaram 23,8% (ANP, 2022a) da produção em 2021. As matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino, mas também a gordura de porco e de frango, são resíduos do abate de animais para a produção de carnes, que teriam outros usos como a produção de sabão ou seriam descartados, muitas vezes de maneira incorreta. De forma

⁴ Número de bovinos divididos pelo número de bovinos por hectares de pastagem, multiplicado por 10% e subtraído da área atual. $(172.719.164 / (1,0828954253 \times 1.1)) = 144.997.770$ ha. $(159.497.547$ ha - $144.997.770$ ha) = $14.499.777$ hectares

semelhante, os materiais-graxos, que são resíduos de óleos industriais ou da própria produção de biodiesel, e os óleos residuais de fritura de alimentos industrializados ou domésticos, usados na produção de biodiesel, se forem incorretamente descartados, contaminam o solo ou os recursos hídricos.

As gorduras animais, os materiais-graxos e os óleos de fritura usados, por serem dejetos e subprodutos, ao serem utilizados na produção de biodiesel, não competem com as terras agrícolas ou com as áreas de preservação, pois não há necessidade de se produzir novas matérias-primas. A reciclagem desses resíduos, transformados em insumos na produção do biodiesel, é um exemplo de economia circular, pois o que seria descartado retorna ao ciclo produtivo como recurso, minimizando a externalidade negativa dessas atividades (BORSCHIVER e TAVARES, 2022).

Vale mencionar que alguns dos grandes frigoríficos brasileiros também possuem plantas industriais de biodiesel, que utilizam o sebo bovino como matéria-prima, pois a tradicional fabricação de sabão e produtos de higiene não absorve toda a produção doméstica (MAPA, 2014). Outras usinas utilizam óleo de fritura usado como matéria-prima, evitando eventual despejo na rede de esgoto ou diretamente no ambiente. Nesse sentido, uma iniciativa importante é o “Programa Óleo Sustentável”, promovido pela ABIOVE e pelo Sindicato da Indústria de Óleos Vegetais (SINDOLEO) que, através de postos de coleta espalhados em vários estados, incentiva o descarte correto do óleo de cozinha usado, que é reutilizado como insumo na produção de biodiesel, mas também de tintas, sabões e rações (OLEOSUSTENTAVEL.ORG.BR, 2023). Além disso, a produção de biodiesel a partir de diversas matérias-primas minimiza a predominância da soja como o principal insumo, contribui para o desenvolvimento regional e para um menor impacto ambiental em cada bioma brasileiro.

Como já dito no subcapítulo 3.4, o cultivo do dendezeiro, que produz o óleo de palma ou de dendê, que foi utilizado para produzir 2,5% do biodiesel em 2021, de forma semelhante à Moratória da Soja, também está sujeito ao cumprimento de regras para o seu cultivo. O produtor de dendê deve estar com o Cadastro Ambiental Rural (CAR) regularizado, a área de plantio não pode ter sido desmatada depois de 2008 e deve estar de acordo com o Zoneamento Agroecológico, que classificou os solos mais adequados ao cultivo do dendê.

Importante também mencionar que a legislação ambiental brasileira, com destaque para a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) (Lei nº 12.651 de 2012), também conhecida como Novo Código Florestal Brasileiro, a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605 de 1998), a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 1981), a Política Agrícola (Lei nº 8.171 de 1991) e o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, (Lei nº 9.985 de 2000), é uma das mais completas e rigorosas do mundo, cabendo ao Governo políticas de comando e controle, seja nas esferas federal, estadual ou municipal. Os órgãos públicos ambientais são responsáveis pelo cumprimento e punição das infrações, evitando o desmatamento ilegal e a degradação ambiental para que se concilie a produção agrícola para alimentos e o cultivo de oleaginosas para a fabricação de biocombustíveis, com a preservação ambiental.

Talvez em países de menores dimensões territoriais, como os da Europa, o cultivo de oleaginosas vegetais para a produção de biodiesel seja uma ameaça à produção de alimentos ou avance em áreas de vegetação nativa. Na Indonésia, por exemplo, maior produtor mundial de óleo de palma, as plantações substituíram extenso território coberto por floresta tropical. Porém, no Brasil, devido ao seu imenso território, terras agricultáveis subutilizadas e pastos degradados, e a comprovação que somente uma pequena parcela da produção de soja é destinada a fabricação de biodiesel, pode-se afirmar que a produção de biodiesel não causa impacto relevante no preço dos alimentos, no preço da terra ou na preservação de áreas naturais.

5.

A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira

5.1.

Introdução

O Brasil tem a vantagem de possuir uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, por ter elevada participação de energia hidráulica, biomassa e biocombustíveis, além de contar com o potencial das energias eólica e solar, que se expandem a cada ano. Apesar disso, os objetivos de zerar emissões demandam reduções em todos os setores e atividades. O biodiesel, combustível orgânico e renovável, por ser derivado da biomassa, contribui para a redução das emissões. Seu uso emite menos materiais particulados, praticamente não contém enxofre e emite cerca de 70% menos GEE em comparação ao óleo diesel. O capítulo analisa a contribuição do biodiesel e do PNPB para reduzir as emissões brasileiras de GEE.

5.2.

A matriz energética brasileira

A matriz energética é o conjunto de fontes de energia disponíveis para atender a necessidade de energia de um país e inclui, além da energia elétrica, o petróleo e seus derivados, gás natural, energia nuclear, e as fontes renováveis, por exemplo. A matriz energética pode ser dividida em fontes de energia primárias e secundárias e em fontes renováveis e não renováveis (EPE, 2023a).

As fontes primárias são os recursos energéticos provenientes diretamente da natureza, como o petróleo, gás natural, carvão mineral, biomassa, energia hídrica, energia solar e energia eólica. As fontes secundárias ou derivadas são resultado da transformação das fontes primárias em outras fontes de energia, como os derivados de petróleo (óleo diesel, gasolina, gás liquefeito de petróleo), a energia elétrica gerada pelas usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas e solares, e os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biogás, biometano, bioquerosene) (EPE, 2021a; PINTO Jr. et al., 2007).

As fontes de energia renováveis são aquelas que, ao serem utilizadas, continuam disponíveis para o uso futuro, tais como a energia hidráulica (hídrica),

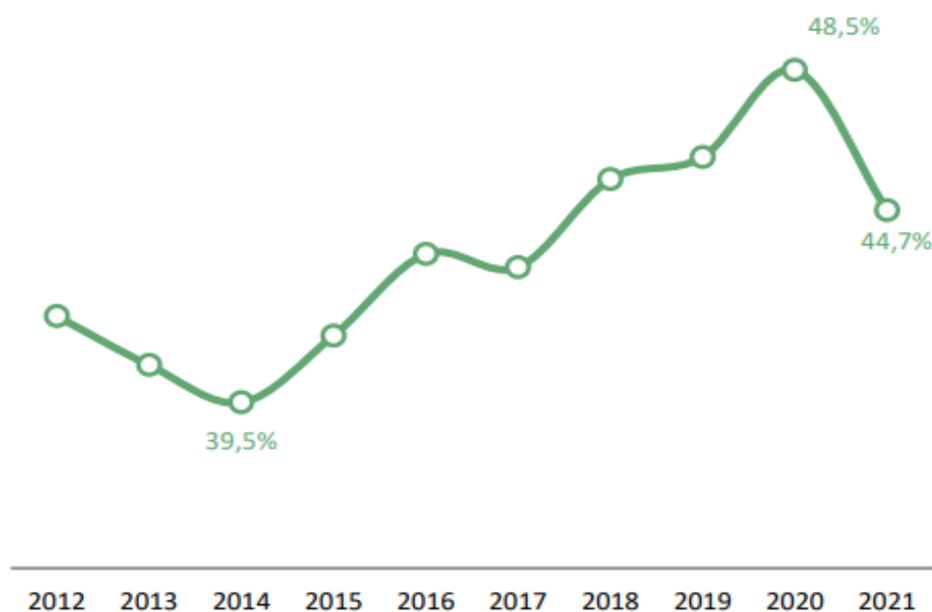
eólica, solar, geotérmica e oceânica (energia das marés e das ondas). As fontes de energia produzidas a partir da biomassa, como os biocombustíveis e o carvão vegetal, também são consideradas renováveis. Já as fontes de energia não renováveis são finitas e as maiores responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE). Como exemplo, podemos citar os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral), cuja formação a partir da decomposição da matéria orgânica demora milhões de anos. (EPE, 2023a; MOREIRA e SENE, 2010).

A matriz energética brasileira se caracteriza por ser diversificada tanto em fontes renováveis como não renováveis. A participação de fontes renováveis é elevada, por conta dos recursos hídricos que proporcionam a geração de energia hidráulica, das condições edafoclimática diversas e da dimensão do território brasileiro, que favorecem a produção de biomassa, matéria-prima para os biocombustíveis e para a geração de diferentes formas de energia, e devido à abundância de ventos e alta insolação no território, que propiciam as energias eólica e solar. Em relação às fontes não renováveis, o Brasil possui grandes reservas de petróleo e de gás natural, com destaque para as bacias de petróleo da camada pré-sal, e as reservas de urânio (EPE, 2019b). No entanto, o País possui poucas reservas de carvão mineral, localizadas na Região Sul.

Em 2021, segundo a EPE (2022a) a oferta interna de energia foi de 301,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), um aumento de 4,5% em relação a 2020 (288,5 Mtep), taxa próxima ao crescimento do PIB (5,0%), (Contas Nacionais Trimestrais, IBGE, 2022c). Naquele ano, a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira foi de 44,7%, taxa bem superior à média mundial (14,1%) e à dos países da OCDE (11,5%), segundo dados da Agência Internacional de Energia de 2019 (EPE, 2022a).

A participação das fontes renováveis vem se mantendo próxima ou acima de 40% nos últimos dez anos, conforme mostrado no Gráfico 26. No entanto, ela recuou de 48,5% para 44,7% entre 2020 e 2021, em função da menor geração de energia pelas hidrelétricas, que obrigou o acionamento das termelétricas (EPE, 2022a), que emitem mais GEE, principalmente as abastecidas com combustíveis fósseis.

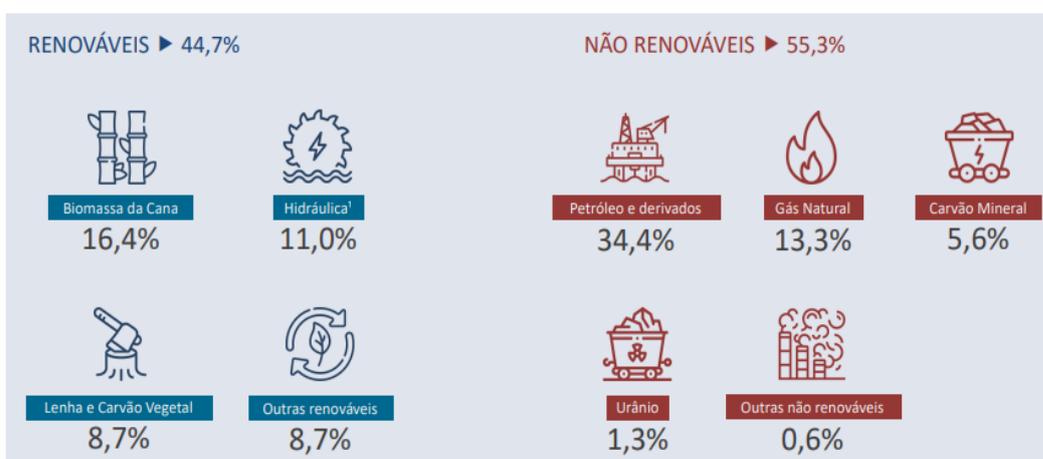
Gráfico 26: Evolução da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia (OIE) - 2012-2021



Fonte: EPE, 2022a

As fontes renováveis são compostas por derivados da cana-de-açúcar (16,4%), energia hidráulica (11,0%), lenha e carvão vegetal (8,7%), e 8,7% por outras fontes. Por outro lado, as fontes não renováveis responderam por 55,3%, com destaque para o petróleo e derivados (34,4%), gás natural (13,3%), carvão mineral (5,6%) e urânio (1,3%), (EPE, 2022a), conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17: Oferta interna de energia (OIE) - divisão entre renováveis e não renováveis - 2021

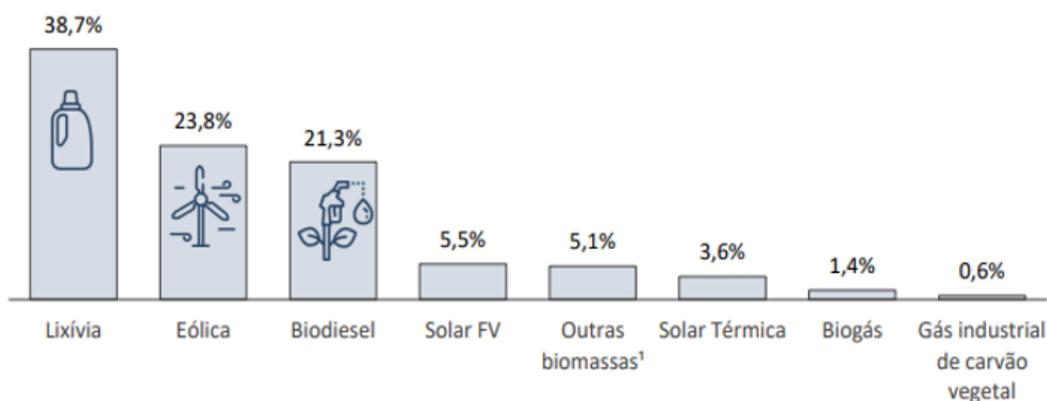


1) Inclui importação de eletricidade

Fonte: EPE, 2022a

Na categoria “outros renováveis”, que equivale a 8,7% da oferta total de energia, os principais são lixívia (resíduo da produção de celulose usado na produção de energia), energia eólica e biodiesel, que somados concentram mais de 80% dos “outros renováveis”. Vale citar ainda, solar fotovoltaica, outras biomassas, solar térmica e biogás, conforme mostra o Gráfico 27 (EPE, 2022a).

Gráfico 27: Repartição da oferta de “outros renováveis” - 2021



1) Inclui casca de arroz, capim-elefante e óleos vegetais

Fonte: EPE, 2022a

A biomassa, matéria orgânica derivada da produção vegetal ou animal, é uma das fontes renováveis de energia mais utilizadas no Brasil, seja como matéria-prima para a produção de biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel), biocombustíveis gasosos (biogás e biometano), ou na geração de energia elétrica, através, principalmente, do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, subprodutos da produção do etanol. O biodiesel também é usado como substituto do óleo diesel ou do óleo combustível em geradores elétricos.

A produção de biocombustíveis no Brasil, sobretudo o etanol e o biodiesel, se insere na política de substituição de importações de petróleo e combustíveis fósseis e colabora para uma maior diversificação da oferta de energia e para tornar a matriz energética brasileira mais renovável e sustentável, com menor emissão de GEE. Nesse sentido, políticas públicas e programas de incentivo ao uso de biocombustíveis foram criados ao longo dos anos, com destaque para o Proálcool (1975), o PNPB (2005) e a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), de 2017, que será analisada na seção 5.4.

O Proálcool e o PNPB, ao estabelecerem mandatos de adição de biocombustíveis aos combustíveis fósseis, contribuem para os biocombustíveis

líquidos terem uma participação relevante na matriz energética e para a segurança energética do País (EPE, 2019b).

As emissões do etanol e do biodiesel fabricados a partir de óleos vegetais são consideradas praticamente neutras, pois além de serem menores que seus substitutos fósseis, são absorvidas no crescimento do vegetal. Dois tipos de etanol são utilizados para fins carburantes: o etanol hidratado e o etanol anidro. O primeiro é consumido diretamente pelos veículos e o segundo é adicionado em 27% à gasolina, o que reduz as emissões e evita a adição de chumbo à gasolina para aumentar sua octanagem, melhorando a qualidade do ar nas cidades. Além disso, o surgimento dos veículos com motor flex fuel, em 2003, que representavam cerca de 76% da frota de veículos leves em 2020 (ANFAVEA, 2021b), impulsionou a participação do etanol hidratado na matriz energética. Já o biodiesel, cujo teor de adição ao óleo diesel atualmente é de 12%, com meta de atingir 15% em 2026, contribuiu para a redução das emissões dos veículos pesados. As emissões do ciclo de vida do biodiesel, desde o plantio até sua distribuição, serão detalhadas na seção seguinte.

5.3.

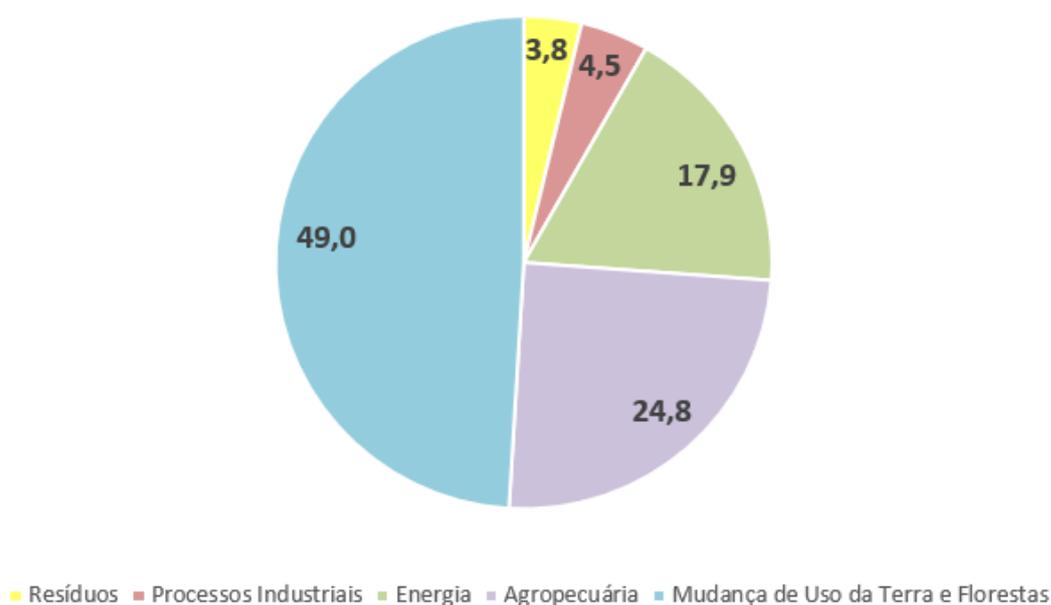
A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira

Apesar do Brasil não estar entre os maiores emissores de GEE do mundo no setor de energia e industrial, as emissões provocadas pelas queimadas e desmatamentos, classificadas como mudança do uso da terra e florestas, tem impacto local e global. Em 2021, segundo o relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima (2022), o total de emissões brutas de gases do efeito estufa no Brasil foi de 2,42 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente (Gt CO₂-eq), assinalando um aumento de 12,2% em relação às emissões de 2020 (2,16 Gt CO₂-eq). Este crescimento é explicado, principalmente, pelo aumento das emissões causadas pelas mudanças de uso da terra e florestas, que avançaram 18,5% entre 2020 e 2021, devido ao aumento das queimadas e desmatamentos na Amazônia e Cerrado.

A maior parte das emissões em 2021, como nos anos anteriores, vieram das mudanças de uso da terra e florestas (49,0%) e da agropecuária (24,8%),

sobretudo da pecuária bovina, ou seja, 73,8% das emissões vieram da atividade rural ou das queimadas e desmatamentos. As emissões do setor de energia provenientes da queima de combustíveis nas atividades de transporte, indústria e geração de eletricidade foram responsáveis por 17,9% das emissões, os processos industriais (4,5%) e os resíduos por 3,8% (SEEG, Observatório do Clima, 2022) – Gráfico 28.

