



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

DOUTORADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

FÁBIO MATOS FERNANDES

REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL:
FORMAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES
PARA SUPERAÇÃO DE GARGALOS E AVANÇO DA
INDÚSTRIA DO BIODIESEL NO BRASIL



SALVADOR
2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL (PEI)**

FÁBIO MATOS FERNANDES

**REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL:
FORMAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES PARA
SUPERAÇÃO DE GARGALOS E AVANÇO DA INDÚSTRIA
DO BIODIESEL NO BRASIL**

**SALVADOR
2024**

FÁBIO MATOS FERNANDES

**REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL:
FORMAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES PARA
SUPERAÇÃO DE GARGALOS E AVANÇO DA INDÚSTRIA
DO BIODIESEL NO BRASIL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica (PEI), da Universidade Federal da Bahia como requisito final para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof. Dr. Francisco Gaudêncio Mendonça Freires

Prof. Dr. Marcelo Santana Silva

SALVADOR

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Matos Fernandes, Fábio
REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL:
FORMAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES PARA SUPERAÇÃO
DE GARGALOS E AVANÇO DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL NO
BRASIL / Fábio Matos Fernandes, FABIO M FERNANDES,
FABIO M FERNANDES. -- Salvador, 2024.
284 f. : il

Orientador: Francisco Gaudêncio Mendonça Freires.
Coorientador: Marcelo Santana Silva.
Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em
Engenharia Industrial (PEI)) -- Universidade Federal
da Bahia, Escola Politécnica, 2024.

1. Biodiesel. 2. Rede Brasileira de Tecnologia de
Biodiesel (RBTB). 3. Gargalos Tecnológicos. 4. Análise
de Redes Sociais e Complexas. 5. Desenvolvimento
Tecnológico. I. M FERNANDES, FABIO. II. M FERNANDES,
FABIO. I. Gaudêncio Mendonça Freires, Francisco. II.
Santana Silva, Marcelo. III. Título.

**REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL:
FORMAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES PARA
SUPERAÇÃO DE GARGALOS E AVANÇO DA INDÚSTRIA DO
BIODIESEL NO BRASIL**

FÁBIO MATOS FERNANDES

Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel: formação, estruturação e contribuições para superação de gargalos e avanço da indústria do biodiesel no Brasil, submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Francisco Gaudêncio Mendonça Freires

Doutor em Engenharia e Gestão Industrial, pela Universidade do Porto, Portugal, 2007

Documento assinado digitalmente

gov.br

MARCELO SANTANA SILVA

Data: 26/06/2024 09:32:11-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Santana Silva

Doutor em Energia e Ambiente, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2015

Documento assinado digitalmente

gov.br

SIMONI MARGARETI PLENTZ MENEGHETTI

Data: 10/06/2024 11:14:13-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Simoni Margareti Plentz Meneghetti

Doutora em Química e Físico Química de Materiais Macromoleculares, pela Université Louis Pasteur, França, 2000

Documento assinado digitalmente

gov.br

MARIA EMILIA CAMARGO

Data: 10/06/2024 13:48:39-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Maria Emilia Camargo

Doutora em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1992

Documento assinado digitalmente

gov.br

ANGELA MACHADO ROCHA

Data: 12/06/2024 13:27:38-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Ângela Machado Rocha

Doutora em Energia e Ambiente, pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), Brasil, 2013

Prof. Dr. Gustavo da Motta Silva

Doutor em Administração, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2012

Salvador, BA – BRASIL
Junho/2024

À Dra. Mirella Uzeda Jacques,
que com seu mantra "o vivido vive" me ajudou a
exorcizar demônios e outras assombrações acadêmicas",
permitindo que eu siga adiante para superar este e outros
desafios com mais sabedoria leveza.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese. Foram anos de dedicação, desafios e aprendizados, e nada disso seria possível sem o apoio e o incentivo de vocês.

Um agradecimento mais do que especial à minha esposa Cinara Vasconcelos da Silva. Seus conselhos, orientações complementares, palavras de incentivo e puxões de orelha foram a fórmula perfeita do biocombustível que me impulsionou a seguir em frente e concluir este trabalho.

Também não posso deixar de fazer um agradecimento especial à Milk (in memoriam), Maya, Moah e Jade, minhas beagles e meus aditivos utilizados para amenizar as longas horas que passei em frente ao computador.

A todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado neste percurso, meu mais sincero obrigado. Cada gesto de incentivo, cada palavra de ânimo e cada momento de cumplicidade foram essenciais para que eu alcançasse esta conquista.

“Uco, Uco UCO!”

Ronaldo Bruno Ramalho Leal

RESUMO

Desde a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira em 2005, mais de 50 bilhões de litros desse biocombustível foram produzidos e diferentes percentuais de misturas foram adotados, contribuindo para a descarbonização do modal rodoviário de cargas. Isso só foi possível devido a eliminação de inúmeros gargalos técnico-científicos, o que exigiu a dedicação e o empenho de inúmeros pesquisadores afiliados em centenas instituições de Ciência e Tecnologia brasileiras que fazem parte da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. Passados 20 anos de sua (re)criação, a RBTB tornou-se uma referência de como uma base científico-tecnológica pode ser estruturada para dar apoio e orientar um programa político-social. Assim, o objetivo da presente tese foi analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na superação de gargalos tecnológicos que prejudicam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil. Para respondê-lo, uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo com uso de uma abordagem qualitativa e quantitativa foi realizada, envolvendo as análises de redes sociais e de redes complexas aplicadas a uma amostra de 3.788 artigos científicos sobre biodiesel, publicados entre 2004 e 2023. A partir das análises de ARS foi possível identificar uma rede coesa e heterogênea, formada por 284 instituições e 1.962 relações de colaboração. A RBTB apresentou uma trajetória ascendente até 2018, com aumento expressivo das colaborações interinstitucionais. Uma queda no número de ICTs e autores ocorreu entre 2019 e 2023, em decorrência de vários fatores, sendo o principal deles, a pandemia de Covid-19. No total, 29 instituições responderam por 80% da produção científica na área, os maiores hubs foram a USP, Unicamp, Unesp, UFC, UFBA, UFRJ, UFMG, Embrapa, UFSC e UFPR. Já a rede de pesquisadores, revelou que 529 autores foram responsáveis por mais de 80% da produção. Desses, 23 autores das áreas de química e engenharia química se destacaram como os mais prolíficos, atuando em grupos de pesquisa sobre biodiesel. A análise dinâmica dessas redes indicou a formação de subcomunidades especializadas, demonstrando a maturidade e diversificação das pesquisas. As redes também apresentaram características estruturais de mundo pequeno e livre de escala, facilitando a troca de informações e conhecimentos, fomentando a colaboração interdisciplinar e institucional e aumentando a resiliência da rede. Já a análise de coocorrência de palavras-chave indicou um alinhamento significativo destas, com Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis, demonstrando que comunidade científica vem buscando soluções para acabar com os gargalos da indústria de biodiesel. A análise de patentes revelou que as principais áreas de depósito abrangeram produção de ésteres, processos de obtenção de combustíveis a partir de materiais orgânicos e tecnologias de separação e purificação. As universidades se destacaram como as principais depositantes, enquanto a participação de empresas privadas foi baixa, o que poderia dificultar a efetiva transferência de tecnologia para o setor produtivo do biodiesel. Ao comparar as redes de artigos e patentes, observou-se que USP, Unicamp, UFRJ, UFBA e UFMG se destacaram em ambas, demonstrando capacidade de combinar pesquisa fundamental e desenvolvimento tecnológico aplicado. Além disso, 42% dos inventores figuravam entre os principais autores de artigos científicos, apontando para uma conexão entre pesquisa e desenvolvimento. Os resultados apresentados indicam que a RBTB continua vibrante, com a formação de comunidades cada mais especializadas e que as pesquisas estão alinhadas com as prioridades nacionais para eliminar gargalos técnico-científicos enfrentados pela indústria do biodiesel no Brasil e ajudar na descarbonização do modal rodoviário. Os resultados alcançados ressaltam o papel central da RBTB no desenvolvimento tecnológico do biodiesel nos últimos 20 anos, respaldando a estratégia do MCTI de fortalecê-la e estimular ações de P&D, visto que o biodiesel continuará a ser o principal substituto do diesel fóssil no longo prazo, enquanto a indústria de hidrocarbonetos renováveis está em fase de implementação no país e, a eletrificação ou uso de hidrogênio em caminhões estão distantes da realidade atual.

Palavras-Chaves: Biodiesel; Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB); Gargalos Tecnológicos; Colaboração Científica; Desenvolvimento Tecnológico; Análise de Redes Sociais e Complexas; Inovação Tecnológica