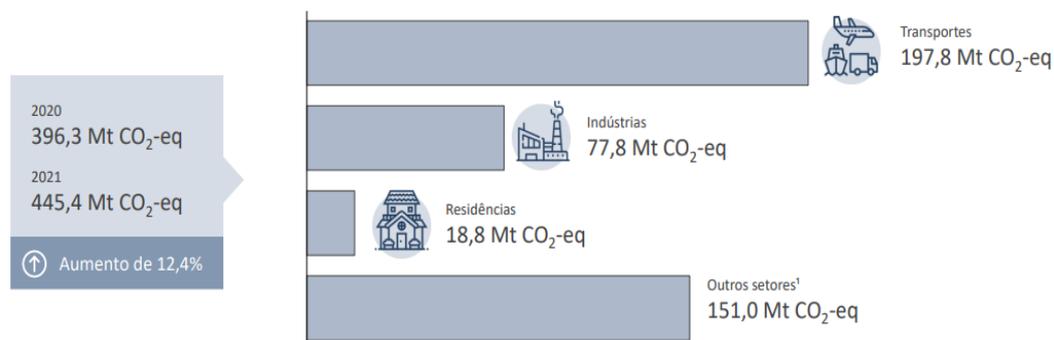
Gráfico 28: Emissões brutas de GEE no Brasil por setor em t CO₂-eq, em percentual do total: 2021



Fonte: Elaboração própria a partir de SEEG, Observatório do Clima, 2022.

Em 2021, as emissões antrópicas de CO₂ associadas à matriz energética brasileira alcançaram 445,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), assinalando um acréscimo de 12,4% na comparação com o ano anterior (396,3 Mt CO₂-eq). O setor de transportes, principal emissor de CO₂ da matriz energética brasileira, assinalou emissões de 197,8 Mt CO₂-eq, o equivalente a 44,4% do total das emissões, conforme mostra o Gráfico 29 (EPE 2022a).

Gráfico 29: Emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira, em Mt CO₂-equivalente - 2021

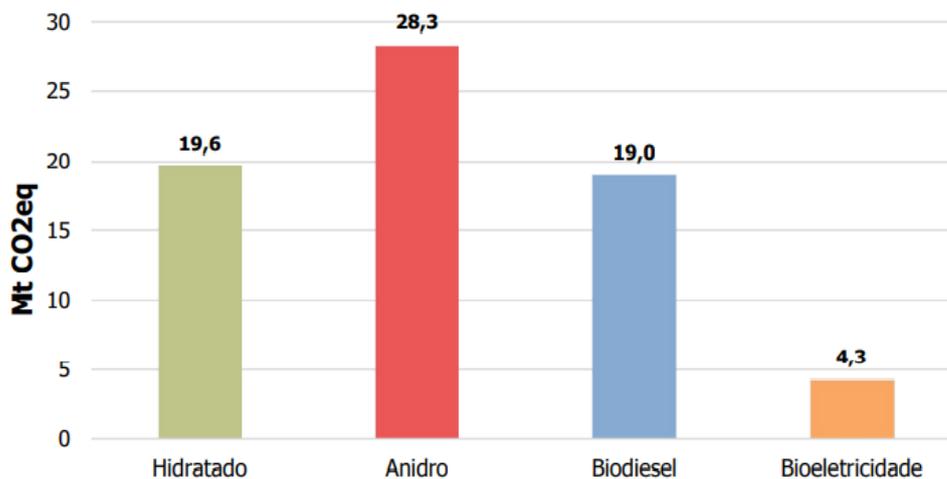


1) Inclui os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas
 Fonte: EPE, 2022a

Essas emissões antrópicas cresceram à taxa média anual de 2,1% no período de 2000 a 2021 e a projeção é que o ritmo de crescimento se reduza para 1,7% ao ano de 2021 a 2030 (EPE, 2022a). As emissões per capita associadas à matriz energética do Brasil foram de 2,1 t CO₂-eq/hab em 2021, inferiores à média mundial – por exemplo dos Estados Unidos (14,4 t CO₂-eq/hab), da China (7,1 t CO₂-eq/hab da China) e da União Europeia (5,9 t CO₂-eq/hab), segundo dados da Agência Internacional de Energia de 2019 (EPE, 2022a).

Os biocombustíveis líquidos contribuem de maneira importante para a descarbonização do setor de transporte no Brasil. Em 2021, eles evitaram a emissão de 66,9 Mt CO₂-eq, sendo 19 Mt CO₂-eq provenientes do biodiesel, quando comparados com seus equivalentes fósseis (gasolina e diesel). Além desses biocombustíveis, a geração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar (bioeletricidade) evitou a emissão de 4,3 Mt CO₂-eq (EPE, 2022b), como mostra o Gráfico 30.

Gráfico 30: Emissões evitadas (em Mt CO₂-eq) com biocombustíveis no Brasil em 2021



Fonte: EPE, 2022b

A queima do diesel misturado ao biodiesel emite menos GEE do que o motor utilizando apenas o diesel fóssil. O estudo da consultoria DeltaCO₂ Sustentabilidade Ambiental (2013), publicado em Relatório do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014), analisou as principais fontes de emissão de GEE e calculou a pegada de carbono do biodiesel produzido a partir da soja, nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A análise das emissões incluiu toda a cadeia de produção, desde a produção e o transporte do grão de soja, a extração do óleo bruto, e a produção, transporte e distribuição do biodiesel (ver Figura 18). A fase agrícola é a produção de soja no campo, que inclui as emissões relativas aos combustíveis utilizados em veículos nas fazendas, consumo de eletricidade e aplicação de fertilizantes e defensivos. A fase de processamento (extração) do óleo abrangeu o transporte rodoviário de soja em grão, armazenamento em silos e o processamento industrial do óleo bruto nas unidades industriais. A fase de produção do biodiesel incluiu as emissões do transporte de óleo bruto até a fábrica, a etapa de refino do óleo e a produção de biodiesel. Por fim, a fase de transporte e distribuição do biodiesel trata somente das emissões dos combustíveis usados no transporte e distribuição do produto final (biodiesel) para a rota com destino à refinaria de Paulínia (DELTA_{CO2}, 2013).

Figura 18: Etapas envolvidas no levantamento da pegada de carbono do biodiesel de soja



Fonte: DeltaCO₂, 2013

O estudo estima emissões de GEE de 23,1 a 25,8 gCO₂ e/MJ (gramas de CO₂ equivalente por megajoule) para o biodiesel puro (B100) transportado e entregue na cidade de Paulínia/SP. Do total emitido, a participação da pegada de carbono na etapa agrícola foi de 31% a 35%. A etapa de processamento do óleo de soja variou entre 16% e 35%. Já a etapa de produção de biodiesel (B100) foi responsável por 20% a 43% das emissões, enquanto o transporte e a distribuição até a refinaria, onde é adicionado ao diesel, responderam por 10% da pegada de carbono (DELTACO₂, 2013). Em comparação às emissões da produção do diesel fóssil europeu, que totalizam 83,8 gCO₂ e/MJ (MAPA, 2014), o biodiesel de soja produzido em Paulínia/SP apresentou uma redução de aproximadamente 70% nas emissões de GEE.

O mesmo estudo também fez projeções sobre diferentes teores de biodiesel adicionados ao diesel de petróleo no Brasil, considerando as emissões do biodiesel puro (23,1 a 25,8 gCO₂ e/ MJ) e a emissão do diesel mineral global, estimado em 85,2 gCO₂ e/MJ, concluindo que quanto maior o percentual de biodiesel adicionado ao diesel mineral, maior será a redução das emissões de GEE. A Tabela 6 a seguir mostra a redução das emissões de GEE para diferentes misturas de biodiesel no diesel (5%, 7%, 10% e 20%). Por exemplo, a adição de 10% de biodiesel ao diesel reduz as emissões de GEE em 7,3% (MAPA, 2014).

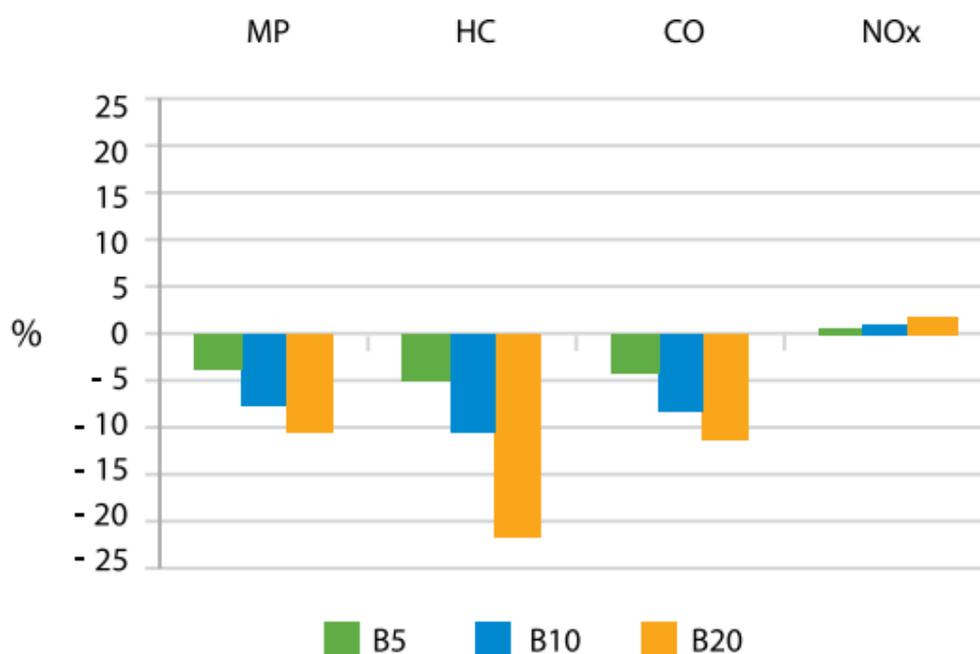
Tabela 6: Emissões de GEE do diesel mineral padrão mundial e de diferentes percentagens de biodiesel na mistura com o diesel (em gCO₂ e/MJ)

Combustível/Bicombustível	Emissão (em gCO ₂ e/MJ)	% de Redução de emissão
Diesel Mineral	85,2	-
Diesel Mineral com 5% de Biodiesel (B5)	82,1	-3,6%
Diesel Mineral com 7% de Biodiesel (B7)	80,9	-5,0%
Diesel Mineral com 10% de Biodiesel (B10)	79,0	-7,3%
Diesel Mineral com 20% de Biodiesel (B20)	72,8	-14,5%

Fonte: Elaboração própria a partir de DeltaCO₂, 2013

Outro estudo citado pelo MAPA (2014) e elaborado pela Environmental Protection Agency (EPA), agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, em 2002, mostrou que o motor diesel abastecido com biodiesel, quando comparado ao diesel comum, emite menos material particulado (MP), hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), mas emite um pouco mais de óxido de nitrogênio (NO_x). Esta maior emissão de NO_x, cerca de 2 a 4% a mais (PINTO Jr. et al., 2007), pode ser atenuada com ajustes no motor e uso de aditivos (MAPA, 2014). O Gráfico 31 apresenta a variação nas emissões globais e locais, de acordo com a adição de biodiesel ao diesel fóssil para as misturas de 5%, 10% e 20%. Além disso, o biodiesel é biodegradável, não-tóxico e não contém enxofre, elemento químico presente no diesel fóssil, que causa problemas respiratórios e a chuva ácida nas cidades (AMARAL, 2009).

Gráfico 31: Efeito da adição de biodiesel nas emissões (globais e locais) diretas em motores do ciclo diesel para misturas de 5%, 10% e 20% de biodiesel no diesel



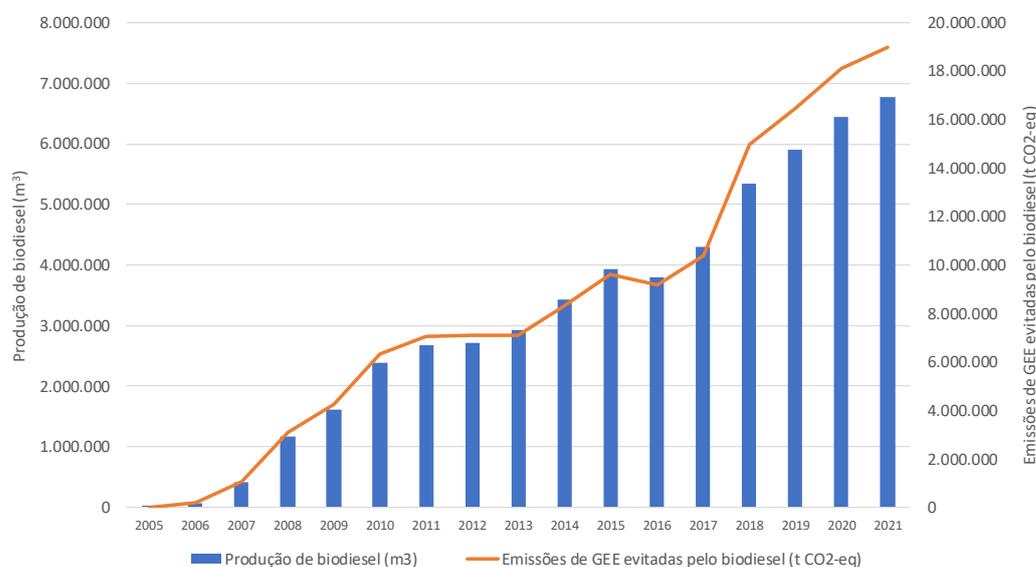
Note: MP = materiais particulados, HC = hidrocarbonetos, CO = monóxido de carbono; NOx = óxido de nitrogênio

Fonte: Environmental Protection Agency (EPA), 2002

Conforme a metodologia indicada pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para inventariar emissões nacionais, a queima dos biocombustíveis é considerada praticamente neutra em emissões de CO₂, pois todo carbono emitido foi anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da cultura vegetal que serviu de matéria-prima para a fabricação desses combustíveis (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

As emissões evitadas pelo uso do biodiesel desde o início do PNPB vêm aumentando de acordo com o crescimento de sua produção, do acréscimo da adição de biodiesel ao diesel e do maior consumo de ambos. Desde a criação do PNPB em 2005 até 2021 foram produzidos 53,8 milhões de m³ de biodiesel (ANP, 2022b). Esta produção, ao substituir o óleo diesel, evitou emissões estimadas em 142,2 milhões de t CO₂-eq, conforme mostra o Gráfico 32. Considerando somente o ano de 2021, as emissões evitadas pelo biodiesel (19 Mt CO₂-eq) reduziram em 0,8% as emissões totais do País (2,42 Gt CO₂-eq).

Gráfico 32: Emissões evitadas pelo uso do biodiesel (t CO₂-eq) e produção de biodiesel (m³): 2005 a 2021



Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2022b), EPE (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019b, 2020b, 2021b, 2022b).

Nota: As emissões de GEE evitadas pelo uso do biodiesel, de 2012 a 2021, foram obtidas no "Relatório Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis" da EPE. As emissões de GEE evitadas de 2005 a 2011 foram estimadas considerando a média das emissões evitadas por metro cúbico de biodiesel produzido de 2012 a 2021, utilizando dados da EPE e da ANP. Neste período (2012 a 2021) foram evitadas 120.280.000 t CO₂-eq para uma produção de 45.535.764 m³ de biodiesel, ou seja, 2,64 t CO₂-eq evitadas/m³ de biodiesel.

O PNPB ao promover a substituição parcial do diesel fóssil pelo biodiesel, reduz a emissão de GEE do setor de transporte e ainda contribui para que a matriz energética brasileira continue sendo uma das mais renováveis do mundo. A redução das emissões de GEE do biodiesel em cerca de 70%, em comparação ao diesel fóssil, corrobora claramente a importância do biodiesel para uma economia de baixa emissão de carbono.

Desse modo, o PNPB contribui para que o País cumpra sua meta de redução de emissões estabelecida no Acordo de Paris. As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) do Brasil, atualizadas em 2022, foram de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e em 50% até 2030 em comparação ao nível de emissão de 2005 e alcançar a neutralidade climática (emissões líquidas nulas) em 2050. Isso equivale a uma redução de cerca de 977 Mt CO₂-eq em 2025 e de 1,32 Gt CO₂-eq em 2030, em relação às emissões de 2005 (2,64 Gt CO₂-eq) (SEEG, Observatório do Clima, 2022).

5.4. O RenovaBio - A Política Nacional de Biocombustíveis

Para tornar a matriz energética brasileira ainda mais renovável, é fundamental que se elimine, ou reduza drasticamente o uso de combustíveis fósseis no setor de transporte. Para estimular o uso de biocombustíveis foi lançado o RenovaBio, a nova Política Nacional de Biocombustíveis, que é parte integrante da política energética nacional, instituído pela Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e que entrou em operação em abril de 2020. Seus principais objetivos são:

I - 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;

II - 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;

III - Promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e

IV - Contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.

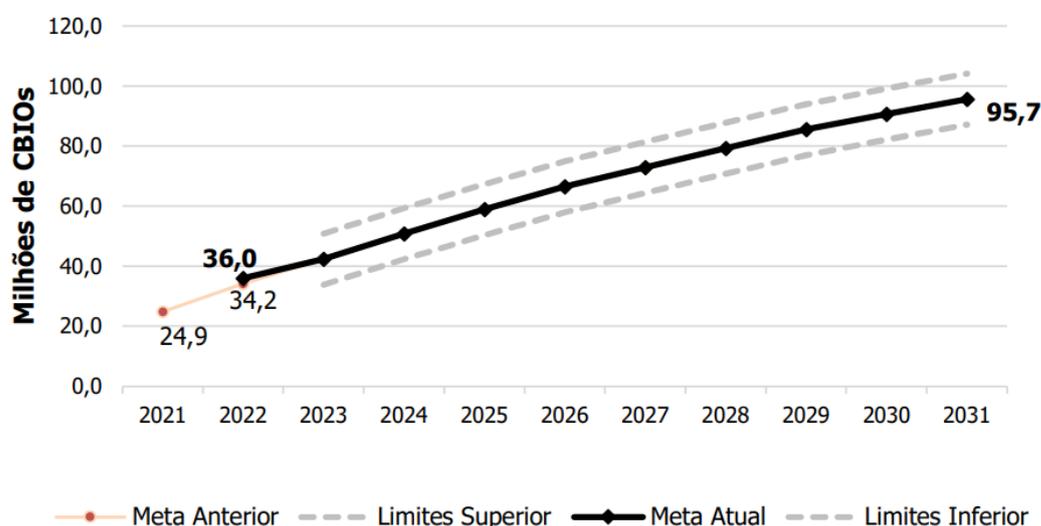
Desse modo, o RenovaBio coopera com a NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) assumida pelo Brasil no Acordo de Paris (2015). Para integrar o RenovaBio e poder emitir os créditos de descarbonização (CBIOs) e, ao mesmo tempo prevenir o desmatamento para a produção de biocombustíveis, os produtores devem seguir alguns critérios. A produção de matérias-primas para a produção de biocombustíveis deve vir de áreas que não foram desmatadas (Resolução ANP nº 758 de 23/11/2018), e estar em conformidade com o Cadastro Ambiental Rural (CAR). A produção de biodiesel a partir da palma deve estar localizada em município com área apta à sua expansão, conforme previsto no Zoneamento Agroecológico para a Cultura da Palma de Óleo (ZAE Palma de Óleo) (Resolução ANP nº 758 de 23/11/2018).

O RenovaBio é composto por três instrumentos ou eixos, que são inter-

relacionados: (i) as metas de descarbonização, (ii) a certificação da produção eficiente de biocombustíveis, e (iii) o crédito de descarbonização (CBIO), que equivale a uma tonelada de CO₂ equivalente evitada.

As metas de descarbonização são obrigatórias, devendo ser cumpridas pelas distribuidoras de combustíveis, e definidas pelo CNPE com o objetivo de incentivar a participação dos biocombustíveis na matriz de transporte brasileira. A Resolução CNPE nº 17, de outubro de 2021, definiu para um período de dez anos (2022 a 2031) metas anuais compulsórias de emissões. O Gráfico 33 mostra a evolução das metas de redução de GEE, que em 2022 foram de 36 milhões de CBIOs. As metas nacionais são desdobradas em metas individuais e repassadas pela ANP de forma compulsória para os distribuidores que comercializam gasolina automotiva ou óleo diesel, com base nas vendas anuais de cada distribuidor do ano anterior, conforme a Resolução ANP nº 791, de 12 de junho de 2019 (ANP, 2022a; MME, 2017). Assim, quanto maior forem as vendas de combustíveis fósseis, maior será a quantidade de CBIOs que o distribuidor deverá comprar no ano seguinte.

Gráfico 33: Metas compulsórias de redução das emissões de GEE

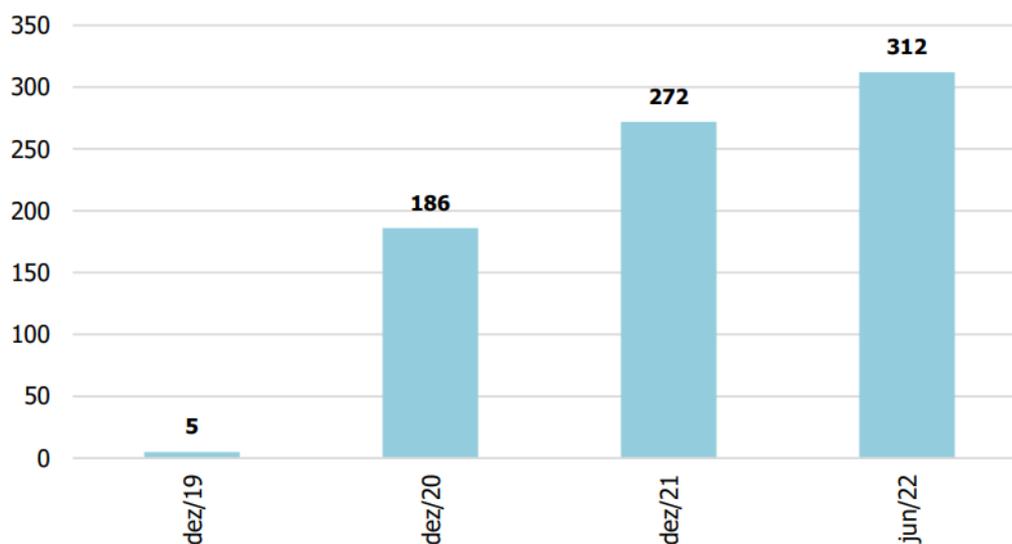


Fonte: CNPE 2021, apud EPE, 2022b

A certificação da produção eficiente de biocombustíveis permite aos produtores emitirem e comercializarem os CBIOs. Para obtê-la, os produtores devem contratar uma certificadora ou Firma Inspetora credenciada pela ANP/MME e um escriturador (banco ou instituição financeira), que realizará a

emissão e o registro dos CBIOs na Bolsa de Valores Brasileira (B3). Em junho de 2022, 11 Firms Inspeoras estavam credenciadas para realizar a certificação e havia 312 produtores certificados (ANP, apud EPE 2022b), conforme o Gráfico 34.

Gráfico 34: Certificações de produção de biocombustíveis válidas (acumulado)



Fonte: ANP, apud EPE, 2022b

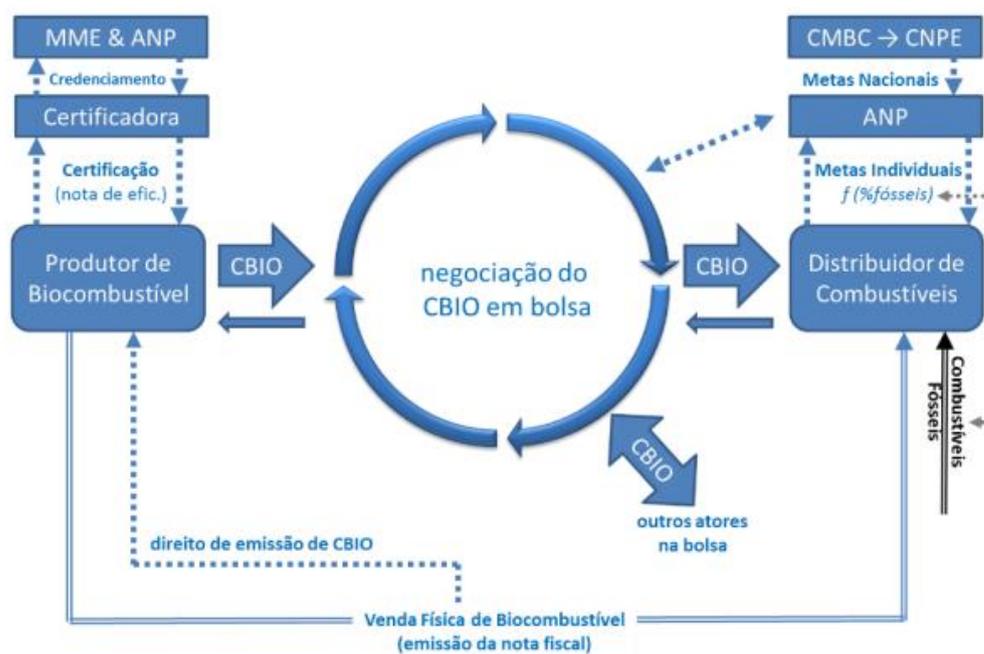
Dos produtores certificados, 266 eram usinas de etanol de primeira geração que utilizavam cana-de-açúcar, 32 eram usinas de biodiesel e 3 de biometano. A entidade certificadora é responsável por aferir a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) de um biocombustível, que é definida em função da diferença entre sua intensidade de carbono e a intensidade de carbono de seu combustível fóssil substituto (MME, 2017). Quanto menos CO₂ equivalente o biocombustível emitir ao longo de seu ciclo de vida, mais CBIOs poderão ser emitidos e comercializados (ANP, 2022a, Bolsa de Valores (B3), 2023). Os CBIOs são concedidos aos produtores de biocombustíveis para posterior negociação em bolsa, de acordo com a proporção de energia limpa, medida pela NEEA, e o seu volume de produção.

Já no eixo três, os distribuidores de combustíveis compram na Bolsa de Valores os créditos de descarbonização de biocombustíveis (CBIOs), que são emitidos pelos produtores e importadores de biocombustíveis, com base nas notas

fiscais de compra e venda de combustíveis, de forma a cumprir suas metas designadas pela ANP e compensar as emissões da venda de combustíveis fósseis.

Os distribuidores de combustíveis e investidores não acessam diretamente o sistema de negociação dos CBIOs na bolsa de valores. A negociação é feita através de seus representantes na plataforma denominada Trader, que fará a troca de titularidade dos CBIOs. Os CBIOs, cuja unidade equivale a uma tonelada de CO₂ evitada, não possuem vencimento e serão válidos até que o distribuidor de combustíveis solicite a aposentadoria de um determinado número de CBIOs, equivalente à sua meta anual de redução de emissões de GEE, quando então os CBIOs serão retirados de circulação (ANP, 2022a, Bolsa de Valores (B3), 2023). A Figura 19, mostra o esquema de funcionamento do RenovaBio.

Figura 19: Esquema de funcionamento do RenovaBio



Fonte: MME, 2017

Em 2021, foram emitidos 30,8 milhões de CBIOs pelos produtores e importadores de biocombustíveis certificados, sendo 85,4% por produtores e importadores de etanol, 14,3% de biodiesel e apenas 0,3% de biometano (ANP, 2022a), conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Emissão de CBIOS¹, por biocombustíveis - 2021

MÊS	BIODIESEL	BIOMETANO	ETANOL	TOTAL
Janeiro	257.201	5.108	2.091.002	2.353.311
Fevereiro	291.792	5.441	2.442.483	2.739.716
Março	351.963	5.354	2.412.422	2.769.739
Abril	359.307	6.194	1.809.969	2.175.470
Mai	430.948	6.495	1.976.081	2.413.524
Junho	343.776	7.011	2.181.775	2.532.562
Julho	413.135	6.673	2.112.146	2.531.954
Agosto	374.007	6.518	2.356.144	2.736.669
Setembro	405.897	6.966	2.493.891	2.906.754
Outubro	438.223	21.788	2.193.239	2.653.250
Novembro	440.004	12.022	2.057.489	2.509.515
Dezembro	303.224	7.046	2.138.467	2.448.737
TOTAL	4.409.477	96.616	26.265.108	30.771.201

Fonte: ANP, 2022a.

1) Os Créditos de Descarbonização (CBIOS) equivalem a 1 tonelada de CO₂ evitada e são emitidos pelos produtores e importadores de biocombustíveis certificados pela ANP.

Já as distribuidoras de combustíveis aposentaram 24,4 milhões de CBIOS em 2021 referentes às suas metas compulsórias de redução das emissões de gases causadores do efeito estufa (ANP, 2022a), como mostra a Tabela 8 abaixo.

Tabela 8: Aposentadoria de CBIOS¹ - 2021

MÊS	DISTRIBUIDORES DE COMBUSTÍVEL	OUTROS AGENTES
Janeiro	26.783	-
Fevereiro	85.758	42
Março	164.141	1
Abril	120.233	-
Mai	314.604	-
Junho	2.141.550	-
Julho	301.067	-
Agosto	232.335	7
Setembro	1.457.915	-
Outubro	1.688.568	-
Novembro	11.120.274	-
Dezembro	6.751.965	1.342
TOTAL	24.405.193	1.392

Fonte: ANP, 2022a.

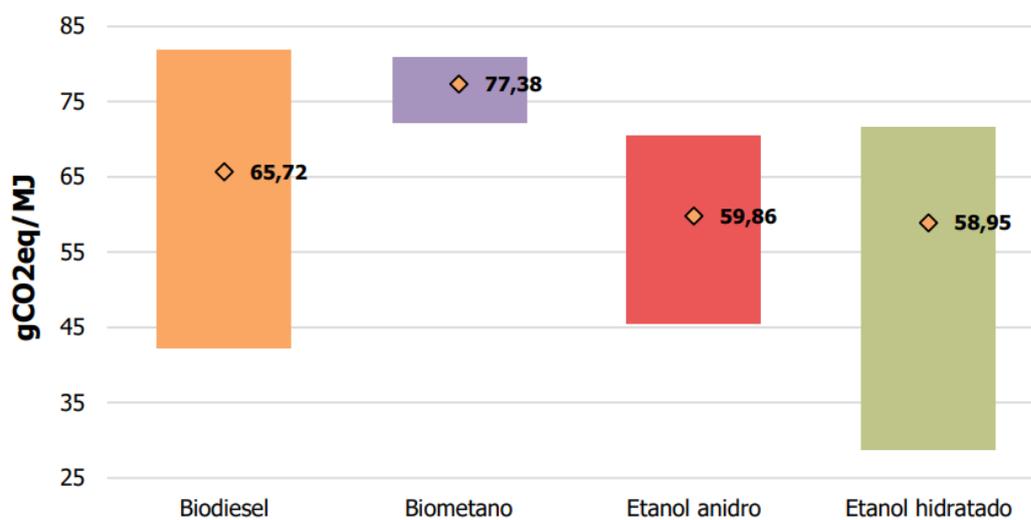
1) A aposentadoria é a retirada de circulação de Créditos de Descarbonização (CBIOS), pela distribuidoras, referentes às suas metas compulsórias de redução das emissões de gases causadores de efeito estufa.

Em relação ao preço do CBIO, o preço médio foi de R\$ 43,00 em 2020 e de R\$ 39,30 em 2021. Os CBIOS são uma fonte de receita para as empresas produtoras de biocombustíveis. Estima-se que, em 2021, elas tenham recebido uma receita de R\$ 1,16 bilhão vinda de 29,5 milhões de CBIOS comercializados (EPE, 2022a).

Como dito, as firmas certificadoras fornecem às usinas a autorização para a emissão de CBIOS de acordo com a diferença entre as emissões do biocombustível e o seu substituto fóssil, dado pela Nota de Eficiência Energético-

Ambiental (NEEA), calculado pela ferramenta Renovacalc. No caso do biodiesel, como a redução das emissões é da ordem de 70% em comparação ao óleo diesel, as usinas de biodiesel conseguem obter uma NEEA elevada. O Gráfico 35 mostra as NEEA das unidades certificadas para cada tipo de biocombustível e a faixa das notas mínimas e máximas até junho de 2021. As maiores médias foram registradas pelos produtores de biometano e biodiesel.

Gráfico 35: Nota de Eficiência Energético-Ambiental das unidades certificadas até junho de 2021



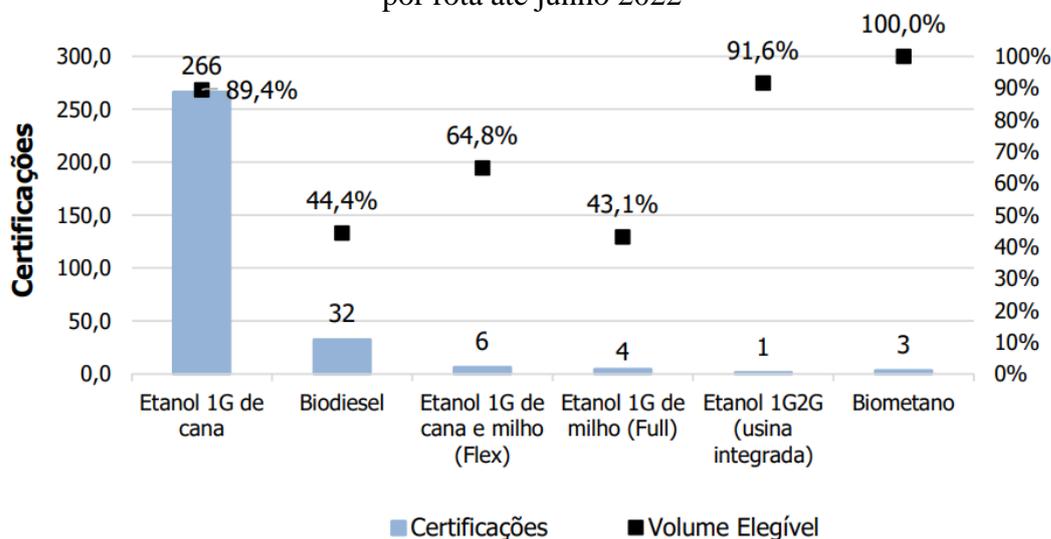
Fonte: EPE, 2022b, a partir de ANP (2022).

A partir de abril de 2023, o CNPE elevou o teor de biodiesel no diesel de 10% para 12% e estabeleceu um novo cronograma com aumento de 1% a cada ano, até atingir os 15% de mistura em abril de 2026, retomando o que havia sido definido em 2018 (Resolução CNPE N° 16/2018). O aumento da mistura é uma oportunidade para as indústrias de biodiesel emitirem mais CBIOS e para a redução das emissões de GEE. O MME estima que, em 2023, o teor de 12% do biodiesel no diesel, aumente em 1,6 milhões a emissão de CBIOS (BRUMATTI, 2023).

No entanto, o crescimento do número de CBIOS emitidos pelos produtores de biodiesel enfrenta o problema da baixa certificação dos produtores e de suas produções, pois há dificuldade de rastrear e certificar a cadeia de produção da soja, devido à diversidade de produtores e de formas de aquisição desta matéria-prima. Como pode ser visto no Gráfico 36, as 32 usinas de biodiesel autorizadas a

comercializar CBIOS, certificaram apenas 44,4% do volume da produção até junho de 2022.

Gráfico 36: Certificações por rota de produção e percentual do volume elegível por rota até junho 2022



Fonte: EPE, 2022b, a partir de ANP (2022).

6. O PNPB e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Este capítulo analisa os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que estão diretamente relacionados ao PNPB e abordam objetivos ambientais, econômicos, sociais, de qualidade de vida e de desenvolvimento sustentável da sociedade. Os ODS foram determinados pelos 193 Estados-membros da ONU, em setembro de 2015, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em Nova York. São 17 objetivos globais (Figura 20) interconectados, que se desdobram em 169 metas, que deverão ser cumpridos até 2030, com o objetivo de erradicar a pobreza e promover a vida digna para todos, dentro dos limites do planeta (ONU, 2022). Segundo a ONU:

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil (ONU, 2022).

Figura 20: Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU, 2022

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em sua publicação anual “Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis” (EPE, 2021b) do ano de referência 2020, abordou a importância do PNPB para os ODS, no capítulo 11, intitulado “O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, a Agricultura Familiar e as

Interfaces com a Agenda 2030”. Segundo a EPE (2021b, p. 55), a “inserção da agricultura familiar em um programa energético constituiu um modelo inovador”.

Na perspectiva social e econômica, o PNPB ao estimular através de benefícios fiscais o fornecimento de matérias-primas pelos agricultores familiares para as usinas de biodiesel, pode aumentar o número de pessoas ocupadas na agricultura e a renda agrícola, promovendo a inclusão social. Outro benefício é reduzir as desigualdades econômicas e regionais, pois o PNPB contribui para o desenvolvimento do interior do país. Além do desenvolvimento rural, há o desenvolvimento industrial do interior do Brasil, uma vez que quase todas as agroindústrias processadoras de soja, principal matéria-prima, e as usinas de biodiesel não estão localizadas nas grandes cidades, o que se relaciona com os ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) e 10 (Redução da desigualdades).

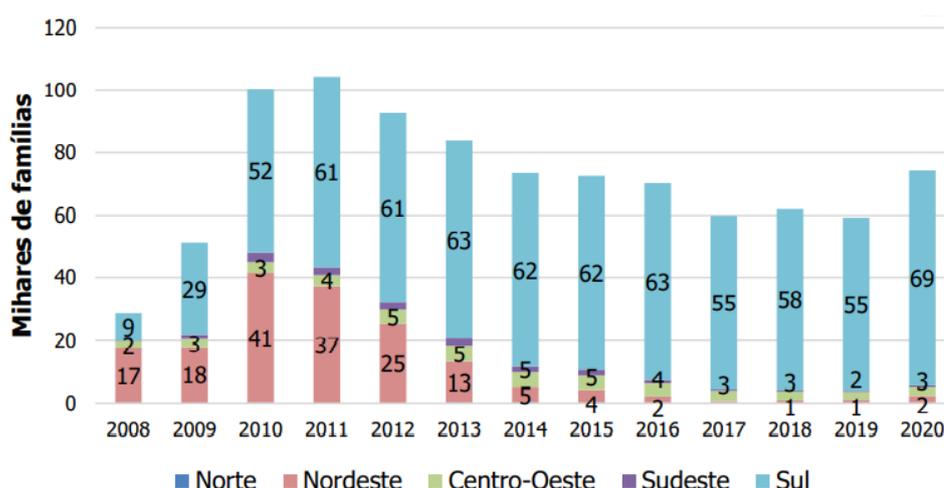
Vale citar ainda, que a produção do biodiesel agrega mais valor à cadeia da soja do que a produção do grão, do farelo ou do óleo de soja e os empregos criados na indústria pagam, em média, salários superiores aos da agricultura. Em 2021, segundo a publicação “Estatísticas do Cadastro Central de Empresas” (IBGE, 2023), o salário médio mensal da indústria de “Fabricação de Biocombustíveis” foi de R\$ 3.188,00, enquanto o salário médio na “Produção de Lavouras Temporárias” foi de R\$ 2.733,62, contribuindo para o ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico). A substituição parcial da importação de diesel fóssil, pela produção nacional de biodiesel, gera empregos na agricultura, indústria e comércio, além de melhorar o saldo da balança comercial e reduzir a dependência externa do petróleo e do diesel, que estão sujeitos a variações bruscas de preços, em razão de restrição da oferta e conflitos geopolíticos. Estima-se que, em 2019, no Brasil, havia 264 mil pessoas ocupadas na cadeia produtiva do biodiesel (IRENA, 2021, apud EPE, 2021b).