ABSTRACT

Since the introduction of biodiesel in the Brazilian energy matrix in 2005, more than 50 billion liters of this biofuel have been produced, and different blending percentages have been adopted, contributing to the decarbonization of road freight transportation. This was only possible due to the elimination of numerous technical-scientific bottlenecks, which required the dedication and commitment of numerous researchers affiliated with hundreds of Brazilian Science and Technology institutions that are part of the Brazilian Biodiesel Technology Network (RBTB). After 20 years since its (re)creation, the RBTB has become a reference on how a scientific-technological base can be structured to support and guide a political-social program. Thus, the objective of this thesis was to analyze the formation, structuring, and the role of the RBTB's scientific collaboration networks in overcoming technological bottlenecks that hinder the competitiveness and sustainability of biodiesel in Brazil. To address this, an exploratory and descriptive research with a qualitative and quantitative approach was conducted, involving social network analysis and complex network analysis applied to a sample of 3,788 scientific articles on biodiesel, published between 2004 and 2023. The SNA analysis allowed identifying a cohesive and heterogeneous network, formed by 284 institutions and 1,962 collaboration relations. The RBTB showed an upward trajectory until 2018, with a significant increase in inter-institutional collaborations. A decrease in the number of S&T institutions and authors occurred between 2019 and 2023, due to several factors, the main one being the Covid-19 pandemic. In total, 29 institutions accounted for 80% of the scientific production in the area, with the largest hubs being USP, Unicamp, Unesp, UFC, UFBA, UFRJ, UFMG, Embrapa, UFSC, and UFPR. The researcher network revealed that 529 authors were responsible for more than 80% of the production. Of these, 23 authors from the fields of chemistry and chemical engineering stood out as the most prolific, working in biodiesel research groups. The dynamic analysis of these networks indicated the formation of specialized subcommunities, demonstrating the maturity and diversification of the research. The networks also exhibited small-world and scale-free structural characteristics, facilitating the exchange of information and knowledge, fostering interdisciplinary and institutional collaboration, and increasing the network's resilience. The keyword co-occurrence analysis indicated a significant alignment with the Science, Technology, and Innovation Plan for Renewable Energies and Biofuels, demonstrating that the scientific community has been seeking solutions to overcome the bottlenecks faced by the biodiesel industry. The patent analysis revealed that the main filing areas encompassed ester production, processes for obtaining fuels from organic materials, and separation and purification technologies. Universities stood out as the main filers, while the participation of private companies was low, which could hinder the effective transfer of technology to the biodiesel production sector. When comparing the article and patent networks, it was observed that USP, Unicamp, UFRJ, UFBA, and UFMG excelled in both, demonstrating the ability to combine fundamental research and applied technological development. Additionally, 42% of the inventors were among the top authors of scientific articles, pointing to a connection between research and development. The presented results indicate that the RBTB remains vibrant, with the formation of increasingly specialized communities, and that the research is aligned with national priorities to eliminate technical-scientific bottlenecks faced by the biodiesel industry in Brazil and aid in the decarbonization of road transportation. The results achieved highlight the central role played by the RBTB in the technological development of biodiesel over the past 20 years, supporting MCTI's strategy to strengthen it and stimulate R&D actions, since biodiesel will continue to be the main substitute for fossil diesel in the long term, while the renewable hydrocarbon industry is in the implementation phase in the country, and the electrification or use of hydrogen in trucks is still a distant reality.

Keywords: Biodiesel; Brazilian Biodiesel Technology Network (RBTB); Technological Bottlenecks; Scientific Collaboration; Technological Development; Social and Complex Network Analysis; Technological innovation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Esquema de produtos originados da destilação fracionada do petróleo bruto	33
Figura 2 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil.....	35
Figura 3 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil.....	36
Figura 4 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil.....	39
Figura 5 - Diferença entre biocombustíveis convencionais e avançados	42
Figura 6 - Mandatos direto e indireto de uso de biodiesel ao diesel em 2020.....	43
Figura 7 - Moléculas de diesel versus molécula de biodiesel.....	45
Figura 8 - Esquema da Reação de transesterificação de triglicerídeos	46
Figura 9 - Esquema da Reação de transesterificação de triglicerídeos	47
Figura 10 - Equação geral de uma reação de esterificação	47
Figura 11 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil em 2022	48
Figura 12 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil em 2022	49
Figura 13 - Esquema da estruturação da cadeia produtiva do biodiesel no Brasil.....	50
Figura 14 - Evolução do teor percentual obrigatório de biodiesel no Brasil	51
Figura 15 - O interesse nos óleos vegetais como combustível em 1922	54
Figura 16 - Engenheiro Agrônomo Joaquim Bertino de Moraes Carvalho (1897-1977).....	55
Figura 17 - Linha do tempo da criação das Universidades Federais do Brasil	57
Figura 18 - Notícias de pesquisas envolvendo óleo vegetais como combustível no Brasil na década de 1940	60
Figura 19 - O café como Combustível.....	63
Figura 20 - Fase de desenvolvimento da indústria de biodiesel em alguns na década de 1990.....	85
Figura 21 - O Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.....	92
Figura 22 - O Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.....	94
Figura 23 - A Rede Baiana de Biocombustível	105
Figura 24 - Órgãos integrantes do PNPB	113
Figura 25 - Exemplos de redes	118
Figura 26 - Representações de redes de Athanasius Kircher e Euler.....	119
Figura 27 - Os modelos de redes de Baran	120
Figura 28 - Comparação das redes aleatórias, de mundo pequeno e sem escala	121
Figura 29 - Aplicação da ARS em diferentes áreas	124
Figura 30 - Fluxo de trabalho proposto para análise das redes de colaboração científica que compõem a RBTB	139
Figura 31 - Organograma da RBTB.....	144
Figura 32 - Relação de plantas piloto de biodiesel em universidades 2007	146
Figura 33 - Perfil das Publicações Técnico Científicas do VII Congresso do RBTB (%).....	147
Figura 34 - ICTs participante do Programa Rede de Microalgas	154

Figura 35 - Rede das principais áreas de pesquisa relacionadas ao biodiesel no Brasil (2004 – 2023).....	169
Figura 36 - Rede de concorrência de financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)	175
Figura 37 - Esquema de análise de coautoria	179
Figura 38 - Mapa de países parceiros do Brasil nas colaborações científicas sobre biodiesel	181
Figura 39 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (2004-2023).....	185
Figura 40 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (por quinquênio)	191
Figura 41 - Rede geral de coautoria de autores (2004-2023).....	197
Figura 42 - Redes de coautoria entre autores por quinquênio (2004-2023)	199
Figura 43 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (por quinquênio)	201
Figura 44 - Rede de palavras-chave de 2004-2008	202
Figura 45 - Rede de palavras-chave de 2008-2013	203
Figura 46 - Rede de palavras-chave de 2014-2018	204
Figura 47 - Rede de palavras-chave de 2019-2023	205
Figura 48 - Rede de ICTs com depósito de patentes relacionadas com biodiesel (2004-2023)	211

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Emissões do Setor de Energia e da Atividade de Transporte.....	20
Gráfico 2 - Consumo de diesel e emissões no setor de transporte rodoviário de carga de 2000 a 2020	22
Gráfico 3 - Consumo de biodiesel no transporte rodoviário de 2005 a 2021	24
Gráfico 4 - Produção de biodiesel no Brasil de 2005 a 2021(em metros cúbicos).....	115
Gráfico 5 - Distribuição dos artigos relacionados a biodiesel no Brasil (2004 – 2023).....	163
Gráfico 6 - Áreas de conhecimento relacionado ao biodiesel dos grupos de pesquisas.....	171
Gráfico 7 - Setores de aplicação das pesquisas produzidas pelos grupos de pesquisas.....	171
Gráfico 8 - Órgãos que mais financiaram pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)	174
Gráfico 9 - ICTs que mais receberam financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023) ...	177
Gráfico 10 - Evolução das colaborações intrainstitucional e interinstitucional (2004-2023)	184
Gráfico 11 - Distribuição de grupos com linhas de pesquisa envolvendo biodiesel.....	189
Gráfico 12 - Distribuição das patentes relacionadas com biodiesel depositadas por ICTs brasileiras	208
Gráfico 13 - Principais ICTs depositantes de patentes relacionadas com biodiesel no Brasil (2004-2023)	210

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Biodiesel e os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL).....	31
Quadro 2 - Tipos de óleo diesel comercializado atualmente no Brasil	34
Quadro 3 - Principais vias de conversão da biomassa	38
Quadro 4 - Classificações usuais para biocombustíveis por alguns países	41
Quadro 5 - Tipos de transesterificação	46
Quadro 6 - Ações relacionadas a utilização de óleos vegetais como combustível por centros de pesquisa no Brasil na década 1930.....	59
Quadro 7 - Ações relacionadas a utilização de óleos vegetais no Brasil (1942-45).....	61
Quadro 8 - Cronologia da produção de biodiesel na Áustria	69
Quadro 9 - Projetos do CTAA/ EMBRAPA de 1977-1983	73
Quadro 10 - Instituições no Programa de Emprego de Óleos Vegetais Brasileiros da Finep.....	74
Quadro 11 - Ações prioritárias de P&D para óleos vegetais (1980)	75
Quadro 12 - Primeiras patentes brasileiras sobre biodiesel.....	78
Quadro 13 - Instituições contempladas na Encomenda CT-ENERG 017/2003 Probiodiesel	109
Quadro 14 - Exemplos de pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento da ARS.....	123
Quadro 15 - Exemplos de pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento da ARS.....	125
Quadro 16 - Elementos morfológicos de uma rede.....	126
Quadro 17 - Exemplo dos conceitos relacionados aos aspectos morfológicos das redes	126
Quadro 18 - Exemplo dos conceitos relacionados aos aspectos morfológicos das redes	127
Quadro 19 - Procedimentos técnicos adotados para cada objetivo específico.....	130
Quadro 20 - Indicadores bibliométricos adotados	132
Quadro 21 - Indicadores bibliométricos adotados	133
Quadro 22 - Subredes temáticas da RBTB.....	145
Quadro 23 - Editais de pesquisa FINEP e CNPq voltados para biodiesel no período da PITCE	148
Quadro 24 - Projetos relacionados ao biodiesel aprovados pela Finep na modalidade de subvenção econômica	149
Quadro 25 - Meta para a indústria do biodiesel no PDP	151
Quadro 26 - Meta para a indústria do biodiesel no PDP	152
Quadro 27 - Projetos de PD&I voltados para o biodiesel no âmbito da PBM e ENCTI 2012-2015.....	159
Quadro 28 - Principais periódicos utilizados na divulgação das pesquisas com biodiesel (2004 – 2023) ...	165
Quadro 29 - Indexação dos artigos da WoS: Principais áreas de pesquisa (2004 – 2023)	168
Quadro 30 - ICTs mais ativas em pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)	182
Quadro 31 - Principais ICTs de acordo com as métricas de centralidade (2004 – 2023).....	187
Quadro 32 - INCTs com linhas de pesquisas relacionadas ao biodiesel	188
Quadro 33 - Distribuição de grupos com linhas de pesquisa envolvendo biodiesel por ICTs	189
Quadro 34 - Métricas de ARS por quinquênio.....	193

Quadro 35 - Autores mais prolíficos em coautoria interinstitucional de artigos relacionados ao biodiesel	195
Quadro 36 - Métricas de redes de coautoria de autores por período	199
Quadro 37 - Análise dos termos versus gargalos técnico-científicos na produção de biodiesel	206
Quadro 38 - Distribuição das patentes relacionadas com biodiesel depositadas por ICTs brasileiras	208
Quadro 39 - Rank das principais ICTs em artigos e patentes relacionadas ao biodiesel (2004 – 2023)	212
Quadro 40 - Rank dos principais inventores das patentes relacionadas ao biodiesel (2004 – 2023)	213