O PNPB, através do Selo Biocombustível Social (SBS), insere o produtor rural familiar em um programa de produção de energia, com regras que garantem a compra pelas usinas das matérias-primas, fortalecendo a agricultura familiar. Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), 3,9 milhões de estabelecimentos agrícolas (77% do total de 5 milhões de estabelecimentos) eram classificados como agricultura familiar no Brasil e ocupavam 80,9 milhões de hectares, o equivalente a 23% da área de todos os estabelecimentos agropecuários

e eram responsáveis por 23% do valor da produção agropecuária brasileira. A população ocupada na agricultura familiar era de 10,1 milhões de pessoas, correspondendo a 67% do total de pessoas ocupadas na agropecuária (15,1 milhões de pessoas). Em termos regionais, do total de pessoas ocupadas na agricultura familiar, 46,6% estavam no Nordeste, 16,5% no Sudeste, 16,0% no Sul, 15,4% no Norte e 5,5% no Norte (IBGE, 2019). Vale citar ainda, que a agricultura familiar é responsável por parte considerável dos alimentos que compõem a cesta básica, como mandioca, feijão, arroz, café, hortaliças, frutas, leite e ovos, fundamentais para a segurança alimentar e para controlar a inflação dos alimentos e para os ODS 1 (Erradicação da pobreza), 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 3 (Saúde e bem-estar), 8 (Trabalho decente e crescimento econômico) e 10 (Redução das desigualdades).

Em 2020, cerca de 74 mil famílias de agricultores e 69 cooperativas (MAPA, 2021, apud EPE, 2021b), presentes em 471 municípios de 14 estados forneciam matérias-primas para 42 usinas que possuíam o Selo Biocombustível Social de um total de 53 usinas em operação (ANP, 2020, apud EPE, 2021b; EPE 2022b). Ao longo do PNPB houve mudanças regionais no número de famílias que fornecem matérias-primas às usinas, conforme mostra o Gráfico 37.

Gráfico 37: Número de famílias fornecedoras de matérias-primas para as usinas de biodiesel, que possuem o Selo Biocombustível Social, por região - 2008-2020



Fonte: Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - ano 2021. EPE, a partir de MAPA, 2021, (EPE, 2021b)

A Região Nordeste, em 2010, chegou a ter 41 mil famílias no programa, mas perdeu participação ao longo dos anos, devido a mudanças no tipo de

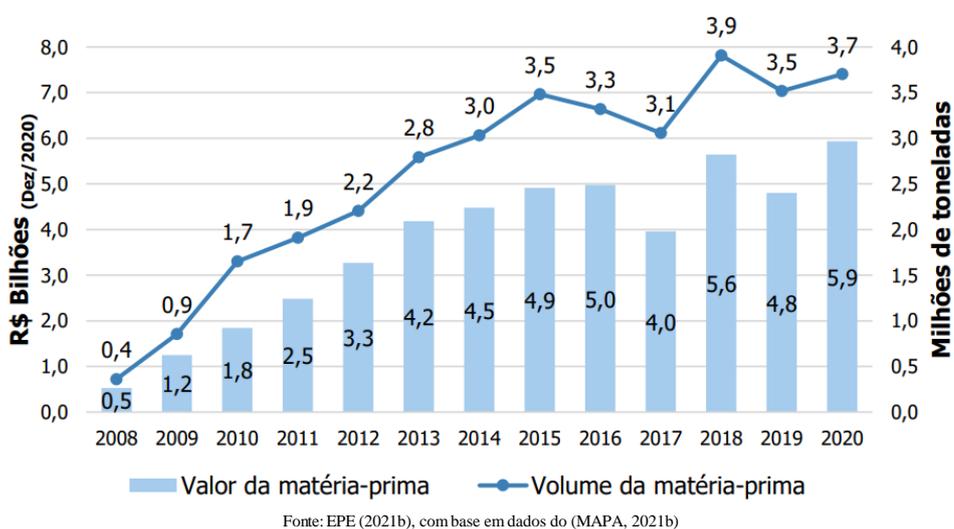
matéria-prima entregue às usinas, como ocorreu com a mamona, que não está mais sendo utilizada na produção de biodiesel. Além disso, a paralisação da produção da usina de biodiesel operada pela Petrobrás Biocombustível no Ceará em 2016 e a redução da produção de outra usina da Petrobrás na Bahia (VASCONCELOS, 2023), contribuíram para a redução do número de famílias fornecedoras de matérias-primas tanto no Nordeste como no País, que chegou a ter a participação de 104,3 mil famílias (EPE, 2021b).

Em 2020, o número de famílias que forneciam matérias-primas para usinas que possuem o SBS se concentrou na Região Sul, com 69 mil famílias, região tradicional no cultivo de soja em propriedades familiares, como mostra o Gráfico 37. Aproximadamente 75% dos agricultores vinculados ao SBS pertenciam a cooperativas em 2020 e a maior parte estava na Região Sul (MAPA, 2021b, apud EPE, 2021b). Na Região Centro-Oeste estavam cerca de 3 mil famílias e no Nordeste somente 2 mil famílias ainda forneciam matérias-primas às usinas de biodiesel em 2020. Na Região Norte e Sudeste o número de famílias era ainda menor.

Observa-se no Gráfico 37, que o objetivo do PNPB de fomentar a agricultura familiar nas regiões Norte e Nordeste, não foi plenamente alcançado. A reconfiguração das matérias-primas utilizadas pelas usinas ao longo do PNPB, que privilegiou a soja, concentrou a produção de biodiesel nas duas principais regiões produtoras dessa oleaginosa: a Região Centro-Oeste e a Região Sul. No Centro-Oeste, o cultivo da soja é realizado em grandes propriedades, com uso intensivo de mecanização e automação. A produção no Sul, ocorre em propriedades familiares, que, por estarem em uma região tradicional de plantio de soja, são organizadas em cooperativas e têm mais acesso a assistência técnica, financiamento e máquinas e equipamentos agrícolas. Nenhuma dessas duas regiões eram o foco do PNPB: eram os agricultores do Nordeste e Norte que deveriam ter sido os principais beneficiados pela inclusão social do PNPB, fornecendo, respectivamente, a mamona e o dendê para a produção de biodiesel. Após 18 anos do início do PNPB, a mamona não está sendo mais utilizada como matéria-prima e o dendê, embora tenha grande potencial de crescimento, é responsável por apenas 2,5% do total da produção de biodiesel (EPE, 2022b).

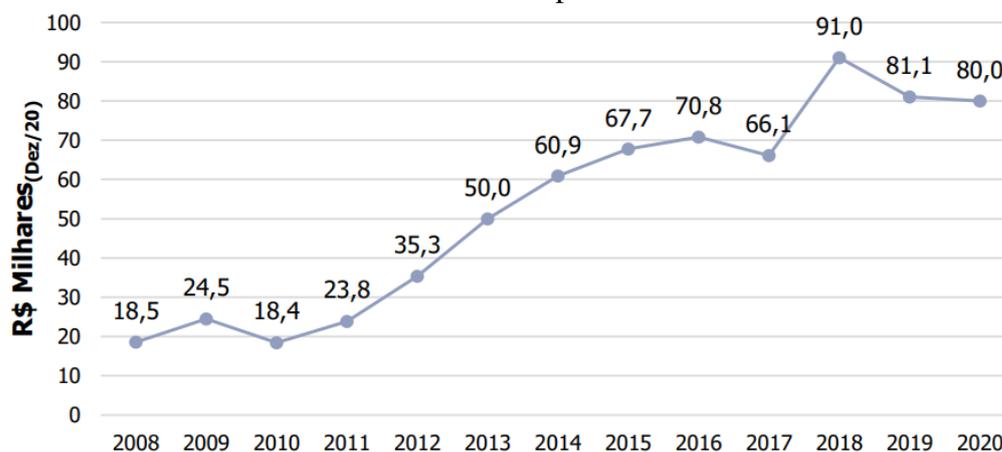
Os produtores agrícolas fornecem a matéria-prima às usinas, mediante contrato assinado entre o produtor ou sua cooperativa e a usina de biodiesel, o que possibilita uma renda previsível e a prestação de assistência técnica e extensão rural por parte da usina, que também atende às outras culturas e atividades da propriedade familiar, conforme regras do SBS (MAPA 2019, EPE, 2021b). O Gráfico 38 mostra a evolução do valor e da quantidade de matérias-primas compradas pelas usinas de biodiesel que participam do programa Selo Biocombustível Social.

Gráfico 38: Valor e quantidade de matéria-prima adquirida da agricultura familiar pelas usinas que possuem o Selo Biocombustível Social - 2008-2020



O PNPB vem proporcionando uma renda média anual por família relevante ao longo dos anos, tendo registrado, em 2020, renda de R\$ 80 mil (MAPA, 2021b, apud EPE, 2021b), considerando somente a renda com a venda de matérias-primas para a produção de biodiesel, conforme Gráfico 39.

Gráfico 39: Renda anual dos produtores familiares participantes do PNPB, obtida com a venda de matérias-primas - 2008-2020



Fonte: EPE (2021b), com base em dados do (MAPA, 2021b)

O produtor familiar também pode dedicar parte de sua propriedade e do seu tempo para o plantio de alimentos ou criação de animais para subsistência ou venda. Eles podem ainda fornecer matérias-primas, que não necessariamente serão usadas na produção do biodiesel, mas que contam no percentual mínimo de compras da agricultura familiar para a obtenção do SBS pelas usinas, como o coco, por exemplo, produto relevante no Nordeste (MAPA 2021b, apud EPE 2021b).

Como visto anteriormente, o aumento da mistura de biodiesel para 15% até 2026 exigirá o aumento da produção de óleo de soja e conseqüentemente refletirá na maior oferta de farelo, insumo básico da produção de rações animais, o que pode provocar a redução dos custos de produção e dos preços da carne, do leite e seus derivados, cooperando para a queda dos custos da alimentação e para os ODS 1, 2 e 3.

Desse modo, no âmbito social e econômico, o PNPB colabora para os seguintes ODS: 1 (Erradicação da pobreza), 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 3 (Saúde e bem-estar), 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o 10 (Redução das desigualdades).

Além dessas dimensões, o biodiesel produzido a partir de gorduras de animais ou óleo de fritura usado evita o descarte desses resíduos, reduzindo a quantidade de lixo nas cidades, o que está relacionado com o ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e o 15 (Vida terrestre).

Além disso, também já foi destacado o benefício do biodiesel no controle da poluição, principalmente a poluição atmosférica urbana e seus efeitos diretos na saúde humana, contribuindo assim para o ODS 3 (Saúde e bem-estar). Estudo da EPE (EPE, 2021d) verificou que a adição de 10% de biodiesel no diesel reduz em 4,8% a concentração de materiais particulados na atmosfera, proveniente dos transportes, e evita 244 óbitos por ano na Região Metropolitana de São Paulo.

Desse modo, o PNPB contribui no âmbito ambiental com a redução das emissões de GEE e a melhoria da qualidade do ar das cidades e para a redução do lixo, questões que estão relacionadas com o cumprimento dos seguintes ODS: objetivo 3 (Saúde e bem-estar), 7 (Energia limpa e acessível), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), o 13 (Ação contra a mudança global do clima) e o 15 (Vida terrestre)

Por fim, a moratória da soja na Amazônia, pacto bem-sucedido de combate ao desmatamento, estabelecido pela ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) e pela ANEC (Associação Nacional dos Exportadores de Cereais), que proibiu a compra de soja de áreas desmatadas após 2008, está diretamente relacionada com os ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e o 15 (Vida terrestre). Uma medida futura e importante para auxiliar estes dois ODS é ampliar a moratória da soja para o Cerrado. Embora o desmatamento deste bioma já seja monitorado, ainda não se firmou compromisso semelhante como o feito na Amazônia. A obrigatoriedade dos produtores familiares participantes do PNPB de fazerem o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que fornece informações ambientais da propriedade rural, é importante para se conhecer as áreas ainda preservadas e as que necessitam recompor suas reservas legais e áreas de preservação permanente (APP).

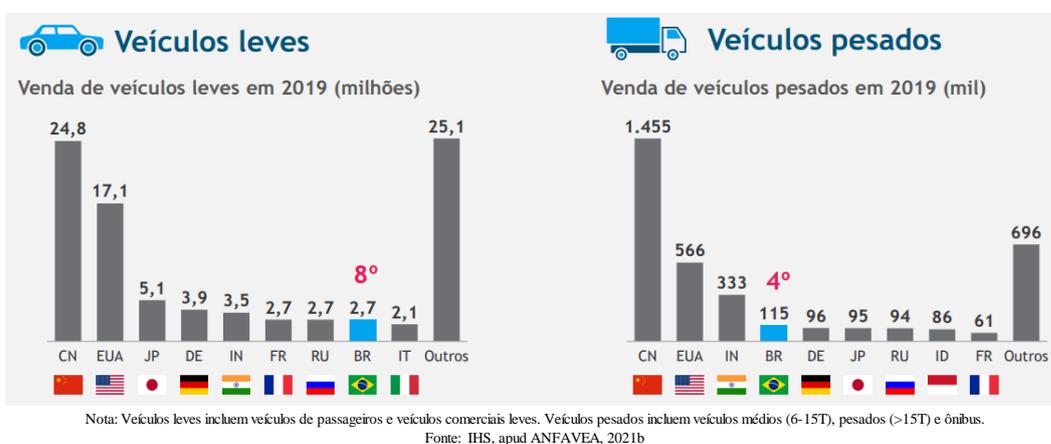
Em resumo, considerando os benefícios de redução das emissões de GEE, de melhoria da qualidade do ar, de desenvolvimento econômico e social e redução das desigualdades, o PNPB se relaciona e contribui com 10 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 1 (Erradicação da pobreza), 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 3 (Saúde e bem-estar), 7 (Energia limpa e acessível), 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 10 (Redução das desigualdades), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (Vida terrestre).

7.

As perspectivas dos biocombustíveis e do biodiesel diante da tendência de expansão dos veículos elétricos

O Brasil é um dos principais mercados automotivos do mundo, como mostra o Gráfico 40, com dados das vendas mundiais de veículos leves (automóveis e comerciais leves) e pesados (caminhões e ônibus). Em 2019, o Brasil foi o oitavo maior consumidor de veículos leves, com 2,7 milhões de veículos vendidos e o quarto no ranking de veículos pesados, com 115 mil caminhões e ônibus vendidos. (ANFAVEA, 2021b).

Gráfico 40: Vendas de veículos leves (milhões) e pesados (milhares) em 2019



Diante da dimensão do mercado brasileiro de veículos, é importante conhecer as possíveis rotas tecnológicas e energéticas para a descarbonização do setor automotivo. O Quadro 1 abaixo apresenta as principais rotas tecnológicas para os veículos leves e pesados, movidos a motores a combustão que utilizam combustíveis fósseis e/ou biocombustíveis ou por motores elétricos, segundo dados da ANFAVEA (2021b).

Quadro 1: Rotas tecnológicas e energéticas para a descarbonização do setor automotivo

	Combustíveis Fósseis	<ul style="list-style-type: none"> - Gasolina - Diesel - Gás Natural Comprimido (CNG) - Gás Natural Liquefeito (LNG) 	<ul style="list-style-type: none"> . Combustível mais comum para leves no Brasil . Combustível mais comum para pesados no Brasil . Solução de gás natural mais antiga; menor densidade de energia . Solução mais recente c/ maior densidade de energia
	Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> - Bioetanol - Biodiesel - Diesel Renovável/Verde (HVO) - Biogás/Biometano 	<ul style="list-style-type: none"> . Misturado a gasolina ou consumido individualmente . Misturado ao diesel brasileiro; não substitui diesel¹ . Pode ser utilizado sem restrições em motores atuais² . Combustível produzido pela decomposição biológica³
	Eletrificados (xEV)	<ul style="list-style-type: none"> - MHEV (Mild hybrid, 48V) - HEV (Hybrid) - PHEV (Plug-in hybrid) - BEV (Pure battery) 	<ul style="list-style-type: none"> . Motor elétrico de baixa voltagem c/ potência limitada . Média potência, com suporte a baixas velocidades . Alta potência, permitindo altas velocid.; c/ carregador . Solução puramente elétrica; carregador externo
	Célula a Comb.	<ul style="list-style-type: none"> - Célula de combustível - Célula de combustível com etanol 	<ul style="list-style-type: none"> . Hidrogênio utilizado para gerar energia elétrica . Etanol transformado em hidrogênio para alimentar bateria

Notas: 1) O biodiesel por conta de glicerinas, não pode substituir completamente o diesel fóssil.

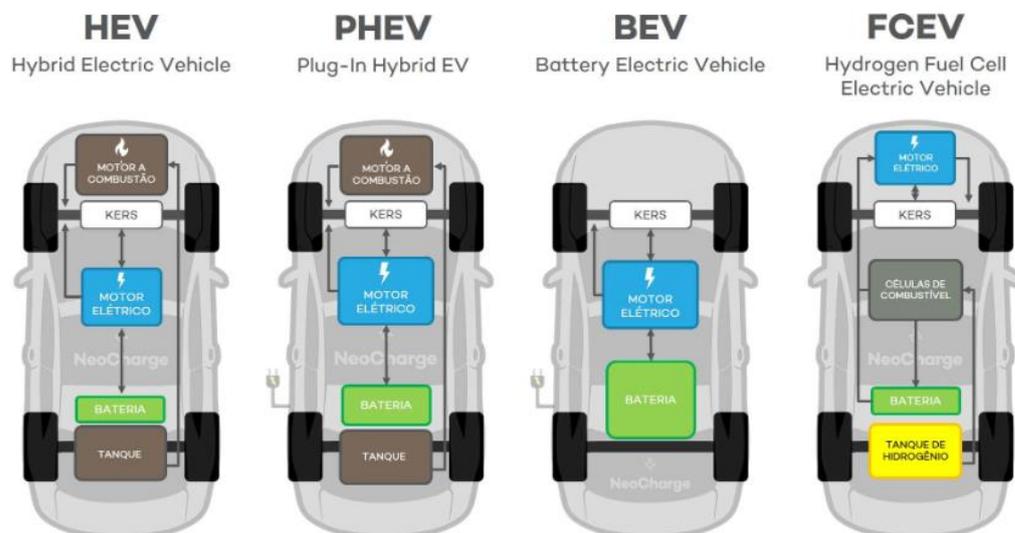
2) O diesel renovável/verde (HVO) tem moléculas iguais ao do óleo diesel fóssil.