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPTI	Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica e Inovação
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
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEIB	Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CERBIO	Centro de Referência em Biocombustíveis
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIEnAm	Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
CSOB	Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
CTAA	Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar
EIA	<i>U.S. Energy Information Administration</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENQ	Escola Nacional de Química
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FAEE	<i>Fatty Acid Ethyl Esters</i>
FAME	<i>Fatty Acid Methyl Esters</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAPs	Fundações Estaduais de Apoio à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
GEE	Gases do efeito estufa
HVO	Óleo Vegetal Hidratado
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
ICTs	Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
IFGO	Instituto Federal de Goiás
IFMA	Instituto Federal do Maranhão
IME	Instituto Militar de Engenharia
iNDC	Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
IPCC	Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>

IVIG	Instituto Internacional de Mudanças Globais
LEN	Grupo de Bioenergia e pelo Laboratório de Energia e Gás da UFBA
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MIC	Ministério de Indústria e Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material particulado
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NOx	Óxido de nitrogênio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OGR	Óleo e Gordura Residual
OIE	Oferta interna de energia
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P&D&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PBIO	Petrobras Biocombustível
PBM	Plano Brasil Maior
PDE	Plano Decenal de Energia
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
PI	Política Industrial
PIB	Produto Interno Bruto
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Proálcool	Programa Nacional do Álcool
Probiodiesel	Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel

Proconve	Programa de Controle de Emissões Veiculares
RBTB	Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
SENAI CIMATEC	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia
SNCTI	Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
STI	Secretaria de Tecnologia Industrial
SVO	Óleos Vegetais Diretos
Tecpar	Instituto Tecnológico do Estado do Paraná
TRL	Nível de Maturidade Tecnológica
UE	União Europeia
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UESC	Universidade Estadual de Santa Cruz
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas

UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRB	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UnB	Universidade de Brasília
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFACS	Universidade Salvador
UNIMONTES	Universidade Estadual de Montes Claros
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
USP	Universidade de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	PROBLEMA, QUESTÃO NORTEADORA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	25
1.2	OBJETIVO GERAL	27
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1.4	JUSTIFICATIVA	28
1.5	ADERÊNCIA DA TESE AO PEI E À ÁREA DE PESQUISA	29
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	30
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1	DEFINIÇÕES BÁSICAS	32
2.1.1	<i>Diesel</i>	32
2.1.2	<i>Biomassa e bioenergia</i>	37
2.1.3	<i>Biocombustíveis líquidos</i>	39
2.1.4	<i>Biodiesel</i>	43
2.2	BIODIESEL: PESQUISA E INOVAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO	51
2.2.1	<i>Da promessa ao quase esquecimento</i>	52
2.2.1.1	O início das experiências brasileira com óleos vegetais combustíveis	53
2.2.2	<i>Choques para despertar</i>	64
2.2.2.1	<i>A saga brasileira por um substituto do diesel nas décadas de 1975 a 1985</i>	70
2.2.3	<i>A retomada das discussões sobre a implementação da indústria no Brasil</i>	82
2.2.3.1	O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil	85
2.2.3.1.1	Busca de um novo mercado para o óleo de soja	86
2.2.3.1.2	Indisponibilidade de diesel adequado para atender ao Proconve	87
2.2.3.1.3	Utilização da mistura álcool – diesel – aditivo (MAD)	88
2.2.3.1.4	Reformulação da matriz energética brasileira	89
2.2.3.1.5	Estado como indutor das Políticas Industriais e de C&T	90
2.2.3.1.6	Outros Fatores	95
2.2.4	<i>De 1998 a 2002: o engajamento das ICTs nacionais para a criação de um programa efetivo de biodiesel</i>	95
2.2.5	<i>O Probiodiesel e o início do PNPB</i>	107
2.3	REDES	117
2.3.1	<i>Abordagem de ARS</i>	122
2.3.2	<i>Elementos morfológicos de uma rede</i>	125
2.3.3	<i>Medidas quantitativas utilizadas na ARS</i>	127
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	130
3.1	DESENHO DE ESTUDO PARA ANÁLISE DA RBTB	131
3.1.1	<i>Passo 1: a questão de pesquisa e os métodos adequados para respondê-la</i>	132
3.1.2	<i>Passo 2: seleção da base de dados, filtragem dos documentos e exportação dos dados</i>	134

3.1.3	<i>Passo 3: análise de dados</i>	135
3.1.4	<i>Passo 4: criação das redes (visualização)</i>	137
3.1.5	<i>Passo 5: Interpretação</i>	138
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO	140
4.1	O PNPB NO CONTEXTO DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS E A RBTB	140
4.1.1	<i>O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto da PITCE (2004 a 2007)</i>	140
4.1.2	<i>O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto da PDP</i>	150
4.1.3	<i>O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto do PBM</i>	156
4.1.4	<i>O desenvolvimento tecnológico do biodiesel para além das PIs</i>	160
4.2	EVOLUÇÃO DA RBTB DE 2004 A 2023	162
4.2.1	<i>Produção científica de artigos de pesquisas (2004 a 2023)</i>	163
4.2.2	<i>Sistema de divulgação do conhecimento</i>	165
4.2.3	<i>Análise das áreas de pesquisa</i>	167
4.2.4	<i>Financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil</i>	173
4.2.5	<i>Análise de colaboração</i>	178
4.2.5.1	Redes colaborativas em pesquisa com biodiesel: países	179
4.2.5.2	Redes colaborativas em pesquisa com biodiesel: coautoria entre ICTs	181
4.2.5.3	Análise de coautoria de autores	194
4.2.6	<i>Análise de coocorrência de palavras-chave</i>	200
4.2.7	<i>Redes colaborativas em patentes de ICTs depositadas no INPI</i>	207
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	214
6	REFERÊNCIAS	221
	APÊNDICE A – ARTIGO 1: 10.7198/GEINTEC.v11i1.1501	249
	APÊNDICE B – ARTIGO 2: 10.4067/S0718-27242022000400028	262
	APÊNDICE C – ARTIGO 3: 10.32479/IJEEP.14176	273

1 INTRODUÇÃO

Projeções¹ sugerem um aumento de aproximadamente 50% no consumo global de energia primária no período de 2018 a 2050, com os combustíveis fósseis sendo a principal fonte em países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE²). Este aumento é previsto em um contexto onde se espera que a economia global duplique de tamanho até 2042, intensificando ainda mais o consumo de energia primária (EIA, 2019).

Sem uma mudança no padrão de consumo, A produção crescente de combustíveis fósseis poderá levar a uma produção de aproximadamente 39 bilhões de gigatoneladas de dióxido de carbono (GtCO_{2e}) em 2030 e prejudicar os esforços para manter o aquecimento global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais estabelecido no Acordo de Paris³ em 2015 (SEI et al., 2019).

Diante desse cenário, a busca por alternativas energéticas sustentáveis tornou-se uma preocupação crescente. Não por acaso, na COP26⁴, 196 países ratificaram sua permanência no Acordo de Paris, sendo que 193 países apresentaram nas suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC⁵) metas para reduzir os gases de efeito estufa (GEE). Desse total, 182 incluíram questões relacionadas ao aumento da participação de fontes renováveis nas suas matrizes energéticas (IRENA, 2022).

Como um dos signatários do Acordo de Paris (BRASIL, 2016, 2017b), o Brasil, que já possuía uma lei⁶ para redução de GEE (BRASIL, 2009, 2018a), assumiu o compromisso de reduzir suas emissões em 37% até 2025 e em 43% até 2030, ambas em comparação às emissões de 2005, além de alcançar a neutralidade climática em 2060⁷ (MRE, 2020).

¹ Todas as projeções referentes a insumos energéticos foram realizadas antes da crise de saúde ocasionada pelo sars-cov-2.

² O Brasil não é membro da OCDE, mas é considerado um parceiros-chave nesta Organização desde 2012 e pode participar de comitês e de inúmeras instâncias de trabalho desta organização (OCDE, 2023).

³ 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas ou COP 21.

⁴ Realizada em novembro de 2021 em Glasgow, na Escócia.

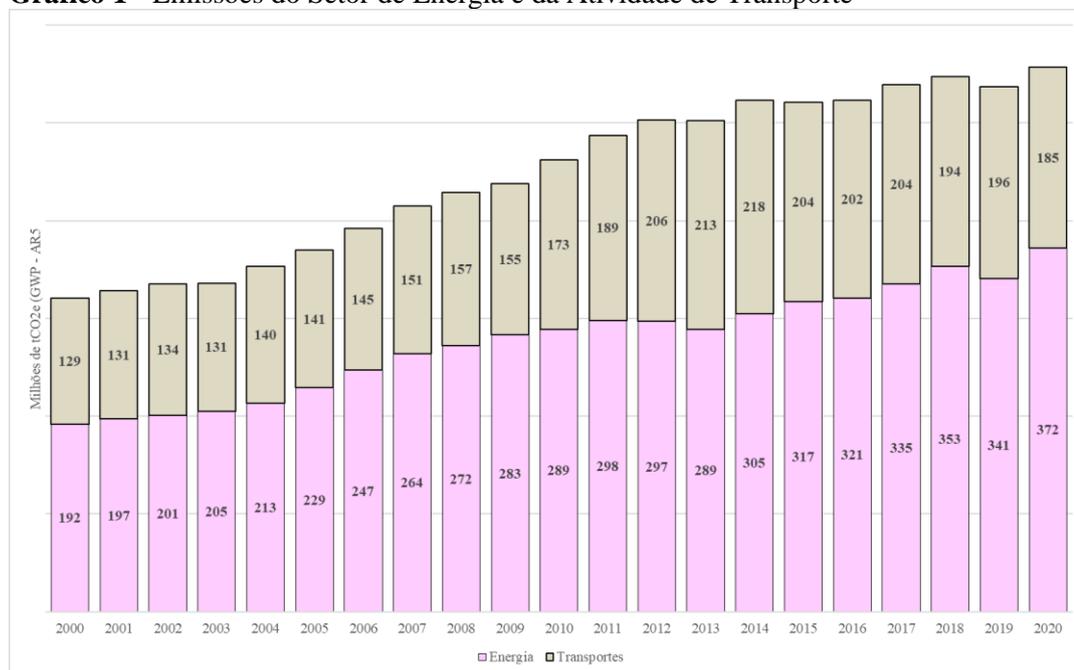
⁵ Do inglês Nationally Determined Contribution. Trata-se de um documento com os compromissos assumidos por cada país signatário do Acordo de Paris para colaborar com a meta global de redução de GEE.

⁶ Trata-se da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) que estabeleceu metas redução de GEE entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

⁷ Uma nova NDC foi apresentada em dezembro de 2021, estabelecendo em 37% a redução das emissões de GEE até 2025 e 50% em 2030 em comparação com os níveis de 2005. O prazo para alcançar a neutralidade climática recuou para 2050 (MRE, 2020).

Estratégias distintas foram criadas no intuito de reduzir as emissões nos diferentes setores da economia. Para o setor de energia⁸, que em 2020, emitiu 372 milhões de toneladas de CO₂e (Gráfico 1), foram estipuladas metas específicas, como o incremento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética nacional para 18% até 2030 (BRASIL, 2015).

Gráfico 1 - Emissões do Setor de Energia e da Atividade de Transporte



Fonte: Observatório do Clima (2023)

Para isso, espera-se a expansão do consumo de biocombustíveis na atividade de transporte, a mais poluente do setor de energia com 185,4 milhões de toneladas de CO₂e, como mostra o Gráfico 1. Essa meta é considerada estratégica tanto do ponto de vista de inovação, desenvolvimento tecnológico quanto dos pontos de vista mercadológico e ambiental (EPE, 2022).

Do ponto de vista da inovação e do desenvolvimento tecnológico, a produção de biocombustíveis tem o potencial de impulsionar avanços tecnológicos tanto na agricultura quanto na indústria energética. Isso se deve à necessidade contínua de novas técnicas e tecnologias para tornar sua produção cada vez mais eficiente. (MCTIC, 2018).

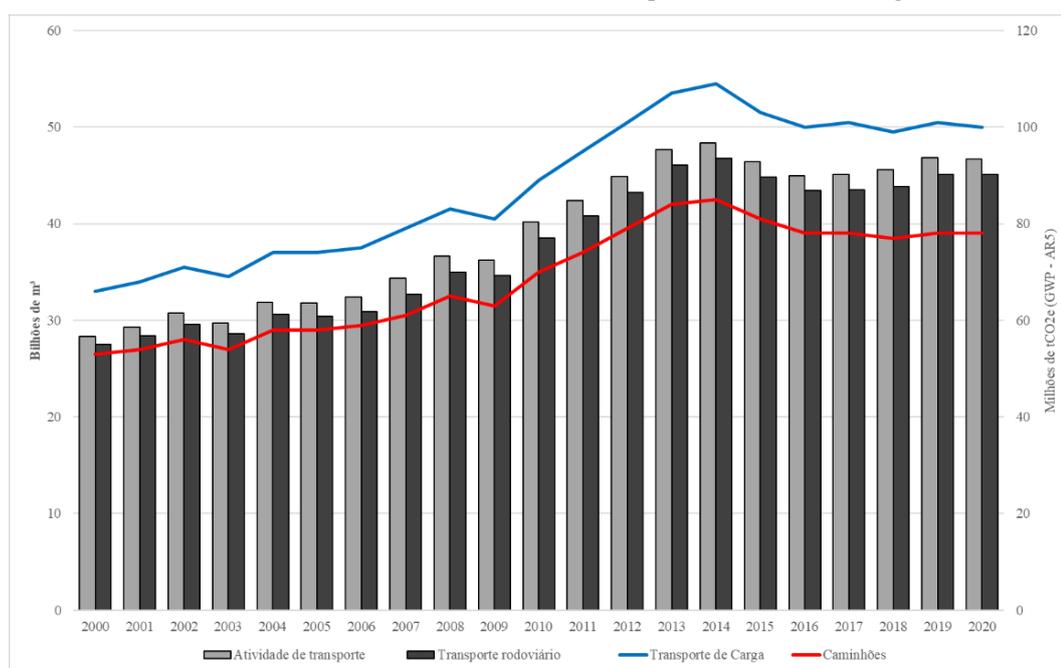
⁸ Este setor inclui todas as atividades utilizadoras de combustíveis fósseis como transportes, indústria e geração de eletricidade; além das chamadas emissões fugitivas ou escape de gases de efeito estufa durante a produção de combustíveis (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021). Ao contrário da NDC de 2016, a NDC brasileira de 2021 não estabeleceu alvos a serem perseguidos pelo setor de energia (IRENA, 2022), contudo, esta tese mantém os alvos traçados para os biocombustíveis, pois eles são adotados como referência por muitos stakeholders e nortearam o estabelecimento de políticas públicas como o RENOVBIO.

Em relação ao mercado, a ampliação da participação dos biocombustíveis consolida a posição do Brasil como um dos principais produtores globais dessas commodities (AGÊNCIA BRASIL, 2021), dando-lhe ainda autonomia energética para suprir as necessidades dos diversos modos de transporte, que representaram 31,2% do consumo final de energia em 2020 (EPE, 2022; EPE; IEA, 2021).

Considerando a perspectiva ambiental, projeta-se que a participação dos biocombustíveis na matriz de transporte atinja 30% até 2030, devido à sua alta compatibilidade com o padrão veicular atual e a infraestrutura de distribuição e abastecimento (AGÊNCIA BRASIL, 2021b). Eles têm contribuído para a redução de uma parcela das emissões provenientes da atividade de transporte e essa contribuição pode representar 886 milhões de toneladas de CO_{2e} (MtCO_{2e}) e de 2020-2030 (MMA, 2017). Isso se deve ao fato de que a combustão de biocombustíveis é considerada neutra em termos de emissões de CO₂ (REN21, 2020).

No contexto do transporte rodoviário, os biocombustíveis representaram 25,7% do consumo final de energia e evitaram a emissão de 67,2 MtCO_{2e} em 2020 (EPE, 2021c, 2022a). Contudo, essa atividade continua sendo o principal contribuinte nas emissões no setor de energia com 185 milhões de toneladas de CO_{2e} (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

Agrava ainda mais o problema das emissões no modal rodoviário a elevada dependência que o país possui do transporte de cargas dominado por caminhões, veículos responsáveis pelo transporte de 60% de tudo que é produzido e consumido (CNT, 2019). Em 2020, os caminhões consumiram 76,59% da oferta nacional de diesel e responderam por 78% das emissões da atividade de transporte de carga (EPE, 2022; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023). A Gráfico 2 apresenta a evolução do consumo de diesel na atividade de transporte e no modal rodoviário, destacando também as emissões da frota de caminhões.

Gráfico 2 - Consumo de diesel e emissões no setor de transporte rodoviário de carga de 2000 a 2020

Fonte: Observatório do Clima (2023)

Obs.: inclui a adição do percentual de biodiesel no consumo de diesel.

Com idade média superior a 15 anos, a frota nacional de caminhões é considerada ineficiente na redução de GEE, pois parte desses veículos não está equipada com motores preparados para alcançar os limites de emissão estabelecidos no Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), que estabelece limites para a emissão de óxido de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP) devido a (CNT, 2019).

Além da idade das frotas de caminhões, outros fatores também contribuem para o impacto ambiental. Estima-se que o modal rodoviário possa responder por 90,6% da demanda energética do transporte de cargas em 2029, resultando no aumento do consumo de diesel (+2,6% aa) entre 2019 e 2029 (EPE, 2020a). Este quadro pode ser agravado pela incorporação de 276 mil caminhões à frota nacional no mesmo período, demandando cerca de 3,2 bilhões de litros adicionais de diesel e intensificando os índices de emissões (STUKART, 2018). Como resultado, espera-se que o modal rodoviário seja responsável por 224 MtCO_{2e} dos 484 MtCO_{2e} oriundos do consumo de energia projetado para 2030 (MME, 2021a).

Diante do alto consumo de combustíveis fósseis e baixa eficiência energética, o modo rodoviário se tornou um dos alvos prioritários no processo de descarbonização da economia

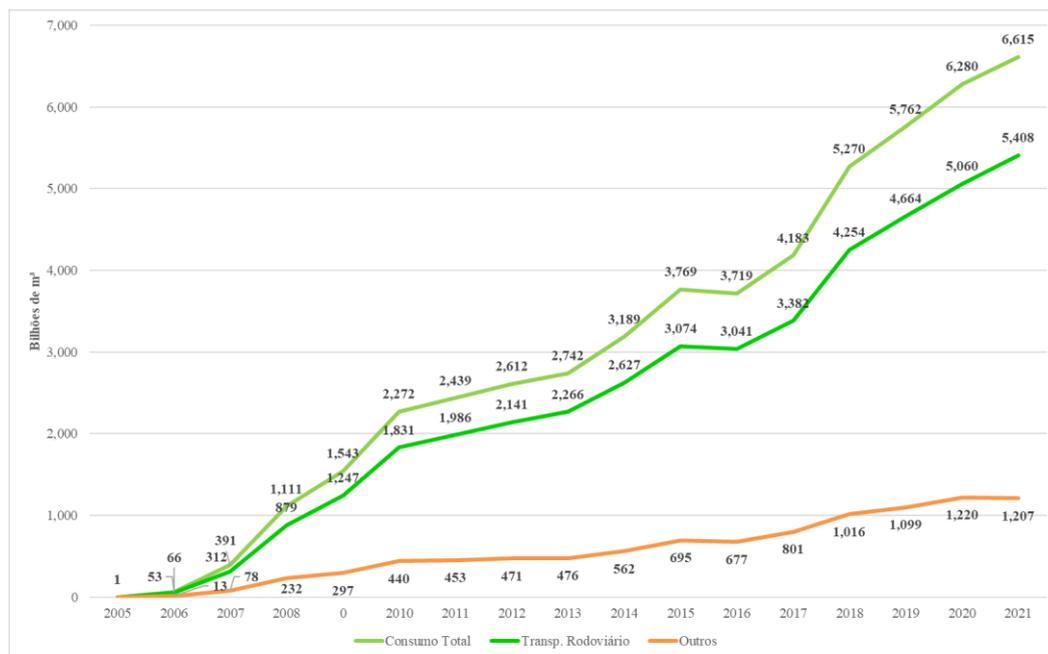
brasileira. E mesmo existindo diferentes tecnologias de baixa emissão atualmente disponíveis⁹, o caminho adotado foi o de ampliar o uso de biocombustíveis que estão em níveis avançados de maturidade tecnológica. Uma solução imediata para a descarbonização de veículos equipados com motores de ciclo diesel, sem a necessidade da troca de motor, ao contrário do que ocorre com o hidrogênio, biometano e elétrico. Além disso, os biocombustíveis podem aproveitar da infraestrutura de abastecimento existente (FULTON et al., 2015).