3) Decomposição biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio.

Fonte: ANFAVEA, 2021b

Os veículos eletrificados podem ser de quatro tipos: híbridos (MHEV, HEV), híbridos plug-in (PHEV), totalmente elétricos a bateria (BEV) ou elétricos a células de combustível (FCEV), como apresentando na Figura 21.

Figura 21: Funcionamento dos tipos de veículos elétricos: HEV, PHEV, BEV e FCEV



Fonte: Neocharge, 2023.

Os híbridos possuem dois motores, um a combustão (gasolina, etanol ou diesel) e outro elétrico a bateria, que é acionado quando a bateria está carregada e auxilia o desempenho do veículo, consumindo menos combustível e emitindo

menos GEE do que um veículo somente a combustão. No caso dos híbridos do tipo MHEV ou HEV, as baterias são recarregadas pelo próprio motor a combustão ou pelo sistema de frenagem regenerativo Kers (Kinetic Energy Recovery System), um mecanismo que está presente em todos os veículos elétricos e que recupera parte da energia cinética gerada na desaceleração do veículo e a armazena na bateria. Os híbridos HEV possuem uma bateria mais potente e com maior autonomia do que os MHEV, que são denominados veículos híbridos leves.

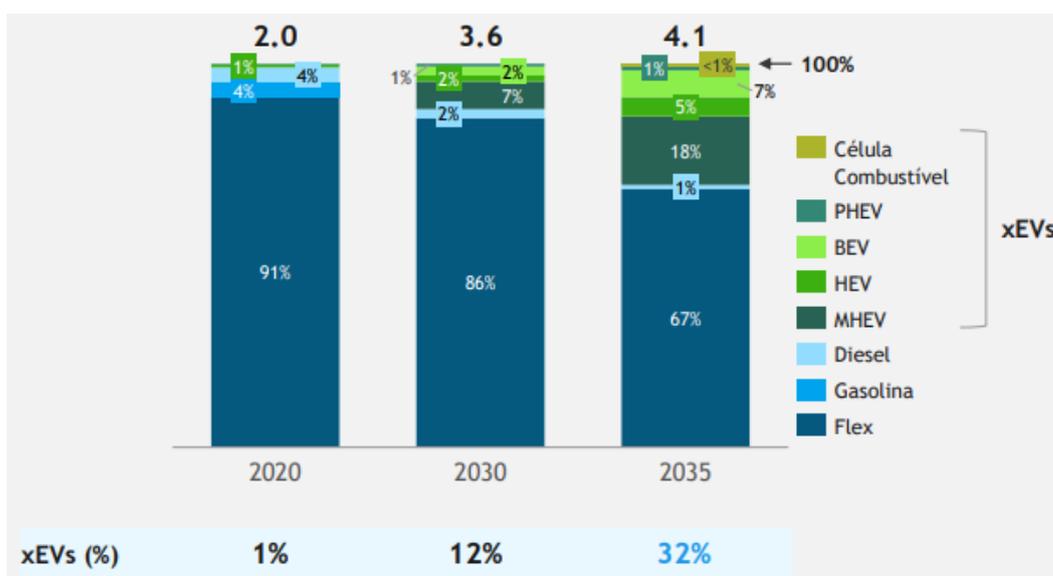
Os híbridos plug-in (PHEV) têm suas baterias recarregadas também na rede elétrica, através de um carregador e, por terem baterias maiores, são capazes de rodar por dezenas de quilômetros sem usar o motor a combustão. Já os veículos totalmente elétricos, podem ser do tipo 100% a bateria (BEV) ou a célula de combustível (FCEV). O BEV tem sua bateria carregada na rede elétrica e não emite GEE, porém é importante que a energia seja de fonte renovável e não produzida a partir de combustíveis fósseis. Os BEV têm uma bateria maior do que os híbridos, alguns possuem autonomia de cerca de 400 km. Já os veículos a célula de combustível (FCEV), utilizam hidrogênio líquido pressurizado combinado com oxigênio para gerar eletricidade e carregar a bateria. Uma vantagem do FCEV é que a autonomia e a forma de abastecimento são semelhantes à de um veículo a combustão, podendo ser feita em postos de combustíveis. A desvantagem é não poderem ser carregados na própria residência em tomadas comuns ou de carregamento rápido. Estes veículos, embora sejam comercializados em alguns países, ainda não são vendidos no Brasil (NEOCHARGE, 2023; DENTON, 2018).

Em relação às perspectivas do consumo de combustíveis, em um cenário onde haverá a convivência de veículos à combustão com os veículos elétricos, o estudo da ANFAVEA e do Boston Consulting Group (ANFAVEA, 2021b) “O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil” traçou três cenários para os próximos 15 anos: o cenário “Inercial”, o de “Convergência Global e o de “Protagonismo de Biocombustíveis”.

No cenário “Inercial” o aumento das vendas de veículos híbridos e elétricos, que no ano do estudo (2020) representavam 1% das vendas de veículos leves e percentual insignificante dos pesados, ocorrerá no ritmo atual, sem metas estabelecidas e políticas governamentais que incentivem a eletrificação

(ANFAVEA, 2021a). Neste quadro, em 2035, as vendas de veículos leves eletrificados (xEVs) serão 32%, o equivalente a 1,3 milhão de veículos, supondo que o mercado alcance vendas de 4,1 milhões em 2035, como mostrado no Gráfico 41. Já os veículos pesados com novas tecnologias de motorização (New Energy Vehicle, NEVs), que incluem os caminhões e ônibus elétricos e a gás, serão 14% do total, em 2035, o equivalente a 17 mil unidades vendidas de um total de 122 mil (ver Gráfico 42). No cenário “Inercial”, as vendas de veículos leves com motor flex (67%) e de veículos pesados a diesel (87%), ainda predominarão no País.

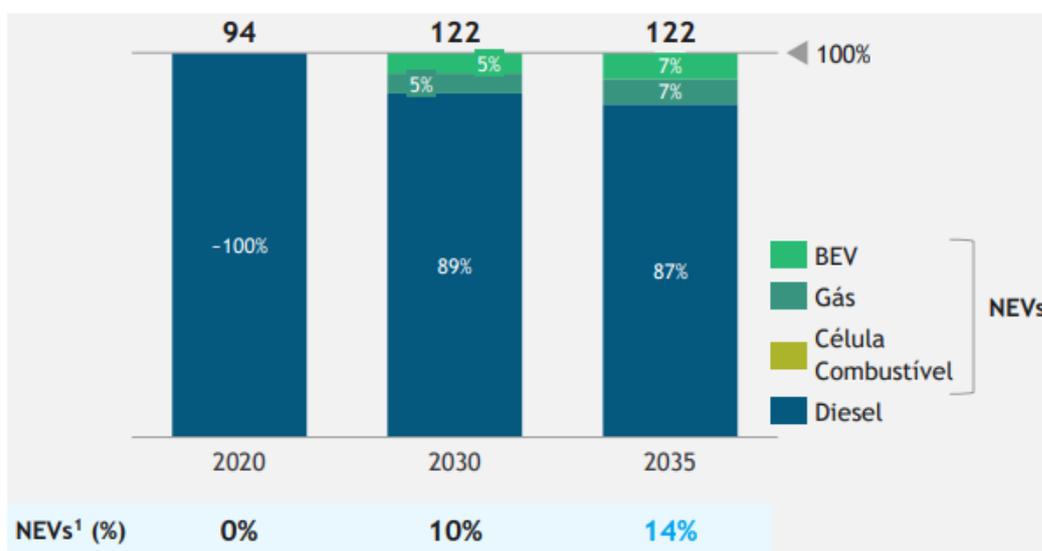
Gráfico 41: Cenário Inercial - Veículos leves - mix de vendas anual (milhões de veículos)



Nota: Veículos leves - veículos de passageiros e veículos comerciais leves; xEVs - Veículos Eletrificados; PHEVs - Plug-in Hybrid Electric Vehicle; BEV - Battery Electric Vehicle; HEV - Hybrid Electric Vehicle; MHEV - Mild Hybrid Electric Vehicle

Fonte: IHS Markit; ANFAVEA, Sindipeças; Análise BCG

Gráfico 42: Cenário Inercial - Veículos pesados - mix de vendas anual (milhares de veículos)

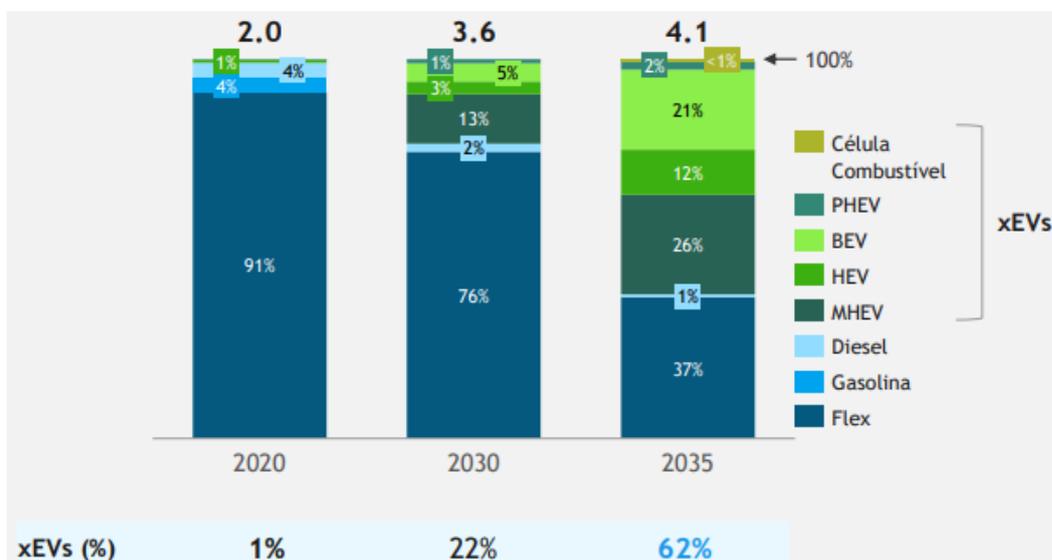


Nota 1: Inclui caminhões médios e pesados e ônibus; NEVs - New Energy Vehicle;
BEV - Battery Energy Vehicle

Fonte: IHS Markit; ANFAVEA, Sindipeças; Análise BCG

No cenário de “Convergência Global”, as montadoras seguem estratégias globais de eletrificação e a evolução tecnológica permite que os veículos elétricos ganhem escala no País, atingindo em 2035 níveis de eletrificação similares aos da Europa em 2030. Nesta hipótese, a participação dos veículos elétricos leves alcançará 62% (2,5 milhões de veículos) e a dos veículos pesados eletrificados ou a gás atingirá 32% (39 mil unidades) do total das vendas em 2035 (Gráficos 43 e 44), e será necessário a instalação de 150 mil pontos de carregamento, que exigirão investimentos de R\$ 14 bilhões. Além disso, serão necessários investimentos em geração e distribuição de energia, de preferência de fontes renováveis, para atender ao aumento do consumo de energia pelos veículos elétricos em 2035, estimado em 7.252 (GWh)/ano, o equivalente a um aumento de 1,5% na energia elétrica consumida em 2019.

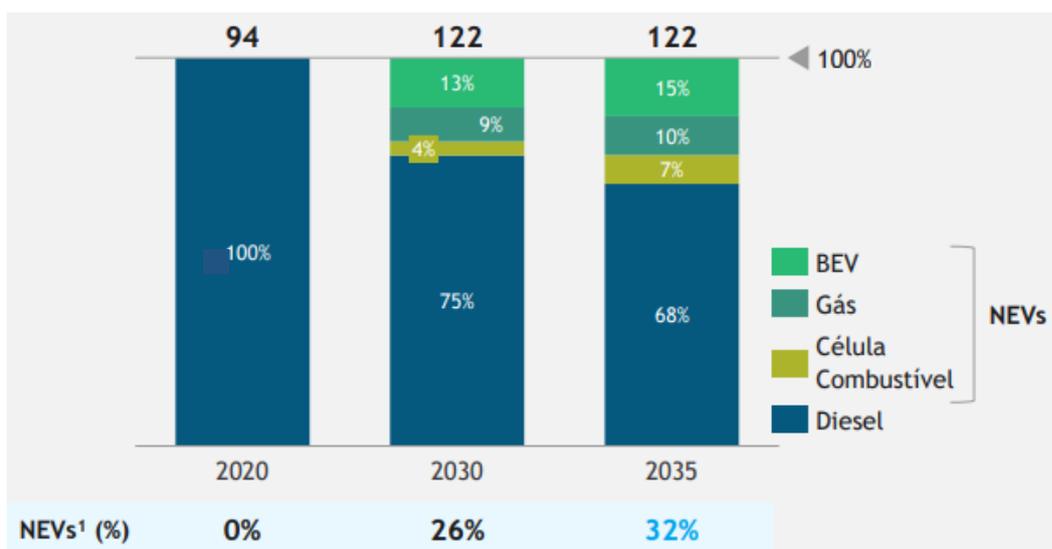
Gráficos 43: Cenário “Convergência Global” - Veículos leves - mix de vendas anual (milhões de veículos)



Nota: Veículos leves - veículos de passageiros e veículos comerciais leves; xEVs - Veículos Eletrificados; PHEVs - Plug-in Hybrid Electric Vehicle; BEV - Battery Electric Vehicle; HEV - Hybrid Electric Vehicle; MHEV - Mild Hybrid Electric Vehicle

Fonte: IHS Markit; ANFAVEA, Sindipeças; Análise BCG

Gráficos 44: Cenário “Convergência Global” - Veículos pesados - mix de vendas anual (milhões de veículos)



Nota 1: Inclui caminhões médios e pesados e ônibus; NEVs - New Energy Vehicle; BEV - Battery Energy Vehicle

Fonte: IHS Markit; ANFAVEA, Sindipeças; Análise BCG

Já no cenário de “Protagonismo de Biocombustíveis”, o grau de eletrificação da frota será semelhante ao cenário “Inercial”, mas os

biocombustíveis ganham protagonismo como caminho para a descarbonização do setor de transporte. Nos veículos leves, o etanol ganha participação no mix de combustíveis, viabilizado pela regulação favorável, frota flex e ampla infraestrutura de produção e distribuição e responderá por cerca de 61% do consumo de combustíveis em 2035. No caso dos veículos pesados, o motor a diesel permanece dominante e o biodiesel e o HVO (Hydrotreated Vegetable Oil ou Óleo Vegetal Hidrotratado), também conhecido como diesel verde, viabilizados por regulação favorável e investimentos, alcançam 30% do consumo de combustíveis em 2035 (15% biodiesel e 15% HVO). O maior consumo de etanol e biodiesel exigirá investimentos na produção desses biocombustíveis, e no aumento da produção de suas matérias-primas, sobretudo a cana-de-açúcar e a soja. Serão necessários ainda investimentos para que a fabricação do HVO, biocombustível de segunda geração, tenha escala suficiente para atender à demanda.

Neste caso, o maior uso dos biocombustíveis pode acelerar a descarbonização a curto e a médio prazo ao reduzir a emissão de CO₂ da frota circulante. Considerando a visão do “poço à roda”, que inclui desde a captura de carbono na agricultura e as emissões geradas na produção, distribuição e consumo do combustível, no cenário “Protagonismo de Biocombustíveis”, os veículos leves e os pesados emitirão, em 2035, cerca de 15% e 9% menos CO₂, respectivamente, na comparação com o cenário “Inercial”, e 10% e 5% menos CO₂ no confronto com o cenário “Convergência Global”.

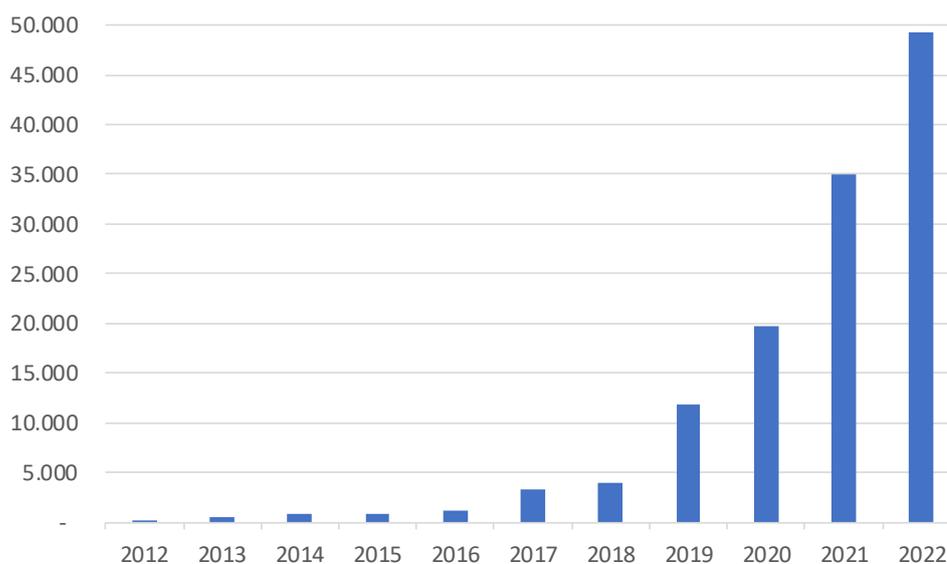
Mesmo considerando o cenário mais otimista de eletrificação (Convergência Global), somente os novos veículos elétricos vendidos não serão suficientes para reduzir rapidamente as emissões, sendo necessárias políticas de inspeção veicular e renovação da frota (ANFAVEA, 2021a). A previsão é que a renovação da frota deverá ser muito lenta e a frota circulante de veículos leves estimada em 62 milhões, em 2035, ainda terá 78% de veículos flex rodando com gasolina ou etanol e 88% dos cerca de 2,5 milhões de caminhões e ônibus ainda terão motor a diesel, o que reforça a importância dos biocombustíveis na redução das emissões (ANFAVEA, 2021b). Além disso, os veículos elétricos híbridos, os mais vendidos atualmente no Brasil, por possuírem dois motores, um elétrico e outro à combustão, continuarão utilizando combustíveis fósseis ou

biocombustíveis, como no caso do híbrido flex, que ao utilizar etanol reduz ainda mais as emissões.

Em 2022, de acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2023) foram vendidos 49.245 veículos leves eletrificados, assinalando um crescimento de 40,7%, em relação às vendas de 2021 (34.990 veículos) e uma participação de 2,5% no total de emplacamentos no Brasil (1.957.699 veículos). Do total de veículos leves eletrificados vendidos (49.245), 8.458 (17,2%) foram BEV, 10.348 (21,0%) foram PHEV e 30.439 (61,8%) foram HEV, sendo que deste último a maioria foi de híbridos flex (23.622 veículos) e o restante (6.817) de veículos híbridos a gasolina.

Os híbridos flex têm, por enquanto, a tecnologia mais aceita pelos consumidores brasileiros, uma vez que não necessitam ser carregados na tomada. Na medida em que a infraestrutura de recarga das baterias se expandir, a tendência é o aumento das vendas dos veículos 100% elétricos ou híbridos plug-in. De acordo com a ABVE (2023), existem cerca de 3.000 eletropostos públicos e semipúblicos no Brasil e estima-se que este número possa chegar a 10.000 até 2025. O Gráfico 45 mostra a evolução das vendas dos veículos eletrificados leves, cuja frota atingiu, em 2022, o total de 126.504 veículos, segundo a ABVE (2023).