Nesse contexto, duas políticas públicas foram lançadas - a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) (BRASIL, 2017a) e o Programa Combustível do Futuro (CNPE, 2021). Ambos os programas buscam promover o uso de combustíveis mais limpos no Brasil e estão interligados ao Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) que foca na introdução progressiva do biodiesel na matriz energética brasileira, com ênfase na inclusão social e desenvolvimento regional.

O PNPB, juntamente com o apoio de outras políticas públicas, como a Política Industrial (PI) e a Política Nacional de Ciência e Tecnologia (PNC&T), fomentou a criação e a consolidação de um mercado de biodiesel por meio de incentivos financeiros, programas de fomento, política de aquisição pública e desenvolvimento tecnológico.

Desde a introdução do biodiesel na matriz energética nacional em 2005, foram produzidos mais de 50 bilhões de litros desse biocombustível (Gráfico 3) e diferentes percentuais de misturas entre o biodiesel e o diesel (BX) foram adotados. Essa iniciativa trouxe vários benefícios sociais, econômicos e ambientais. Por exemplo, o biodiesel emite 98% menos CO₂ do que o petróleo, libera uma quantidade menor de enxofre e não produz fumaça preta (EPE, 2021b, 2022).

⁹ A eletrificação ou utilização de hidrogênio como combustível fica bastante limitada no transporte de cargas devido ao tamanho das baterias ou tanques, que seriam maiores e mais pesados do que os atuais motores de combustão (FULTON et al., 2015).

Gráfico 3 - Consumo de biodiesel no transporte rodoviário de 2005 a 2021

Fonte: EPE (2022)

Para 2030, estudos projetam o aumento de sua adição ao diesel em diferentes proporções: B11¹⁰ (OECD; FAO, 2021), B15 (MME, 2021a; SOUZA et al., 2017), B20 (ABIOVE; APROBIO; APROBIO, 2016) e B25 (ANFAVEA; BCG, 2021). Independentemente da proporção BX adotada para atender à mistura mandatória, a produção de biodiesel pode alcançar 18 bilhões de litros, o que elevaria sua participação para 3,3% na matriz energética nacional, tornando-o o biocombustível com a maior taxa de crescimento médio (4,65% a.a.) no consumo final de energia nesta década (EPE, 2021a).

Para que isso aconteça, uma série de desafios precisam ser superados pelos vários atores da cadeia produtiva do biodiesel. No âmbito do desenvolvimento tecnológico, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI¹¹) considera estratégico continuar incentivando as ações de pesquisa e desenvolvimento (P&D¹²) para inovação da cadeia por meio da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), um conjunto de redes de colaboração científica que reúnem pesquisadores afiliados às diversas Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação

¹⁰ As misturas entre o biodiesel e o diesel mineral são conhecidas pela letra B mais o número que corresponde a quantidade de biodiesel na mistura.

¹¹ Esta tese utiliza a denominação MCTI, que está em vigor desde 10 de junho de 2020.

¹² Esta tese adota o conceito de P&D descrito no Manual Frascati da OCDE como o trabalho criativo e sistemático realizado com o objetivo de aumentar o estoque de conhecimento para conceber novas aplicações. Neste manual, a P&D envolve três atividades: pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental. (OCDE, 2018).

(ICTs¹³) nacionais com o propósito de promover a cooperação e a troca de conhecimento que levem a eliminação de gargalos que venham a surgir durante a evolução do PNPB.

1.1 PROBLEMA, QUESTÃO NORTEADORA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Em 2004, o Governo Federal resgatou a Política Industrial (PI) na tentativa de retomar o desenvolvimento econômico sustentável e gerar emparelhamento tecnológico com países desenvolvidos. Para isso, a inovação foi colocada como elemento central da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) de 2004, da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) de 2007 e do Plano Brasil Maior (PBM) de 2011, que por sua vez, foram articuladas com as Políticas de Ciência e Tecnologia (TONI, 2015).

A PITCE priorizou alguns poucos setores industriais e apoiou atividades consideradas “portadoras de futuro”, como as relacionadas às energias renováveis que apresentavam elevado potencial de crescimento, competitividade e impacto na geração de empregos e renda no país. Para promover tais atividades, a PITCE realizou investimentos significativos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) com o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (SALERNO; DAHER, 2006).

Uma das ações fomentada no âmbito da PITCE com apoio do MCTI foi a estruturação do complexo agroindustrial do biodiesel, o que levou diferentes ICTs de todo país a realizarem estudos para comprovar viabilidade técnica, econômica e ambiental desse biocombustível (MCT, 2006).

Tais estudos foram decisivos para a implementação do PNPB, visto nesta tese sob o prisma de uma política pública de inovação tecnológica, já que envolveu não apenas a criação de políticas de incentivo à produção e ao consumo do biodiesel, mas também o desenvolvimento de tecnologias e pesquisas para produção e uso eficiente desse biocombustível, além da estruturação de redes de cooperação entre universidades, empresas e

¹³ O conceito adotado para ICTs é o definido no artigo 2º, inciso V da Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a saber: órgão ou entidade da administração pública direta ou indireta ou pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos legalmente constituída sob as leis brasileiras, com sede e foro no País, que inclua em sua missão institucional ou em seu objetivo social ou estatutário a pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico ou o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos.

instituições de pesquisa para estimular a troca de conhecimentos e experiências sob coordenação do MCTI.

Desde o início do PNPB, inúmeros gargalos técnico-científicos foram superados, contribuindo para que o Brasil se tornasse um dos maiores produtores mundiais de biodiesel. Contudo, outros gargalos ainda persistem e precisam ser transpostos para não comprometer a competitividade e a sustentabilidade do programa nos médio e longo prazos (MARTINS et al., 2018; MENEZES, 2016).

Esses gargalos foram listados no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis (MCTIC, 2018) e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel (CSOB, 2019). Esses gargalos estão relacionados a várias dificuldades, tais como:

- Diversificar as fontes de matérias-primas graxas para a produção de biodiesel, especialmente as de baixa qualidade e de menor custo;
- Otimizar tecnologias de produção de biodiesel e de derivados graxos;
- Simplificar metodologias de controle da qualidade de biodiesel;
- Garantir a qualidade do biodiesel durante o transporte e armazenamento;
- Aumentar os percentuais de biodiesel nas misturas com óleo diesel, com garantia de qualidade na produção, pós-produção e uso em motores e veículos;
- Agregar valor aos coprodutos provenientes da cadeia de produção e uso do biodiesel. (CSOB, 2019; MCTIC, 2018).

A superação desses gargalos permitiria o alcance do objetivo de 18% de participação da bioenergia na matriz energética até 2030. Isso resultaria na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, especialmente no setor de transporte de cargas, onde o crescente número de veículos à diesel contribui significativamente para o aumento das emissões. Ademais, a participação do biodiesel na formação do preço diesel¹⁴, estimada em 13,9% a 14,1% poderia ser reduzida (ANP, 2021).

No que tange aos esforços de P&D, o MCTI continua apostando nas redes de colaboração trans e/ou multidisciplinares que formam a RBTB para compreender, enfrentar e superar os gargalos tecnológicos do biodiesel (MCTIC, 2018). No entanto, passados 20 anos desde a sua criação e diante de um cenário marcado por cortes orçamentários nas principais

¹⁴ Período de referência: abril de 2021

fontes de recursos do sistema de pesquisa brasileiro¹⁵ (WESTIN, 2020), esta tese busca responder o seguinte questionamento: **Como as redes de colaboração científica que formam a RBTB estão estruturadas e organizadas para promover soluções que ajudem a superar os gargalos técnico-científicos que impactam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil?**

Esse questionamento surgiu ao constatar, por meio da aplicação da abordagem de análise de redes sociais (ARS) e complexas, a involução e a fragmentação da rede do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT E&A), formada por pesquisadores dedicados ao estudo do biodiesel e valorização de seus coprodutos. Observou-se um alto nível de colaboração até 2014, mas a temática biodiesel passou a receber menos atenção, o que levou a uma redução progressiva nas pesquisas no segundo a partir de 2016 (FERNANDES et al., 2023).

A partir dessa constatação, esta tese assumiu o pressuposto que a RBTB pode estar involuindo e se desfragmentando em função de uma série de fatores políticos e econômicos, que levou a cortes orçamentários na pesquisa brasileira (WESTIN, 2020), técnicos com a saída de pesquisadores e sociais, como por exemplo a pandemia Covid-19 que, em muitos casos, desmobilizou alguns campos de pesquisa.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na superação de gargalos tecnológicos que prejudicam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil.

¹⁵ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), ligados ao MCTI e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ligada ao Ministério da Educação

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever a trajetória do desenvolvimento tecnológico do biodiesel e como as políticas industriais e de C&T influenciaram esse desenvolvimento no Brasil.
- b) Analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na promoção de avanços tecnológicos para o desenvolvimento do biodiesel no Brasil.
- c) Identificar tópicos emergentes de pesquisas com biodiesel no Brasil e comparar se estes estão alinhados com as prioridades estabelecidas no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis.
- d) Analisar a interação e colaborações entre ICTs, empresas e demais atores nas redes de P&D de biodiesel no Brasil.

1.4 JUSTIFICATIVA

O governo brasileiro continua apostando no biodiesel como uma das soluções para reduzir as emissões no modo rodoviário (MCTIC, 2018). Nesse contexto, este estudo justifica-se pela necessidade de avaliar se as redes de colaboração científica da RBTB têm sido efetivas em superar gargalos tecnológicos que afetam o desenvolvimento do biodiesel no Brasil.