Gráfico 45: Vendas de veículos eletrificados leves no Brasil: 2012-2022



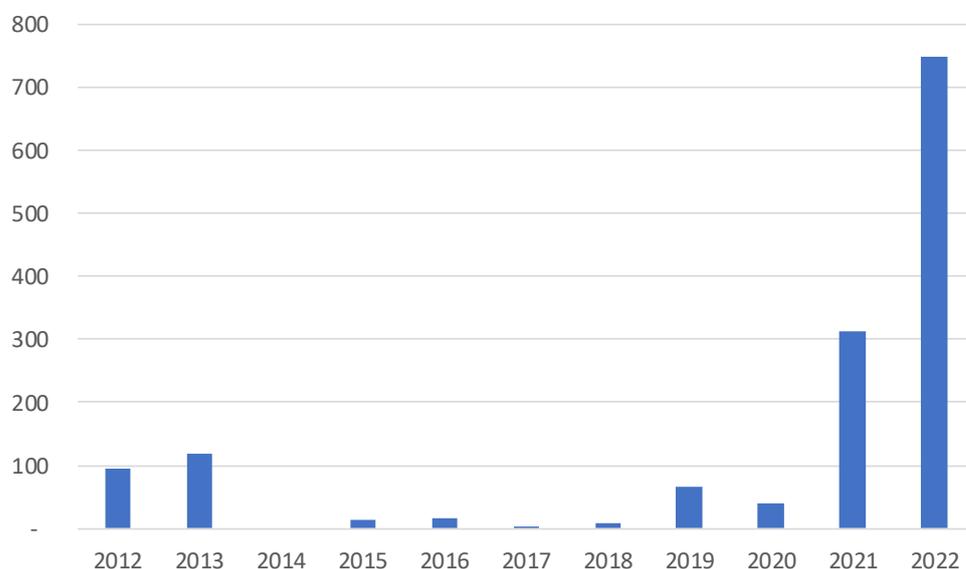
Nota: Veículos eletrificados = Veículos Elétricos Híbridos (HEV) + Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV) + Veículos Elétricos 100% a Bateria (BEV). Automóveis + Comerciais Leves (não inclui ônibus, caminhões e veículos elétricos levíssimos).

Fonte: Elaboração própria com dados da ABVE, 2023

Como visto no estudo da ANFAVEA, a projeção é a eletrificação dos veículos pesados ocorrer em ritmo mais lento, mesmo no cenário “Convergência Global”. A eletrificação de caminhões pesados, como as Carretas, que pesam mais de 30 toneladas e percorrem longas distâncias, é de difícil implementação, pois demandaria milhares de eletropostos espalhados pelas rodovias de todo País. Além disso, o próprio peso das baterias reduziria a capacidade de carga do caminhão. Por outro lado, ônibus e caminhões elétricos urbanos, que percorrem curtas distâncias, têm maior potencial de disseminação. Os caminhões poderiam ser abastecidos a cada parada para descarregar as mercadorias e os ônibus nas garagens ou pontos finais.

O Gráfico 46 mostra a evolução das vendas de caminhões e ônibus eletrificados de 2012 a 2022. Mesmo com o avanço nos últimos anos, a eletrificação de veículos pesados ainda não atingiu mil veículos emplacados por ano, enquanto as vendas de veículos leves eletrificados foram de praticamente 50.000 unidades em 2022.

Gráfico 46: Vendas de veículos eletrificados pesados (caminhões e ônibus) no Brasil: 2012-2022



Fonte: Elaboração própria com dados do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023 (ANFAVEA, 2023)

Ainda segundo o estudo da ANFAVEA (2021b) o ritmo de eletrificação da frota brasileira vai depender do custo total de propriedade do veículo elétrico comparado ao custo de propriedade do veículo à combustão. O custo de

propriedade é determinado pelo custo de aquisição, custo do financiamento, custo de manutenção, custo do IPVA, e pelo valor residual do veículo para venda.

Como forma de incentivar a compra, os veículos elétricos são isentos e os híbridos têm redução de impostos de importação, pagam alíquota reduzida de IPI e alguns estados brasileiros isentam ou dão desconto no IPVA. Tramita no Congresso o Projeto de Lei Nº 5308/2020, que isenta de IPI todos os veículos híbridos ou elétricos, nacionais ou importados. Outras formas de incentivo são isentar ou dar desconto em pedágios, estacionamentos e na recarga das baterias. Especificamente para a cidade de São Paulo, os elétricos não precisam fazer o rodízio no uso do veículo.

Em um cenário de forte aumento do preço dos combustíveis fósseis e biocombustíveis, de rápida redução do preço das baterias elétricas, expansão da oferta de veículos elétricos pelas montadoras, controle de emissões de CO₂ mais rigoroso, redução de impostos, e pressões de investidores, clientes e sociedade para a descarbonização do transporte, a eletrificação da frota pode ser acelerada, segundo a ANFAVEA.

Para o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), no documento “Eletrificação de veículos e o futuro do etanol combustível no Brasil” (CNPEM, 2018), a eletrificação de veículos tem potencial para alterar o mercado de biocombustível, no qual o Brasil é um dos maiores produtores e consumidores. No País, a razão de consumo entre etanol e gasolina é de 0,9, nos EUA é de 0,1 e a média mundial é de 0,07. Outras duas singularidades do mercado brasileiro são a infraestrutura de distribuição do etanol hidratado e o fato da maior parte da frota ser de veículos com motor flex. Vale citar ainda o desenvolvimento do agronegócio, apoiando o avanço dos biocombustíveis, e a criação em 2017 da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

Segundo o CNPEM (2018), a eletrificação baseada em fontes de energia renováveis pode reduzir as emissões de GEE, mas o Brasil tem nos biocombustíveis uma alternativa também aplicável em larga escala. Um veículo elétrico híbrido usando etanol é a alternativa que emite menos GEE, considerando as emissões totais, desde a produção de energia, montagem, operação e

manutenção. Um veículo flex emite 196 gCO₂ e/km se rodar com gasolina C (E27, 27% de etanol anidro), 80 gCO₂ e/km se rodar com etanol hidratado e 74 gCO₂ e/km caso seja híbrido rodando com etanol hidratado, enquanto um veículo elétrico à bateria carregado na rede brasileira emite 96 gCO₂ e/km, ou seja, mais que as emissões utilizando etanol. Neste modelo de mobilidade sustentável, a gasolina seria gradualmente substituída pela combinação de eletricidade e etanol, no qual o etanol seria um moderador da demanda por baterias, infraestrutura de recarga e energia elétrica.

Além disso, a importação de um modelo de mobilidade elétrica pode criar dependência externa e desequilíbrios na balança de pagamentos, devido à importação de baterias e veículos elétricos e romper cadeias produtivas estabelecidas no Brasil, sem que isso necessariamente reduza significativamente as emissões de GEE. Para o CNPEM (2018), a produção de biocombustíveis insere o agricultor em um novo mercado (combustíveis), aumenta sua rentabilidade, reduz seus riscos de mercado e, dessa forma, fortalece a sustentabilidade econômica das cadeias produtivas, integrando a produção de alimentos e biocombustíveis. A previsão é que os biocombustíveis ganhem importância na matriz energética global, sendo usados, principalmente, no transporte de longa distância e de difícil eletrificação, como no transporte rodoviário de longa distância, na navegação e na aviação.

Na visão da UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia), conforme informação do seu site, a mobilidade sustentável será alcançada por meio de múltiplas rotas, levando em consideração a particularidade de cada região do mundo. O etanol, segundo a UNICA, é o combustível mais limpo do mundo e seu uso como etanol hidratado, que é abastecido diretamente na bomba de combustível, reduz as emissões de CO₂ em até 90%, enquanto que o etanol anidro, com a mistura atual de 27% na gasolina, reduz em 15% as emissões. Recentemente, no dia 28/04/2023 foi anunciado pelo Ministério de Minas e Energia, que o CNPE vai estudar a proposta de elevar o teor de etanol anidro na gasolina para 30% (MME, 2023). Além disso, como visto, o veículo híbrido flex abastecido com etanol, disponível em 42 mil postos de combustíveis do País, reduz ainda mais as emissões de GEE.

A UNICA também acredita que no veículo a célula de combustível, a

energia elétrica poderá ser gerada no próprio veículo a partir do hidrogênio contido no etanol e, no caso dos veículos elétricos plug-in, a energia para carregar as baterias poderá ser obtida a partir de subprodutos da produção do etanol, como o bagaço ou a vinhaça, que podem também gerar o biogás (UNICA, 2023). Vale citar ainda, que está sendo cogitado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), o retorno da produção de veículos movidos exclusivamente a etanol, cujo motor, ajustado para utilizar somente etanol, é mais eficiente do que o flex. Estes veículos, denominados “carros verdes”, teriam motor de 1.000 cilindradas, preços mais acessíveis e contariam com subsídios do governo (SODRÉ, 2023).

Já o Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas - Centro Clima (COPPE/UFRJ), no artigo “Transição energética no Brasil: um cenário compatível com o Acordo de Paris para o setor de transportes até 2050” (2020), aponta que a eletrificação de carros, ônibus e caminhões, junto com o aumento do uso dos biocombustíveis, são importantes medidas de mitigação para reduzir as emissões dos transportes no Brasil.

O cenário brasileiro compatível com um aumento da temperatura média do planeta em até 1,5° em 2050, prevê reduzir as emissões dos transportes no Brasil em até 25% em 2050, quando comparadas ao nível de 2005. Para se atingir essa meta, no escopo dos biocombustíveis, é considerado um aumento da mistura de biodiesel no diesel para 20% em 2030, 25% em 2040, alcançando 30% em 2050. No caso do etanol, a projeção é manter a mistura de 27% (E27) de etanol anidro na gasolina, e que o etanol hidratado atinja 90% do consumo de combustíveis dos veículos leves, substituindo a gasolina.

Em relação ao licenciamento de veículos leves, a previsão é o fim das vendas de veículos exclusivamente a combustão até 2040. Para os veículos pesados a projeção é menos otimista: os ônibus abastecidos com diesel fóssil ainda serão 20% das vendas de ônibus novos em 2040. Para os caminhões a expectativa do artigo é que 10% das vendas de caminhões leves (abaixo de 10 toneladas) sejam elétricos a bateria em 2030, chegando a 50% em 2050. Quanto aos caminhões pesados (acima de 10 toneladas) elétricos a bateria e híbridos, a estimativa é que sua participação no total dos licenciamentos alcance 12% em 2050.

Ainda segundo o Centro Clima (COPPE/UFRJ, 2020), em 2050, os ônibus urbanos, comerciais leves, caminhões leves e veículos compartilhados (táxis e por aplicativo) responderão pela maior parte da frota de veículos elétricos a bateria, enquanto a frota de veículos híbridos será predominantemente composta por carros particulares, caminhões pesados e ônibus regionais.

Já a perspectiva do setor produtivo de biodiesel sobre a eletrificação dos veículos pesados foi obtida por meio de entrevista, cujo questionário está no apêndice desta dissertação. As associações de produtores de biodiesel fazem distinção do uso de veículos pesados elétricos nas cidades e nas áreas rurais. Acreditam que nas cidades a tendência é o aumento da frota de ônibus elétricos e caminhões elétricos de pequeno porte para a entrega de mercadorias. Por outro lado, nas áreas rurais e rodovias, os caminhões devem continuar a usar diesel, por isso se faz necessário melhorar a qualidade do diesel fóssil para se reduzir as emissões de GEE. O setor acredita que o uso do diesel S-500, utilizado em caminhões fabricados até 2011, que tem 500 partículas de enxofre por milhão, será banido em breve e o único diesel disponível será o diesel S-10, menos poluente. Outra medida importante é renovar a frota de caminhões. Os novos caminhões têm motores mais novos e eficientes, seguindo a norma do Proconve (Programa de Controle de Emissões Veiculares). Segundo o setor, no caso brasileiro, o caminhão híbrido com um motor a diesel e outro elétrico, pode melhorar a eficiência do motor e aumentar a sua autonomia, o que seria um ganho de rendimento, com menos emissão.

As análises e projeções descritas neste capítulo apontam para a expansão do número de veículos elétricos, sobretudo, os híbridos, mas adaptados à realidade brasileira, que ainda possui poucos postos de carregamento rápido e poucos edifícios e residências com instalação de *wallbox*, que carrega uma bateria em torno de 4 horas, sendo mais rápido do que uma tomada convencional e mais lento do que um eletroposto de carregamento rápido. Outra tendência do mercado automotivo brasileiro são as vendas de veículos pesados eletrificados crescerem em um ritmo mais lento que os veículos leves eletrificados.

O cenário em relação à eletrificação da frota brasileira vai depender de políticas governamentais de incentivo à produção e ao uso destes veículos. Para uma ampla disseminação dos veículos elétricos seriam necessárias a redução do

custo da bateria, aumento da escala de produção e incentivos fiscais, além da disseminação dos postos de carregamento nas cidades e nas principais rodovias.

Apesar de algumas diferenças entre os estudos apresentados, todos apontam a importância dos biocombustíveis para uma redução mais rápida das emissões de GEE e com menores custos, indicando um aumento na produção de biodiesel e possível diversificação da produção – seja regionalmente, seja novas matérias primas, ou seja biodiesel de segunda geração.

8. Considerações finais

A dissertação teve o objetivo de analisar o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com base nos três pilares da sustentabilidade – os aspectos econômicos, sociais e ambientais de toda a cadeia do biodiesel.

Como evidenciado no trabalho, os ganhos do PNPB em termos econômicos, por conta de substituir um produto estratégico importado, o incentivo à agricultura familiar e consequente redução da pobreza rural e sua integração a uma cadeia industrial, a produção de uma energia limpa e renovável que reduz emissões de GEE, combatendo o aquecimento global, a promoção da melhoria da qualidade do ar nas cidades, com ganhos à saúde humana e bem-estar, tornam o PNPB inteiramente alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Na questão econômica, o PNPB vem contribuindo para reduzir a importação de petróleo leve e de óleo diesel, que responde por cerca de 20% do consumo brasileiro. Desse modo, o Brasil fica menos sujeito aos impactos econômicos e políticos das oscilações do preço internacional do petróleo e do Dólar.

A despeito desta vantagem, o custo de produção do biodiesel segue sendo maior do que o do diesel importado, no atual patamar de preços do petróleo, de modo que do ponto de vista estritamente econômico-financeiro o PNPB não atende integralmente aos ODS, ainda que por uma margem pequena. O maior desafio é diminuir os custos de produção de modo a se tornarem competitivos com os preços internacionais do diesel fóssil. A trajetória desses preços é incerta, mas a busca da diminuição dos custos de produção do biodiesel permanece como um desafio. Além disso, o fato do biodiesel ser produzido majoritariamente a partir da soja abre também certa vulnerabilidade ao mercado desta commodity, uma vez que o óleo de soja é responsável pela maior parte dos custos de produção. O aumento do preço do óleo de soja, determinado pelo mercado internacional, reflete diretamente no preço do biodiesel e impacta na composição do preço do óleo diesel, além de influenciar o percentual de mistura de biodiesel no diesel.

A tendência é o óleo de soja continuar sendo a principal matéria-prima por

conta da gigantesca escala de produção. Porém outras matérias-primas têm potencial de ganhar participação, como o óleo de palma (dendê) e o sebo bovino, resíduo do abate, cuja oferta é abundante por conta do também enorme rebanho brasileiro, um dos maiores do mundo. Isto serviria para minimizar a forte dependência da soja e das flutuações associadas ao seu mercado internacional.

No aspecto social, através da criação do Selo Biocombustível Social, o PNPB instituiu desonerações fiscais aos produtores que adquirem matérias-primas da agricultura familiar e fornecem assistência técnica gratuita, fomentando a inclusão social, a geração de trabalho e renda no campo e o desenvolvimento regional, uma vez que a maioria das usinas de biodiesel está localizada no interior do País. No entanto, mesmo com a criação do Selo Social, o PNPB não atingiu plenamente as metas sociais conforme originalmente almejadas.

Apesar do PNPB ter inovado ao integrar a produção agrícola familiar com a produção de biocombustível, a maior parte das famílias fornecedoras de matérias-primas está na Região Sul e não nas Regiões Nordeste e Norte, que eram as que deveriam ter sido priorizadas na concepção do PNPB. As principais matérias-primas utilizadas na produção deveriam ser a mamona na Região Nordeste e o óleo de palma (dendê), na Região Norte, que promoveriam o desenvolvimento agrícola e regional. Passados dezoito anos da criação do PNPB este objetivo não foi plenamente cumprido, sobretudo no Nordeste, cuja produção de mamona não é mais utilizada na produção de biodiesel. Por conta de sua elevada viscosidade, o óleo de mamona deve ser misturado a outros óleos na produção de biodiesel, além de ser mais valorizado quando vendido para as indústrias química e farmacêutica. O uso do óleo de palma, apesar de não atingir as metas iniciais do programa, possui potencial de crescimento, caso haja a expansão das áreas cultivadas no Norte e Nordeste.

Em relação ao meio ambiente, o biodiesel tem origem orgânica, é renovável, não contém enxofre e emite menos material particulado, melhorando a qualidade do ar das cidades. Emite também cerca de 70% menos GEE em comparação ao diesel fóssil, minimizando o aquecimento global, contribuindo para a descarbonização do setor de transporte e para que o Brasil cumpra sua NDC. Além disso, quando as matérias-primas são as gorduras animais ou óleos de fritura, evita-se o descarte desses resíduos, feito muitas vezes de forma

inadequada.

Além dos biocombustíveis, a eletrificação dos veículos leves e pesados, também é importante para a redução das emissões de GEE do setor de transporte. No entanto, o veículo elétrico nos países em desenvolvimento não está sendo disseminado no mesmo ritmo que nos países desenvolvidos. É provável que o tempo de transição e a convivência entre veículos a combustão e elétricos seja maior nos países emergentes, ainda mais no caso brasileiro, que desenvolveu com sucesso os dois programas de substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis e é um dos maiores produtores de etanol e biodiesel do mundo. Vale citar ainda, o *RenovaBio* (2017), que é uma política de Estado, com o objetivo de promover a produção e o uso de biocombustíveis, com metas anuais de redução de emissões, contribuindo para a descarbonização da matriz de transporte.

Algumas medidas recentes podem resultar no aprimoramento da questão social do PNPB, como o aumento do percentual mínimo de aquisição de matérias-primas da agricultura familiar pelas usinas de biodiesel para concessão e manutenção do Selo Biocombustível Social. Em 2023 foi estabelecido que o valor das aquisições com o Selo Social para as Regiões Norte, Nordeste e Semiárido somem no mínimo 10% em 2024, 15% em 2025 e 20% em 2026, o que tende a elevar a participação dessas regiões na produção. Vale citar ainda que nos arranjos do Selo Biocombustível Social as usinas, além de prestarem assistência técnica e extensão rural aos produtores, podem adquirir outras matérias-primas para compor o percentual mínimo de compras da agricultura familiar, além daquelas utilizadas na produção de biodiesel.

De maneira geral, o programa tem mais pontos positivos do que negativos, embora possa ser aperfeiçoado. O PNPB alcançou melhor resultado no âmbito ambiental, com seus benefícios relacionados à poluição do ar e à questão climática global, e na substituição de importação do diesel fóssil. A redução dos custos de produção, a diversificação das matérias-primas e a desconcentração regional da produção, devem ser preocupações da gestão do programa, mas não invalidam o sucesso do PNPB. Em uma avaliação econômica mais ampla, que contemple não só os custos de produção, mas também os benefícios ambientais, sociais e econômicos do biodiesel, e as externalidades ambientais negativas do diesel fóssil,

talvez o saldo seja favorável ao biodiesel.