A análise de redes sociais é apropriada para investigar padrões de colaboração entre instituições e pesquisadores. A identificação de lacunas e oportunidades pode orientar a formação de parcerias mais estratégicas entre os atores das redes.

Os resultados podem embasar ações para aprimorar as políticas de CT&I, visando acelerar os avanços científicos e tecnológicos necessários para conferir competitividade e sustentabilidade à cadeia produtiva do biodiesel brasileiro.

Além disso, as análises e resultados deste estudo podem servir de referência para outros programas de biocombustíveis que estejam em fase inicial de estruturação de redes de P&D. A experiência e lições aprendidas com a RBTB poderão auxiliar esses programas a definir estratégias para promover colaborações científicas estratégicas.

1.5 ADERÊNCIA DA TESE AO PEI E À ÁREA DE PESQUISA

Essa tese foi desenvolvida no doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI), primeiro programa de doutorado em engenharia na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), cujo objetivo principal é contribuir de forma relevante para a resolução de problemas científicos e tecnológicos da indústria nacional, em especial do Estado da Bahia (PEI, 2021a).

O PEI possui como área de concentração o Desenvolvimento Sustentável de Produtos e Processos, duas linhas de pesquisas - Desenvolvimento de Processos e Desenvolvimento de Produtos – e diferentes ênfases, possibilitando ao aluno especializar-se em determinada área de atuação. Dessa forma, o Programa pode ser considerado multidisciplinar e plural, oferecendo alternativas e possibilidade de desenvolvimentos de diferentes projetos de pesquisa no seu âmbito (PEI, 2021a).

Ao estabelecer como objeto de estudo as redes de pesquisas com biodiesel no Brasil, essa tese atende aos requisitos do Programa, pois encontra-se alinhada com a área de concentração e está inserida na linha de Desenvolvimento de Processos, além de atender a um dos temas propostos para projetos de Mestrado e Doutorado: a construção de indicadores para a avaliação de impactos das ações do projeto (PEI, 2021b).

A tese também contempla as ênfases: Produção Limpa, Ambiente e Energia e Engenharia de Produção. Na primeira ênfase, a tese apresenta estudos relacionados a energia, mais especificamente, aos esforços para o desenvolvimento científico e tecnológico na produção de biodiesel no Brasil.

Já a ênfase Engenharia de Produção foi contemplada nesta tese com a utilização de uma série de conteúdos explorados na área de desenvolvimento de produto, como análise de níveis de prontidão tecnológicas (TRL, *Technology Readiness Levels*) e de Pesquisa Operacional, uma das subáreas do conhecimento relacionadas à Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021), com destaque para a teoria dos grafos, Teoria das Redes Complexas, uma área de estudo que se concentra na análise e modelagem de sistemas complexos, sendo utilizadas para resolução de diversos problemas de tomada de decisão (p. ex. transporte, escala de produção, distribuição caminho crítico).

Por fim, todo o arcabouço teórico fornecido pelas ênfases foi com a abordagem ARS, que se dedica a analisar as relações e interações entre os atores de uma rede social. Tudo isso com o objetivo de responder à questão de pesquisa e a hipótese mencionadas anteriormente.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Nesta seção, serão apresentados os detalhes da organização da tese, estruturada em quatro capítulos.

O Capítulo 1, Introdução, contextualiza o tema e estabelece a questão de pesquisa, além de apresentar os objetivos geral e específicos da tese. Também são apresentadas a hipótese a ser investigada e a justificativa para a relevância do estudo. Além disso, é realizado o alinhamento da pesquisa com o Plano Estratégico Institucional (PEI).

O Capítulo 2, Fundamentação Teórica, foi dividido em três seções principais. A primeira aborda e discute conceitos essenciais para o entendimento dos biocombustíveis, em especial o biodiesel. a segunda explora a evolução tecnológica do biodiesel no Brasil a partir do final da década de 1990, destacando as principais ações e avanços da RBTB. Por fim, a terceira seção discute a abordagem de Análise de Redes Sociais (ARS) e redes complexas, utilizada para revelar as principais ICTs, grupos e atores envolvidos no desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil. Essa análise visa desvelar a complexa rede de fatores que contribuíram para a moldagem da P&D do biodiesel no país.

O Capítulo 3 detalha a metodologia utilizada, destacando o desenho metodológico adotado para a última etapa da tese, que consiste na análise das redes de colaboração científica que compõem a RBTB. Serão utilizados os princípios propostos por Zupic e Čater (2015) como base para essa análise.

O Capítulo 4 apresentado em coletânea de artigo, esse capítulo apresenta o desenvolvimento da RBTB, analisando e discutindo seu papel na superação de gargalos tecnológicos que prejudicam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil.

O Capítulo 5 traz as conclusões da tese, suas limitações e as recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Motivados por preocupações ambientais e pela necessidade de reduzir as emissões de GGE associadas ao transporte rodoviário, muitos países vêm buscando alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis para inserir em sua matriz de transporte.

Com mais de trinta anos de exploração comercial, o biodiesel vem se destacando como uma alternativa viável ao diesel convencional, pois atingiu os níveis mais altos níveis de maturidade tecnológica (Quadro 1)¹⁶ em vários países, incluído o Brasil (IEA, 2020; IRENA, 2021).

Quadro 1 - Biodiesel e os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL¹⁷)

TRL	Descrição	Exemplo
9	Tecnologia comercializada e amplamente adotada	Biodiesel amplamente utilizado como combustível em veículos, navios e indústrias em todo o mundo.
8	Tecnologia pronta para comercialização	Biodiesel de soja disponível no mercado brasileiro como uma alternativa sustentável ao diesel convencional em postos de combustível.
7	Demonstração completa em ambiente operacional	Implementação bem-sucedida da tecnologia de produção de biodiesel de soja em várias usinas, atendendo à demanda do Estado da Bahia
6	Demonstração da tecnologia em ambiente operacional	Operação de uma usina de biodiesel em escala comercial, produzindo e distribuindo biodiesel aos consumidores.
5	Testes em ambiente relevante para validar a tecnologia	Testes de produção na planta piloto da UFBA, utilizando óleo de soja.
4	Testes em ambiente simulado para avaliar a viabilidade tecnológica	Simulação computacional do processo de produção de biodiesel em um reator industrial em escala reduzida.
3	Testes em pequena escala para comprovar a viabilidade técnica	Produção de biodiesel em um reator de pequeno porte, utilizando óleo de soja como matéria-prima.
2	Experimentos iniciais para validar o conceito	Testes de laboratório para avaliar a eficiência de um catalisador para a reação de transesterificação.
1	Conceito inicial ou tecnologia teórica	Estudo sobre a transesterificação de óleos vegetais de soja para produção de biodiesel.

¹⁶ Levando em consideração a matéria-prima utilizada para produzir biodiesel via transesterificação. Exemplo: o biodiesel de soja encontra-se no nível 9, pois é uma tecnologia bem estabelecida e amplamente utilizada em escala comercial. Já o biodiesel de microalgas está em um nível de TRL baixo a intermediário, pois é uma tecnologia em desenvolvimento e ainda não é amplamente utilizada comercialmente.

¹⁷ Conceito originalmente desenvolvido pela NASA em 1974 para descrever a maturidade de uma determinada tecnologia em relação ao seu ciclo de desenvolvimento, ou seja, desde a fase conceitual até a comercialização. Ele faz uso de uma escala de 1 a 9 (sendo 1 o nível de prontidão mais baixo e 9 o mais alto), indicando se uma tecnologia ainda está em um estágio inicial de desenvolvimento ou se está pronta para ser comercializada (NASA, 2012).

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (NASA, 2012).

Os elementos críticos por trás da tecnologia que envolve esse biocombustível, como matérias-primas, processos de produção, catalisadores, propriedades físico-químicas, aplicações e a eficácia na redução de GEE, foram testados e qualificados para produção e comercialização em larga escala, o que torna esse biocombustível confiável para atender às demandas energéticas de forma eficiente (GEBREMARIAM et al., 2017; IEA BIOENERGY, 2020).

Não por acaso, o biodiesel se tornou o principal biocombustível para a descarbonização do modal rodoviário, responsável por cerca de 75% do uso global de energia do setor transporte e com baixa participação de energias renováveis: 3,1% biocombustíveis e 0,3% eletricidade renovável em 2019 (REN21, 2021).

Este capítulo está dividido em três tópicos. O primeiro apresenta e discute alguns conceitos considerados importantes sobre diesel, biocombustíveis e biodiesel. O segundo explora a evolução tecnológica do biodiesel ao longo do tempo, relacionando-a com os níveis de TRL e destacando as principais ações. Por fim, o terceiro tópico mostra e discute a abordagem de ARS e redes complexas, utilizada para revelar as principais ICTs, grupos e atores envolvidos no desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil. Pretende-se com isso revelar a complexa rede de fatores que ajudaram a moldar a P&D do biodiesel no país.

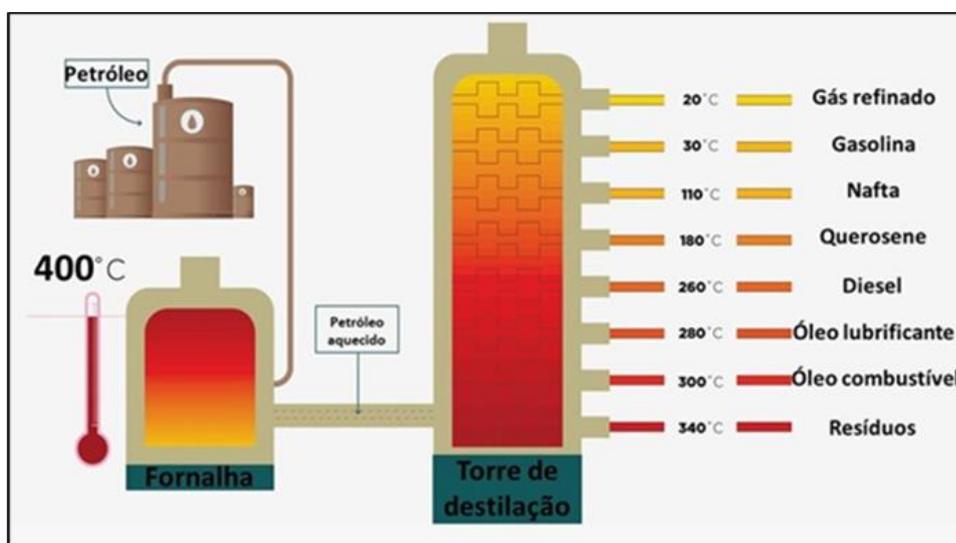
2.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS

Na literatura disponível sobre combustíveis fósseis e biocombustível existem vários termos que podem ser confundidos ou usados de forma ambígua ou intercambiável, gerando confusão ou imprecisão na comunicação. Assim, sua correta definição torna-se fundamental para garantir precisão e clareza nas discussões e análises sobre os assuntos abordados nesta tese.

2.1.1 Diesel

O diesel, também chamado de óleo diesel, gasóleo e petrodiesel, é um combustível utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão que equipam a maioria dos veículos e máquinas pesados. Trata-se um óleo obtido da destilação fracionada do petróleo bruto¹⁸ (Figura 1) em temperaturas entre 200 - 350 °C à pressão atmosférica, resultando em um composto de hidrocarbonetos contendo 8 a 21 átomos de carbono e, em menor proporção, por hidrogênio, enxofre, nitrogênio e oxigênio. Seu conteúdo energético ($38,3 \text{ MJL}^{-1}$) é superior ao da gasolina ($34,7 \text{ MJL}^{-1}$) (ADVANCED BIOFUELS USA, 2020; GUO; SONG; BUHAIN, 2015). Em termos de rendimento de produto, cada barril de petróleo com o volume 158,98 litros rendem 63,59 litros de diesel em média ou 40% do barril.

Figura 1 - Esquema de produtos originados da destilação fracionada do petróleo bruto



Fonte: adaptado de ASMIRG (2020)

Como visto no Capítulo 1, o diesel é amplamente utilizado na atividade de transporte, especialmente no transporte de carga. Além disso, ele é usado na geração de energia em usinas termoelétricas em regiões off-grid na região amazônica ou em caráter excepcional e temporário como nos períodos de seca que afetam a geração de energia nas hidrelétricas (SILVA JUNIOR, 2013). Em 2019, o diesel respondeu 45% da matriz veicular e por 16,8% do consumo final de energia no Brasil (EPE, 2020d).

¹⁸ O diesel também pode ser produzido com altíssimo grau de pureza a partir de gás natural em um processo conhecido como tecnologia GTL (Gas-two-liquids).

No mercado nacional, quatro tipos básicos de diesel são comercializados e classificados de acordo com uso (Quadro 2), ficando sob a responsabilidade de regulação e fiscalização da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Quadro 2 - Tipos de óleo diesel comercializado atualmente no Brasil

Tipo Diesel	Descrição	Uso	Destinação
S10	Teor máximo de 10 mg/kg de enxofre total	Rodoviário	Destinado a veículos homologados segundo os critérios da fase P7 do Proconve (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores), que atende a padrões mais rígidos de controle de emissões.
S500	Teor máximo de 500 mg/kg de enxofre total	Rodoviário	Veículos automotivos Máquinas agrícolas Máquinas de construção Máquinas industriais
Diesel Termelétrico Ferroviário Mineração	Teor máximo de 1800 mg/kg de enxofre	Não rodoviário	Mineração a céu aberto Transporte ferroviário Geração de energia elétrica
Diesel Marítimo	Enxofre Total máximo de 0,5 % da massa	Aquaviário	Embarcações de médio e pequeno porte

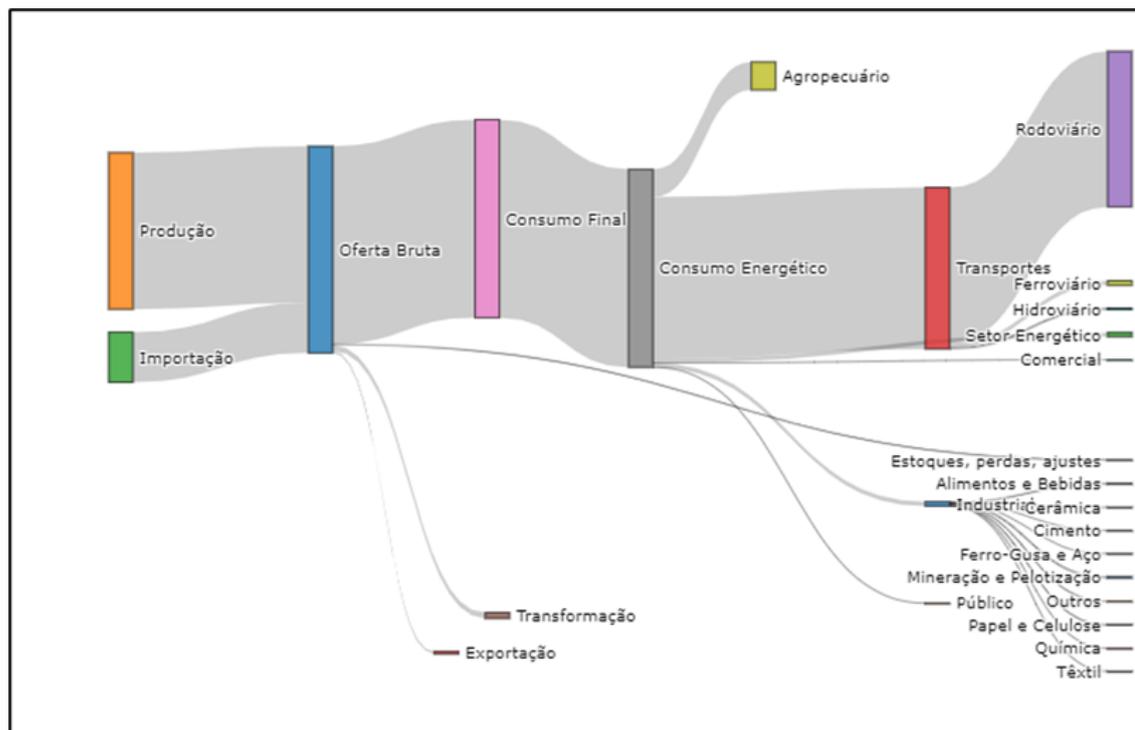
Fonte: elaborado pelo autor com informações da ANP (2019)

Outro combustível comercializado no país e utilizado em motores diesel/diesel-elétrico para propulsão naval é o óleo combustível marítimo ou bunker, produzido a partir de formulações contendo frações pesadas da destilação do petróleo como resíduos e outros óleos diluentes, possuindo limite máximo do teor de enxofre de 3,5% da massa e utilizado por navios de grande porte (PETROBRAS, 2014).

No que tange a adição de biodiesel ao diesel mineral, duas classificações são adotadas no Brasil: (i) Diesel A, quando não recebe adição de biodiesel e (ii) Diesel B, quando é feita a adição obrigatória de biodiesel ao diesel de acordo com o percentual de mistura estabelecido pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), à exceção do transporte aquaviário, bunker e autoprodução no setor de transformação. As características de qualidade desses dois tipos de diesel são especificadas na resolução ANP 50/2013 (ANP, 2019).

Em 2019, o consumo de diesel, sem a adição de biodiesel, foi de 53,7 MM m³, onde 40,7 MM m³ foram produzidos internamente e outros 13 MM m³ importados (ANP, 2020a). Majoritariamente, a oferta de diesel no Brasil tem como principal destino o modal rodoviário (81,6%) e pequenas frações destinadas a outros modais e segmentos econômicos (EPE, 2020b), como pode ser visto na Figura 2. A média de consumo de diesel pelo modal rodoviário no país é superior à média mundial, que gira em torno de 50% (REN21, 2020).

Figura 2 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil



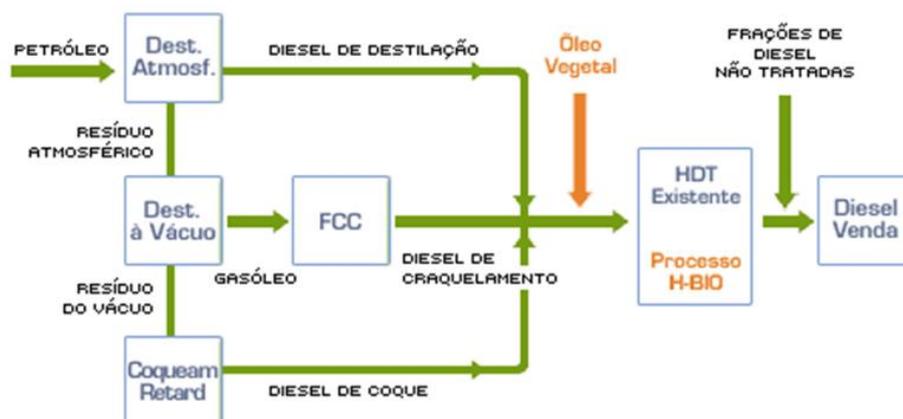
Fonte: EPE (2020b)

Com relação a fatores ambientais, a composição do diesel faz dele o poluente de hidrocarbonetos mais perigoso (HEWELKE et al., 2018) e a preocupação com a exposição das pessoas aos gases (monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio) e materiais particulados (carbono, enxofre, nitrogênio, entre outros) liberados na fumaça expelida pelos motores do ciclo diesel levou a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer a classificá-la como cancerígena para humanos, associando-a ao risco aumentado de morte prematura ocasionadas por câncer de pulmão e outras doenças respiratórias e cardiovasculares (IARC, 2012; INCA, 2018).

Não por acaso, uma das justificativas utilizadas para adoção do biodiesel no Brasil foi a contribuição que esse biocombustível poderia dar na redução de emissões de poluentes ao ser misturado ao diesel, contribuindo na redução de internações hospitalares e mortes relacionadas à poluição do ar em grandes cidades. Estima-se que a adoção de 20% de biodiesel ao diesel (B20) evitaria 4.837 internações hospitalares e 687 mortes nas seis maiores capitais brasileiras: São Paulo, São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Salvador, Fortaleza e Belo Horizonte (FGV; UBRABIO, 2010).