O Brasil poderia capitalizar sua experiência bem-sucedida na produção de biodiesel, além do etanol, junto a países com potencial de produção de biocombustíveis, especialmente à medida que a matriz de transporte mundial tem de se tornar “net-zero” por conta da questão climática. Desse modo, o País poderia expandir a sua exportação de biocombustíveis, além de exportar equipamentos e serviços industriais, conquistando benefícios econômicos e um maior protagonismo nas relações internacionais com os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A despeito da tendência de eletrificação do transporte mundial, o uso de biocombustíveis deve continuar prioritário especialmente se, no longo prazo, os custos de aquisição, manutenção e abastecimento dos veículos a combustão ou híbridos se mantiverem competitivos em comparação aos veículos 100% elétricos. Vale citar a dificuldade de eletrificar caminhões pesados (Carretas), que percorrem longas distâncias, pois o peso das baterias reduziria sua capacidade de carga, além de demandar milhares de pontos de recarga nas rodovias. No Brasil, as perspectivas dos biocombustíveis são otimistas e já se considera ampliar a adição de biodiesel para 20% e de etanol para 30%. No futuro, com a necessária redução do consumo de combustíveis fósseis, os biocombustíveis (inclusive os de segunda geração), em conjunto com a eletrificação e a renovação da frota são uma alternativa viável para a redução das emissões de GEE dos transportes e para a transição energética para uma economia de baixo carbono.

9.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP nº 9, de 01 de abril de 2009. Estabelece que o álcool etílico combustível também poderá ser chamado, para efeito de regulamentação da ANP, de etanol combustível.** Publicado no DOU em 02 abr. 2009. Brasília, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP Nº 758, de 23 de novembro de 2018. Regulamenta a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis de que trata o art. 18 da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e o credenciamento de firmas inspetoras.** Publicado no DOU em 27 nov. 2018. Brasília, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP Nº 791, de 12 de junho de 2019. Dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).** Publicado no DOU em 14 jun. 2019. Brasília, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP Nº 857, de 28 de outubro de 2021. Dispõe sobre as regras de comercialização de biodiesel para atendimento da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final, estabelecido na Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014.** Publicado no DOU em 29 out. 2021. Brasília, 2021a.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Síntese mensal de comercialização de combustíveis.** Brasil, dez. 2021b.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2022.** Brasil, 2022a.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Dados Estatísticos.** Brasil. Acesso em nov. 2022b.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Biometano.** Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Brasil, 2022c. Acesso em: 30 mar. 2023

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP Nº 920, de 04 de abril de 2021. Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional.** Publicado no DOU em 05 abr. 2023. Brasília, 2023.

AMARAL, Daniel Furlan. **Desmistificando o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. A visão da indústria brasileira de óleos vegetais.** ABIOVE-São Paulo, 2009.

AMARAL, D. F., De SOUZA Ferreira Filho, J. B., CHAGAS, A. L. S., & ADAMI, M.. **Expansion of soybean farming into deforested areas in the amazon biome: the role and impact of the soy moratorium.** Sustainability Science, 1-18, 2021.

ANDRADE, Ednilton Tavares de; CARVALHO, Sergio Roberto Garcia de; SOUZA, Lucas Fernandes. **Programa do Proálccol e o etanol no Brasil.** ENGEVISTA, V. 11, n. 2. p. 127-136, dezembro 2009.

ARTAXO, P. **Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? Revista USP, [S. l.], n. 103, p. 13-24, 2014.** DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p13-24. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99279>. Acesso em: 2 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Estratégia de agregação de valor na cadeia produtiva da soja.** Apresentação feita pelo economista-chefe, Daniel Furlan Amaral, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no dia 15 de maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Brasil - Complexo Soja. Balanço de oferta/demanda (1.000 t). Ano civil (janeiro-dezembro).** Atualizado em 04/10/2022. Acesso em: 28 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Em ano de recordes, veículos plug-in avançam.** Disponível em: <http://www.abve.org.br/em-ano-de-records-veiculos-plug-in-ganham-mercado/#>. Acesso em: 08 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (NTU). **A revolução do HVO.** Revista NTUrbano. Disponível em: www.ntu.org.br. Ed. 42 nov/dez 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Estudo ANFAVEA-BCG aponta cenários e desafios do Brasil no caminho da descarbonização do setor automotivo.** São Paulo, 2021a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. São Paulo, 2021b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023**. São Paulo, 2023.

AUDIÊNCIA PÚBLICA. COMISSÃO MISTA PARLAMENTAR SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Ajustes e revisão das metas brasileiras para o Acordo de Paris. Observatório do clima**. Carlos Rittl, out. 2016.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **BNDES Finame BK Aquisição e Comercialização**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-bk-aquisicao-comercializacao>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Moderfrota**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/moderfrota>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo et al.. **Quanto custa produzir biodiesel?** Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea). ESALQ/USP. Piracicaba, 2006a.

BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo et al.. **Custos de produção de biodiesel no Brasil**. Revista de Política Agrícola, v. 15, n. 3, p. 36-50, 2006b.

BIODIESELBR. **Proálcool - Programa Brasileiro de Álcool**, 29 jan. 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/proalcool/programa-etanol>. Acesso em: 07 ago. 2022.

BIODIESELBR. **História da mamona**, 31 jan. 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/historia-mamona>. Acesso em: 22 set. 2022.

BIODIESELBR. **As palmeiras nativas do Brasil e a produção de óleo**, 08 mar. 2012. Juliana Tavares. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/revista/027/minha-terra-tem-palmeiras>. Acesso em: 15 ago. 2022.

BIODIESELBR. **Brasil**, 01 abr. 2014. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/oleos-vegetais-biodiesel-brasil#:~:text=Em%201983%2C%20o%20governo%20federal%2C%20motivado%20pela%20alta,vegetais%2C%20e%20fabricantes%20de%20pe%>

C3%A7as%2C%20lubrificantes%20e%20combust%C3%ADveis. Acesso em: 10 ago. 2022.

BIODIESELBR. Indonésia inicia testes para validação do B40, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/indonesia/indonesia-inicia-testes-para-validacao-do-b40-270722#:~:text=Atualmente%2C%20o%20pa%C3%ADs%20mistura%2030%25%20%28B30%29%20de%20biodiesel,10%2C1%20milh%C3%B5es%20de%20m%C2%B3%20de%20biodiesel%20este%20ano.> Acesso em: 17 mar. 2023.

BIODIESELBR. Argentina prorroga uso de mistura maior de biodiesel, 26 ago. 2022. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/argentina/argentina-prorroga-uso-de-mistura-maior-de-biodiesel-260822#:~:text=Argentina%20prorroga%20uso%20de%20mistura%20maior%20de%20biodiesel,elevado%20em%20junho%20a%20mistura%20anterior%20de%205%25.> Acesso em: 17 mar. 2023.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é - o que não é. 5ª edição revista e ampliada** - Petrópolis, RJ: Vozes, 2016.

B3 (BOLSA DE VALORES). Crédito de descarbonização (CBIO). Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/outros-servicos/servicos-de-natureza-informacional/credito-de-descarbonizacao-cbio/. Acesso em: 07 jan. 2023.

BORSCHIVER, Suzana; TAVARES, Aline Souza. **Catalisando a economia circular: conceitos, modelos de negócios e sua aplicação em setores da economia**. UFRJ, 2022.

BRASIL. **Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa Nacional do Alcool e dá outras Providências**. Diário Oficial da União - Seção 1 - 14/11/1975, Página 15257. Brasília, 14 de novembro de 1975. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 05 ago. 2022

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 31/08/1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 20 jul. 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Art.225. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 05 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 08 jul. 2022.

BRASIL. **Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências.** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 28/10/1993. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8723.htm. Acesso em: 15 jul. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 06 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.** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 06/08/1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478.htm. Acesso em: 02 ago. 2022.

BRASIL. **DECRETO Nº 5.297 DE 6 DE DEZEMBRO DE 2004. Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas, e dá outras providências.** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 06/12/2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5297.htm. Acesso em: 18 jul. 2022.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 13/01/2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em: 25 mai. 2022.

BRASIL, 2016. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais.** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 24/07/2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm. Acesso em: 08 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis; e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 16/09/2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm. Acesso em: 07 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 24/09/2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm. Acesso em: 15 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 23/03/2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm. Acesso em: 05 ago. 2022

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Presidência da República, Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 26/12/2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm. Acesso em: 04 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 13.755 de 10 de dezembro de 2018. Estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil; institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística. Presidência da República. Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 10/12/2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13755.htm. Acesso em: 20 jul. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.527, de 22 de outubro 2020. Institui o Selo Biocombustível Social e dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o Programa de Integração Social e para o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público e da Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Presidência da República, Secretaria- Geral, Subchefia para Assuntos

Jurídicos. Brasília, 22/10/2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10527.htm Acesso em: 18 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.248, de 25 de novembro de 2021. Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Presidência da República. Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 25/11/2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14248.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2014.248%2C%20DE%2025%20DE%20NOVEMBRO%20DE,Nacional%20decreta%20e%20eu%20sanciono%20a%20seguinte%20Lei%3A. Acesso em: 30 ago. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.940, de 13 de janeiro de 2022. Altera o Decreto nº 3.520, de 21 de junho de 2000, que dispõe sobre a estrutura e o funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE. Presidência da República, Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 13/01/2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10940.htm. Acesso em: 20 jul. 2022.

BRUMATTI, Gabriela. MME prevê mais 1,6 mi CBios com B12; consultorias trabalham com números menores. Agência Estado, 29 mar. 2023. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/mme-preve-mais-1-6-mi-cbios-b12-consultorias-trabalham-numeros-menores-290323>. Acesso em: 02 abr. 2023.

CARVALHO, René de. **A dimensão regional do PNPB**, versão preliminar, dez. 2004.

CASTRO, César Nunes de. **O programa nacional de produção e uso do biodiesel (PNPB) e a produção de matéria-prima de óleo vegetal no Norte e no Nordeste.** Texto para discussão número 1613. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Rio de Janeiro, maio, 2011.

CATOLICO, A. C.; OLIVEIRA, R.; CRIVELARE, L.; OLIVEIRA, A. de. **Análise de sustentabilidade do etanol 2G e bioenergia da cana.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S. l.], v. 11, n. 9, 2015. DOI: 10.17271/1980082711920151174. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1174. Acesso em: 14 ago. 2022.

CAVALETT, Otávio. **Análise do ciclo de vida da soja.** Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP), 2008.

CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS - COPPE/UFRJ. **Transição energética no**

Basil: um cenário compatível com o Acordo de Paris para o setor de transportes até 2050. Março, 2020.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). **Eletrificação de veículos e o futuro do etanol combustível no Brasil.** Dezembro de 2018.

CHECHETTO, Rodolfo Glauber; SIQUEIRA, Rubens; GAMERO, Carlos Antonio. **Energy balance for biodiesel production by the castor bean crop** (*Ricinus communis* L.). Revista Ciência Agronômica, p. 546-553, 2010.

COELHO, Suani Teixeira et al. **Uso de óleo de palma “in natura” como combustível em comunidades isoladas da Amazônia.** In: III Workshop Brasil-Japão em energia, meio ambiente e desenvolvimento sustentável. 2005

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. **Resolução CNPE Nº 3, de 21 de setembro de 2015. Autoriza e define diretrizes para comercialização e uso voluntário de biodiesel.** Conselho Nacional de Política Energética. Publicado no DOU em 14/10/2015. Brasília, 2015.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. **Resolução Nº 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional.** Publicado no DOU em 08 nov. 2018. Brasília, 2018.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. **Resolução Nº 17, de 05 de outubro de 2021. Define as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis.** Publicado no DOU em 08 nov. 2021. Brasília, 2021.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. **Resolução Nº 3, de 20 de março de 2023. Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências.** Publicado no DOU em 29 mar. 2023. Brasília, 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores - PROCONVE.** Publicada no DOU, de 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795. Brasília, 1986.

CORRÊA, S. M. **Impacto do biodiesel na qualidade do ar da cidade do Rio de Janeiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre, 2005.

CORREIA, Eduardo Luiz. **Proálcool - do sucesso à polêmica**. Revista Agroanalysis, p.12-16. São Paulo, 1996.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. **The Anthropocene**. Global Change Newsletter 2000, 41, 17.

CRUTZEN, P. J. **Geology of Mankind**, in Nature, 415, 23, 2002.

DALL'AGNOLL, Amélio. **Porque fazemos biodiesel de soja**. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja>. 14 dez.2007. Acesso em: 20 out. 2022.

DE LARA, Daniela Mueller; RICHTER, Marc François. **Hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro**. Novos Cadernos NAEA, v. 26, n. 1, 2023.

DELTA CO2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL. **Pegada de carbono na produção de biodiesel de soja**. Piracicaba, 2013.

DENTON, Tom. **Veículos elétricos e híbridos**. Ed. Blucher. São Paulo, 2018

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **A soja no Brasil: história e estatística**. Londrina, Paraná, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Informação Tecnológica. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011, 2ª edição revisada**. Brasília, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Agroenergia. **Embrapa lança projeto Propalma para estudar palmeiras oleíferas**. Abril, 2011a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Agroenergia. **Dendê: importante matéria-prima para a produção do biodiesel**. Daniela Collares, Embrapa Agroenergia. Agroenergia em Revista. Edição 2, maio, 2011b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Agroenergia. **Embrapa investe em pesquisas com palmeiras nativas**. Março, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Embrapa Agroenergia. A multiplicação do tucumã.** Julho, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Amazônia Oriental. **Azeite de tucumã: possibilidade funcional na culinária.** Abril, 2014a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Agroenergia. **Inajá - de praga para uma alternativa energética.** Maio, 2014b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Agroenergia. **Embrapa busca viabilizar o cultivo da macaúba em sistemas sustentáveis.** Outubro, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Territorial. **Síntese ocupação e uso das terras no Brasil,** 2021.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Embrapa Amazônia Oriental. **Dendê em sistemas agroflorestais é produtivo e gera serviços ambientais.** Março, 2021.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural.** Campinas, 2021. Disponível em: www.embrapa.br/car. Acesso em: 2 dez. 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2016.** Rio de Janeiro, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica EPE 019/2018. Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano.** Rio de Janeiro, 2018a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2017.** Rio de Janeiro, 2018b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Informe técnico. Competitividade do gás natural: Estudo de caso na indústria de metanol.** Rio de Janeiro, 2019a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2018.** Rio de Janeiro, 2019b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo diesel. Nota técnica.** Rio de Janeiro, mar. 2020a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2019.** Rio de Janeiro, 2020b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética. Brasil, 2021.** Relatório de indicadores. Rio de Janeiro, 2021a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica. Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2020.** Rio de Janeiro, 2021b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Estudos do plano decenal de expansão de energia 2031. Oferta de biocombustíveis.** Superintendência de derivados de petróleo e biocombustíveis. Rio de Janeiro, out. 2021c.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica. Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo.** Rio de Janeiro, 2021d.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2022. Relatório Síntese 2022. Ano base 2021.** Rio de Janeiro, 2022a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica. Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2021.** Rio de Janeiro, 2022b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Mandatos de misturas de biocombustíveis no mundo.** Rio de Janeiro, 2022c.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Investimentos e Custos Operacionais e de Manutenção no Setor de Biocombustíveis: 2023 - 2032.** Rio de Janeiro, 2022d.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Oferta de Biocombustíveis.** Dezembro de 2022. Rio de Janeiro, 2022e.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética. Brasil, 2022.** Relatório de indicadores. Rio de Janeiro, 2022f.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 12 mar. 2023. Rio de Janeiro, 2023a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica. Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2022.** Rio de Janeiro, 2023b.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica.** Rio de Janeiro-RJ, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2008.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report.** EPA420-P-02001, (2002).

FERREIRA, Marcelo Dias Paes; DANIEL, Lindomar Pegorini; LIMA, João Eustáquio de. **O Programa Brasileiro de Biodiesel e o Risco Associado ao Preço da Mamona em Irecê, Bahia.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 53, p. 667-682, 2015.

GIBBS, H. K., RAUSCH, L., MUNGER, J., SCHELLY, I., MORTON, D. C., Noojipady, P.. **A moratória da soja no Brasil,** 2015.

GOULART, Daniel. **O custo do selo social para uma usina de biodiesel,** 19 jan. 2018. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/agricultura/selo/custo-selo-social-usina-biodiesel-190118>. Acesso em: 20 nov. 2022.

HOLANDA, Ariosto. **Biodiesel e inclusão social.** Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004.

HOBBSAWM, Eric J. **A Era das Revoluções (1789-1848).** Editora Paz e Terra, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017. Resultados definitivos.** Disponível em: IBGE, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal 2021.** IBGE, 2022a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal 2021.** IBGE, 2022b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas Nacionais Trimestrais 2022.** IBGE, 2022c.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas do Cadastro Central de Empresas 2021.** IBGE, 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Quais são as principais fontes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas?** Disponível em: <https://ipam.org.br/entenda/quais-sao-as-principais-fontes-de-gases-de-efeito-estufa-decorrentes-das-atividades-humanas-2/#:~:text=No%20caso%20das%20florestas%2C%20as%20quais%20representam%20um,para%20a%20atmosfera%20na%20forma%20de%20CO%20>. Acesso em: 30 dez. 2022.

IPEADATA. **Preço médio no atacado: óleo de soja bruto (tonelada - Paraná)**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 19 abr. 2023

IRENA. **Renewable Energy Employment by Country**. International Renewable Energy Agency, 2021. Disponível em www.irena.org. Acesso em: 04 set. 2022.

JUNIOR, Marcio Alvarenga; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. **Produção de biodiesel no Brasil, inclusão social e ganhos ambientais**.

IV Encontro Latinoamericano de Economia da Energia (ELAEE). Montevideo, Uruguay, abr. 2013.

KAPILAKARN, Kulchanat; PEUGTONG, Ampol. **A comparison of costs of biodiesel production from transesterification**. International Energy Journal, v. 8, n. 1, 2007.

KATO, Osvaldo Ryohei et al. **Projeto Dendê em sistemas agroflorestais na agricultura familiar**. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. Anais... Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011., 2011.

KNOTHE, Gerhard; KRAHL, Jürgen; VAN GERPEN, Jon (Ed.). **The biodiesel handbook**. Elsevier, 2015.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira; LEAL, Manoel Régis L. V. **O biocombustível no Brasil**. Revista Novos Estudos. Edição 78. Cebrap. São Paulo, jul. 2007.

LEITE, Vanessa Carneiro. **Pro-Álcool e Pró-Óleo**. S.D. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/makemx/pr-lcool-eprleo>> Acesso em: 17 ago. 2022.

MADUREIRA, Jane Marchi; GUERRA, Sinclair Mallet Guy. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: divergências sobre os resultados sociais da política de biocombustíveis**. Revista de Políticas Públicas, São Luís, v.18, n.2, p.659-670, jul./dez. 2014.

MARCHETTO, Bruno Queiroz. **A crise de Bretton Woods e a metamorfose do poder norte-americano: o início da transição da ordem internacional do pós-guerra**. Orientador: Eduardo Barros Mariutti. 2013. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, área de concentração: História Econômica. Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 131. 2013.

MARGULIS, S. **Meio Ambiente - Aspectos Técnicos e Econômicos**. IPEA, Brasília, 1990.

MARGULIS, Sergio. **Mudanças do clima. Tudo que você queria e não queria saber**. Fundação Konrad Adenauer. Rio de Janeiro, 2020.

MAROUN, Christianne; SCHAEFFER, Roberto. **Emulating new policy goals into past successes: Greenhouse gas emissions mitigation as a side effect of biofuels programmes in Brazil**. *Climate and development*. V. 1, p. 1-16, 2012.

MATTEI, Lauro Francisco. **Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios**. UFSC-Economia, 2008.

MEADOWS Donella, MEADOWS Dennis, RANDERS Jørgen, BEHRENS William W.III, **The limits to growth**. A Potomac Associates Book, 1972.

MENDES, André Pompeo do Amaral; COSTA, Ricardo Cunha da. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras**. BNDES Setorial, p. 253-280. 2010.

MICHELLON, Ednaldo; SANTOS, Ana Aracelly Lima; RODRIGUES, Juliano Ricardo Alves. **Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil**. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Benefícios Ambientais da Produção e do Uso do Biodiesel**. Brasília, DF, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria MAPA nº144, de 22 de julho de 2019. **Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União. Brasília, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. **Selo Biocombustível Social Safra 2019/2020**. Brasília, 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. **Selo Biocombustível Social Safra 2020/2021**. Brasília, 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura->

familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb. Acesso em: 15 mar. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Selo Biocombustível Social promove a inclusão e capacitação técnica de agricultores familiares.** Disponível em: <https://tinyurl.com/4bzumkyp>. Acesso em: 12 abr. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. **PORTARIA SAF/MAPA Nº 280, DE 27 DE MAIO DE 2022. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social.** Brasília, 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Nota explicativa sobre a proposta de criação da Política Nacional de Biocombustíveis.** Brasília, DF, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Alexandre Silveira anuncia proposta para aumentar teor de etanol na gasolina para 30%.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/alexandre-silveira-anuncia-proposta-para-aumentar-teor-de-etanol-na-gasolina-para-30>. Acesso em: 07 maio de 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **REDD+ e a NDC do Brasil.** Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/pt/redd-e-a-indc-brasileira>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MORATÓRIA DA SOJA. **Monitoramento da soja por imagens de satélites no bioma Amazônia. Safra 2020/2021.** ABIOVE, INPE, Agrosatélite. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://abiove.org.br/relatorios/moratoria-da-soja-relatorio-14o-ano/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

MOREIRA, João Carlos; SENE, Eustáquio de. **Geografia Geral e do Brasil - Espaços Geográficos e Globalização.** Editora Scipione. São Paulo, 2010.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, 1997.

NASA Earth Observatory. **Climate and Earth's Energy Budget.** 2009. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>. Acesso em: 07 jan. 2023.

NASA Earth Observatory. **2020 tied for warmest year on record.** Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147794/2020-tied-for-warmest-year-on-record>. Acesso em: 29 jan. 2023.

NEOCHARGE. **Conheça os tipos de carros elétricos.** Disponível em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#eletrico_a_hidrogenio. Acesso em: 02 maio 2023.

NOGUEIRA, Antônio Sebastião Lopes et al.. **Etanol e metanol: vantagens e desvantagens quanto ao uso na produção de biodiesel no Brasil.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, 2018.

NOVACANA. **História da legislação sobre o etanol.** Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/historia-legislacao>. [S.D.]. Acesso em: 05 ago. 2022.

NOVACANA. **Raízen investirá R\$ 2 bilhões em duas novas plantas de etanol 2G.** Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/investimento/raizen-investira-r-2-bilhoes-duas-novas-plantas-etanol-2g-120522>. 12 de maio, 2022. Acesso em: 05 ago. 2022.

NOVAIS, Stéfano Araújo. **Gases do efeito estufa;** Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/gases-efeito-estufa.htm>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

ÓLEO SUSTENTÁVEL. **Programa de coleta de óleo de cozinha.** Disponível em: <https://www.oleosustentavel.org.br/o-programa>. Acesso em: 05 mar. 2023.

OLIVEIRA, Roberto Guena de. **Economia do Meio Ambiente.** IN: PINHO, Diva Benevides, Vasconcellos, Marco Antônio Sandoval de, (Organizadores). Manual de Economia. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo: ed. Saraiva, 2001.

OLIVEIRA, Thiago et al. **Um estudo de matérias primas para a fabricação de biodiesel.** Revista Educação, Gestão e Sociedade: revista da Faculdade Eça de Queirós, ISSN, p. 2179-9636, 2017.

ONG REPÓRTER BRASIL. **O Brasil dos Agrocombustíveis: Impactos das Lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade - Soja e Mamona.** 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 05 jul. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Conferências de meio ambiente e desenvolvimento sustentável: um miniguia da ONU.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/76532-conferencias-de-meio-ambiente-e-desenvolvimento-sustentavel-um-miniguia-da-onu>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e o Meio Ambiente.** 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em 20 ago. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Our Common Future.** Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations, 1987.

PARENTE, Expedito José de Sá. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado.** Fortaleza: tecbio, v. 68, 2003.

PEDROTI, Paula Maciel. **Os desafios do desenvolvimento e da inclusão social: o caso do arranjo político-institucional do programa nacional de produção e uso do biodiesel.** Texto para discussão número 1858. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Rio de Janeiro, ago., 2013.

PETROBRÁS. **Óleo diesel Petrobrás.** Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/oleo-diesel/>. Acesso em: 21 jan. 2023.

PETROBRÁS. **Refinaria Abreu e Lima.** Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-abreu-e-lima.htm>. Acesso em: 29 out. 2022.

PINDYCK, Robert, S.; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia.** Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo, 1994.

PINTO JR., Helder Queiroz; ALMEIDA, Edmar Fagundes de; BOMTEMPO, José Vitor; IOOTTY, Mariana; BICALHO, Ronaldo Goulart. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial.** Elsevier. Rio de Janeiro, 2007.

PORTAL Biodiesel Logic. Disponível em: <http://www.biodiesellogic.com>. Acesso em: 26 set. 2022.

POUSA, Gabriella P. A. G., SANTOS, André L. F., SUAREZ, Paulo A. Z. **Histórico e Política do Biodiesel no Brasil.** Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, 2007.

PRADO JUNIOR, Caio. **História Econômica do Brasil.** 15^o Edição. Editora Brasiliense, 1972.

PROGRAMA Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), Governo Federal, 2004.

PROJETO DE LEI 5308/2020. **Dispõe sobre incentivos fiscais para operações com veículos automóveis elétricos ou híbridos.** Câmara dos Deputados, 2021.

PUTT, Fernando Ferrari; LUDWIG, Rafael; RAVAZI, Amanda Sanches. **Análise da viabilidade e rentabilidade do uso do babaçu para a produção de biodiesel.** VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 7, 2012, p. 127-142.

RAMALHO Filho, Antonio, et al. **"Zoneamento agroecológico do dendê nas áreas desmatadas da Amazônia Legal."** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BODIESEL, 2., 2008, Lavras, MG. Biodiesel: tecnologia limpa. Anais completos. Lavras, MG: UFLA, 2008., 2008.

RATHMANN, Régis; SZKLO, Alexandre.; SCHAEFFER, Roberto. **Targets and results of the Brazilian Biodiesel Incentive Program - Has it reached the Promised Land?** Applied Energy, v. 97, p. 91-100, 2012.

RATHMANN, Régis; SZKLO, Alexandre; SCHAEFFER, Roberto. **Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate.** Renewable Energy, v. 35, p. 14-22, 2010.

REIS, Heytor Fabrício Arantes Frauches, LIMA, Luis Paulo de, PEREZ, Ronaldo. **Palma no Brasil - viabilidade da produção de óleo ou biodiesel?** Revista de política agrícola, ano XXVI, no 2, Abr./ Maio/Jun. 2017.

REN21. **Renewable 2022 Global Status Report.** Rede de Políticas de Energias Renováveis para o século 21, Paris. Disponível em <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 19 ago. 2022.

RITTLL, Carlos. **Ajustes e revisões das metas brasileiras para o Acordo de Paris.** Observatório do clima, Audiência Pública. Comissão Mista Parlamentar sobre Mudanças Climáticas. Outubro, 2016.

RUDORFF, Bernardo; RISSO, Joel; ABIOVE. **Análise Geoespacial da Soja, Bioma Cerrado,** 2020.

SALLET, Cíntia Letícia; ALVIM, Augusto Mussi. **Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil.** Economia & tecnologia (UFPR), 2011.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) e Observatório do Clima (2021). **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil - 1970-2020**. 2001

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) e Observatório do Clima. Disponível: <http://seeg.eco.br>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SODRÉ, Eduardo. **Novo carro popular vai custar entre R\$ 50 mil e R\$ 60 mil e deverá consumir somente etanol**. Folha de São Paulo. São Paulo, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/eduardosodre/2023/03/novo-carro-popular-vai-custar-entre-r-50-mil-e-r-60-mil-e-devera-consumir-somente-etanol.shtml>. Acesso em: 07 maio 2023

SOUZA, Luciana Cordeiro de. **O Meio Ambiente na Constituição Federal**. Revista da Faculdade de Direito Padre Anchieta. Ano V, Nº 9, Novembro, 2004.

SOUZA, Andressa Duarte Vitória de. **O que é HVO? Por que é chamado de diesel verde?** Data: 07/05/2020. Disponível em <<https://profissaobiotec.com.br/hvo-chamado-diesel-verde/>>. Acesso em: 20 set. 2022.

STATISTA. **Historical carbon dioxide emissions from global fossil fuel combustion and industrial processes from 1758 to 2018 (in million metric tons)**. 2020. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/264699/worldwide-co2-emissions/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

TAVARES, Juliana. **As palmeiras nativas do Brasil e a produção de óleo**. Biodieselbr. 11/03/2012. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/revista/027/minha-terra-tem-palmeiras>. Acesso em: 26 jun. 2021.

TEIXEIRA, Claudio Vidal, COLAÇO, Marcelo José, CALDEIRA, Aldélio Bueno. **Viscosidade e desempenho de misturas diesel/biodiesel em um motor monocilíndrico**. 2013.

TEIXEIRA, Milena Carvalho; TAOUIL, Desiely Silva Gusmão. **Biodiesel: uma energia alternativa e verde**. Vértices, v. 12, n. 3, p. 17-40, 2010.

TORROBA, Agustín. **Atlas dos biocombustíveis líquidos**. Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura (IICA), 2021. São José, Costa Rica, 2021

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA). Disponível em: <https://unica.com.br/nova-era-da-mobilidade/>. Acesso em: 16 ago. 2022.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Nationally Determinated Contributions (NDC) Registry. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 11 fev. 2023.

URIBE, R. A. M.; ALBERCONI, C. H.; TAVERES, B. A. **Produção de Biodiesel a partir do sebo bovino: Viabilidade econômica e métodos de produção**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão–CNEG, Rio de Janeiro. 2014.

USDA. (2019a). **Biofuels Annual: Indonesia**. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Washington DC. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Jakarta_Indonesia_8-9-2019. Acesso em: 12 jun. 2021.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia - Princípios Básicos**. Editora Campus Ltda. Rio de Janeiro, 1994.

VASCONCELOS, Gabriel. **Petrobrás vai cancelar privatização da PBIO e voltará a apostar no setor de biocombustíveis**. O Estado de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/negocio/petrobras-vai-cancelar-privatizacao-da-pbio-e-voltara-a-apostar-no-setor-de-biocombustiveis-200123>. Acesso em: 28 jun. 2023

YOSHINAGA, F.; Santos, A. S; Moura, B. F. S; Bortoleto, G. G.. **Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras**. Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 73-91, jan./jun. 2020.

YOUNG, Carlos E. F.; LUSTOSA, Maria C. J.. **Meio Ambiente e Competitividade na Indústria Brasileira**. Instituto de Economia da UFRJ, Revista de Economia Contemporânea, 2010.

ZHANG, Y. et al. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment**. Bioresource Technology, v.89, n.1, p.1-16, 2003

Apêndice (questionário enviado para as associações de produtores de biodiesel)

Questionário do Projeto de Pesquisa do Mestrado Profissional em Ciência da Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), sob o título “**A contribuição do biodiesel para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) da matriz energética brasileira e para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**”.

Aluno: Fernando Abritta Figueiredo

Orientador: Sergio Margulis

Perguntas:

- 1) Segundo as regras do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), no mínimo 80% das compras realizadas pelas distribuidoras de combustíveis devem ser adquiridas de produtores que possuem o Selo Biocombustível Social. As usinas de biodiesel encontram dificuldade em atender às exigências para a concessão do Selo e conseqüentemente obter redução de impostos (PIS-Pasep, Cofins) e facilidade na comercialização do biodiesel?

Resposta: As usinas conseguem cumprir as regras para obter o Selo Biocombustível Social sem dificuldades, adquirindo as matérias-primas e prestando assistência técnica a mais de 70 mil famílias de agricultores. Quase todas as usinas já possuem o Selo Biocombustível Social e tem direito ao benefício fiscal do PIS-Pasep e Cofins, que são impostos federais. Porém, ainda existe a cobrança de ICMS (imposto estadual) do biodiesel.

- 2) A partir de 2022, o modelo de comercialização da produção de biodiesel foi alterado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Resolução ANP N° 857 de 28/10/2021). O modelo de leilões públicos foi substituído pela venda direta da usina ao distribuidor de combustíveis líquidos. Qual sua opinião sobre esta mudança da regra? Foi positiva ou negativa?

Resposta: Foi positiva, pois agora como a negociação é direta entre os produtores de biodiesel e as distribuidoras, estas podem escolher o seu fornecedor de biodiesel, considerando o prazo de entrega, preço e condições de pagamento, o volume e qualidade do biodiesel e o atendimento. No modelo de leilão público, havia um custo maior, pois a Petrobrás que atuava como intermediária entre os produtores de biodiesel e as distribuidoras e refinarias, era remunerada.

- 3) Em 2021, a adição obrigatória do biodiesel ao diesel recuou de 13% para 10%, em função do aumento dos custos de produção, provocado sobretudo pelo aumento do preço do óleo de soja, principal matéria-prima utilizada. Conforme regras estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (Resolução CNPE N° 16 de 29/10/2018) a meta era chegar a 15% em 2023 e foi adiada para 2026 (Resolução CNPE N° 03 de 20/03/2023). Para cumprir esta exigência foram feitos investimentos pelas usinas produtoras de biodiesel, que atualmente estão operando com capacidade ociosa. Quais são as dificuldades no planejamento da produção que estas mudanças causam?

Resposta: Os investimentos foram feitos considerando o aumento inicialmente previsto do teor de biodiesel no diesel para 15% em 2023. Então a indústria de biodiesel está preparada para atender o aumento da demanda, de acordo com a nova Resolução do CNPE, que elevou o teor de biodiesel para 12% em abril de 2023, com acréscimos de 1% a cada ano até alcançar 15% em 2026. Devido a mudanças recentes na especificação técnica do biodiesel (Resolução ANP N° 920, de 04/04/2023), as usinas terão que arcar com custos para melhorar a qualidade do biodiesel, que reduzirão a capacidade produtiva em torno de 15%. Então, a mudança para a adição de 12% (B12) a partir de abril de 2023 e não diretamente para o B15, dará tempo para as usinas se adequarem a nova norma técnica. O setor acredita que poderá ocorrer a antecipação da mistura do B15 para antes de 2026, caso o preço do biodiesel, determinado pelo preço do óleo de soja, não se eleve muito, uma vez que a matéria-prima representa em torno de 80% do custo total de produção e impacta no preço final do diesel B (óleo diesel adicionado com biodiesel). O preço do diesel, por refletir diretamente no aumento da inflação é uma questão política e que gera muito debate, então o governo vai observar a

questão do aumento dos custos de produção do biodiesel antes de propor uma antecipação de maiores teores do biodiesel.

- 4) A soja é a principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil, com cerca de 70% do total produzido. Existe alguma perspectiva desta participação ser reduzida e outros insumos ganharem participação? Quais outras matérias-primas são mais promissoras em substituir (mesmo que parcialmente) a soja? Por exemplo, sebo bovino, óleo de dendê, óleo de algodão, materiais graxos, resíduos de fritura, etc.?

Resposta: O setor acredita que a soja continuará sendo a matéria-prima mais importante pela sua escala e produtividade e que ainda poderá ter sua participação ampliada para algo em torno de 80% a 85%. Entre as demais matérias-primas o óleo de dendê (palma) é a que tem maior potencial de expansão, caso seja resolvida a questão fundiária no Pará, maior produtor nacional. As outras matérias-primas continuarão com pouca relevância, com destaque para o sebo bovino e os materiais graxos, que são misturas de vários tipos de óleos e gorduras animais.

- 5) O PNPB teve sua concepção baseada no tripé econômico (redução das importações de óleo diesel), ambiental (redução das emissões de gases do efeito estufa) e social (incentivo fiscal à produção agrícola familiar). Como você avalia a contribuição do PNPB para o alcance desses objetivos?

Resposta: O programa atingiu seus objetivos, tendo em vista que mais de 70 mil famílias da agricultura familiar participam fornecendo matérias-primas e o setor consegue atender o aumento da demanda que ocorrerá com a adição de 15% do biodiesel ao diesel em 2026. Além disso, o biodiesel reduz a emissão de materiais particulados e monóxido de carbono, e outros GEE, diminuindo a poluição nas cidades.

- 6) Considerando a regulação, legislação e cronograma do aumento do percentual de adição do biodiesel ao diesel de petróleo e a formulação de políticas públicas direcionadas ao setor do biodiesel, quais mudanças e/ou sugestões você sugere no PNPB?

Resposta: Talvez antecipar a mistura de biodiesel ao diesel para antes do previsto no cronograma (abril de 2026), e até mesmo chegar a 20% de adição.

- 7) Montadoras de veículos já anunciaram o fim ou a redução drástica da produção de veículos a combustão até o final da próxima década. No Brasil, porém, projeções indicam que o ritmo de eletrificação será mais lento do que nos países desenvolvidos. Além disso, o transporte rodoviário de cargas pesadas de longa distância é de difícil eletrificação. Em sua opinião, qual o futuro do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e da própria produção de biodiesel no Brasil, diante da perspectiva de crescimento das vendas de caminhões e ônibus elétricos e híbridos nos próximos anos?

Resposta: O setor faz distinção do uso de veículos pesados nas cidades e nas áreas rurais. Nas cidades a tendência é crescer os ônibus elétricos e pequenos caminhões de entrega de mercadorias. Já nas rodovias e nas áreas rurais, a tendência é os caminhões continuarem a usar diesel. O importante é melhorar a qualidade do diesel. O setor acredita que o uso do diesel S500, utilizado em caminhões fabricados até 2011, que tem 500 partículas de enxofre por milhão, será banido em breve. Outra medida importante é renovar a frota de caminhões. Os novos caminhões têm motores mais novos e eficientes, seguindo a norma do Proconve (Programa de Controle de Emissões Veiculares). Talvez o caminhão híbrido possa melhorar a eficiência do motor. Por exemplo, um caminhão faz poucos quilômetros com um litro de diesel, se puder aumentar sua autonomia com o auxílio de um motor elétrico, já será um ganho elevado de produtividade.

- 8) Pergunta adicional: Como o setor de biodiesel avalia o impacto da mudança climática no cultivo de soja no Brasil.

Resposta: A Associação acredita que o Brasil está avançado nas técnicas de cultivo e pesquisa da soja. A Embrapa é destaque em pesquisas de melhoramento genético de sementes de soja e saberá adaptar a soja para novas condições climáticas, como já foi feito na adaptação da soja a Região Centro-Oeste. O período de cultivo e colheita da safra também pode ser alterado para se adaptar às

novas condições de clima, como chuvas e insolação, ou o cultivo de soja pode se deslocar para outras áreas do País. Mas a mudança climática é preocupante e pode ser exemplificada pela Argentina, que já está sofrendo os impactos das mudanças climáticas na safra de soja, como secas severas, que causam estagnação ou redução da produção.