Também fazendo uso dessa justificativa e com a intenção de conquistar um percentual da fatia da demanda reservada ao biodiesel, a Petrobras retomou em 2019 o projeto de comercializar diesel coprocessado com óleos vegetais, exclusivo da companhia (ARANDA; TOKARSKI, 2020). Neste processo, um percentual de até 10% de óleo vegetal é misturado ao diesel e submetido ao processo de hidrotratamento, onde o enxofre do diesel é removido e o óleo vegetal é transformado em hidrocarbonetos com as mesmas características dos hidrocarbonetos encontrados no diesel. Esse processo foi desenvolvido no Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) e patentado em 2005, recebendo o nome conhecido como H-Bio, cujo esquema de produção pode ser visto na Figura 3 (TAPANES et al., 2013).

Figura 3 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil



Fonte: Tapanes et al. (2013)

Com esse produto, a Petrobras espera obter benefícios do RenovaBio, mas o programa não prevê a participação de combustíveis coprocessados, sendo necessária modificação na Lei nº 13.576 de 2017, que instituiu seu marco legal (ARANDA; TOKARSKI, 2020).

Por fim, é importante ressaltar que o diesel tem uma grande importância para economia brasileira, pois é um propulsor da indústria nacional de refino de petróleo e o aumento no seu consumo é um indicativo de aquecimento da atividade econômica, já que a matriz de transporte de bens e mercadorias no país baseada no modal rodoviário apresentam uma correlação bastante elevada.

O diesel influencia fortemente a cadeia de custos do transporte rodoviário e variações no seu preço impactam diretamente no valor do frete e indiretamente na formação de preço de inúmeros produtos e serviços e pressões inflacionárias (CNT, 2020), além da tensão social decorrente das constantes ameaças de greve por parte dos caminhoneiros autônomos devido à

insatisfação com a política de paridade de preços internacionais para reajuste de combustíveis adotada pela Petrobrás.

2.1.2 Biomassa e bioenergia

Até meados do século 19, a biomassa foi a fonte de energia mais consumida em todo o mundo com 477 Mtep, perdendo espaço ao longo do século XX para o carvão, petróleo, gás e a hidroeletricidade (RITCHIE; ROSER, 2020). Em 2019, ela representou cerca de 11,6%, ou 1.051 Mtep, do consumo final de energia utilizada no planeta, tornando-se um insumo estratégico no processo de descarbonização das matrizes energética e de transporte (REN21, 2021).

Conceitualmente, a biomassa é a fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da agricultura (incluindo substâncias de origem vegetal e animal), da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA; PARLAMENTO EUROPEU, 2009). Trata-se de um recurso renovável que possui entre seus principais componentes lipídicos, encontrados nos ácidos graxos¹⁹, utilizados na produção de biodiesel (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008; NANDA et al., 2018).

A biomassa, como fonte de energia, possui vantagens e desvantagens ambientais que estão diretamente relacionadas com a forma como é produzida e utilizada. Em termos de uso energético, ela pode ser dividida em três grupos: (i) resíduos orgânicos provenientes de atividades agropecuárias, agroindustriais e urbanas; (ii) plantas lenhosas, como a madeira; e (iii) plantas não lenhosas, que são as mais utilizadas na produção de biocombustíveis (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008; NANDA et al., 2018; SÁNCHEZ et al., 2019).

A conversão dos recursos derivados da biomassa em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e em energia em forma de calor e eletricidade é denominado bioenergia, sendo esta a maior fonte de energia neutra em carbono do mundo (ELSHOUT et al., 2019; IEA, 2017, 2019) e que desempenha um papel relevante em setores difíceis de eletrificar e altamente dependentes do petróleo (AYADI et al., 2016). Além disso, ela é considerada essencial para o

¹⁹ Composto químico formado por cadeias hidrocarbonadas de comprimento variado (4 a 36 carbonos) e um grupamento carboxila (—COOH) nas extremidades.

desenvolvimento da bioeconomia e da economia circular ao promover a utilização eficiente dos recursos naturais e ajudar na mitigação das mudanças climáticas.

A Agência Internacional de Energia (EIA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) classificam a bioenergia como tradicional e moderna. A bioenergia tradicional utiliza lenha, carvão vegetal e esterco para produzir energia, mas é altamente poluente e ineficiente. Já a biomassa moderna utiliza tecnologias avançadas e mais eficientes para converter a biomassa em energia, resultando em menor impacto ambiental e maior rendimento energético, o que a torna importante para a transição de um sistema energético mais sustentável e de baixo carbono (IEA, 2017)

O principal uso da biomassa moderna como insumo energético está na produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica, energia elétrica e biocombustíveis líquidos (MARAFON et al., 2016). O Quadro 3 traz as principais vias de conversão da energia primária contida na biomassa em outras formas de energia secundária.

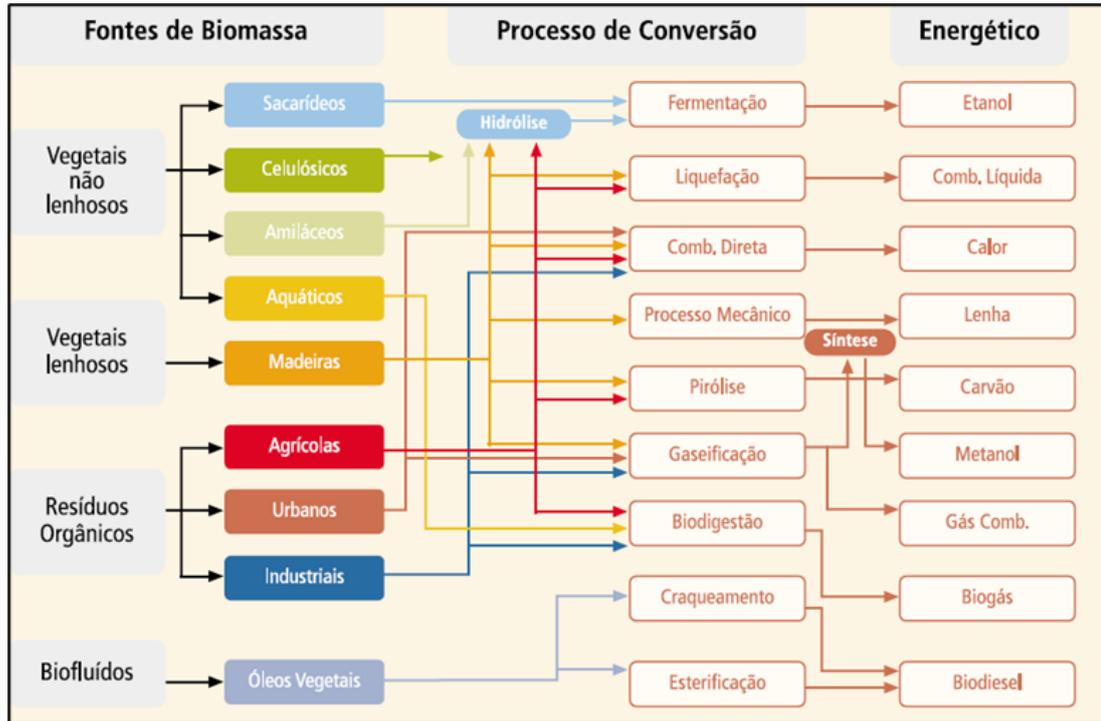
Quadro 3 - Principais vias de conversão da biomassa

Processo		Descrição
Conversão termoquímica	Combustão	A biomassa e o oxigênio são combinados em altas temperaturas para formar dióxido de carbono, vapor de água e calor.
	Pirólise	Processo onde a biomassa é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas em ambiente desprovido de oxigênio.
	Gaseificação	Processo de conversão termoquímica da biomassa em uma mistura combustível de gases, chamada gás de síntese.
	Liquefação	Transformação da biomassa em produtos líquidos através de um processo a altas pressões (50-200 atm) e temperaturas moderadas (280 a 370 °C).
	Craqueamento	Quebra das moléculas do óleo e gordura, levando à formação de uma mistura de compostos químicos com propriedades semelhantes às do diesel.
Conversão Bioquímica	Digestão anaeróbica	Processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio onde não há a presença de ar.
	Fermentação	Processo biológico anaeróbio em que os açúcares de vegetais são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos.
Conversão Físico-química	Transesterificação	Reação química que ocorre entre um éster e um álcool, formando um novo éster e álcool.

Fonte: Adaptado de Faaij (2006) Guo; Song; Buhain (2015); Tursi (2019).

A depender do tipo de via de conversão utilizada, diferentes tipos de produtos energéticos podem ser obtidos (Figura 4), sendo que muitas delas possuem alto grau de maturidade tecnológica (TRL 9) e estão disponíveis comercialmente para produzir biocombustíveis líquidos em larga escala, a exemplo da transesterificação para produção de biodiesel (IEA, 2017).

Figura 4 - Fluxo de oferta e demanda de diesel por setor em 2019 no Brasil



Fonte: Marafon et al. (2016)

Finalmente, é importante destacar que a bioenergia possibilita uma relação ganha-ganha para a segurança energética, o desenvolvimento econômico rural e os benefícios ambientais, pois além de contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa, ela apresenta grande potencial para a geração de emprego e renda em áreas rurais onde a biomassa é produzida, promovendo o crescimento econômico local (IRENA, 2020). Não por acaso, a bioenergia é considerada uma das principais opções para o Brasil alcançar suas metas de redução de emissões de GEE graças a disponibilidade de recursos e capacidade tecnológica para sua produção em larga escala.

2.1.3 Biocombustíveis líquidos

Embora tenham sido inicialmente propostos como uma alternativa para garantir a segurança energética frente à escassez do petróleo, os biocombustíveis líquidos são considerados hoje uma opção viável no combate às mudanças climáticas (AYADI et al., 2016).

No Brasil, biocombustíveis líquidos são definidos como substâncias derivadas da biomassa que podem ser utilizadas diretamente ou por meio de adaptações em motores de combustão interna ou em outras formas de geração de energia.

No Brasil, os biocombustíveis líquidos são definidos como substâncias derivadas da biomassa que podem ser empregadas diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia. Segundo regulamento da ANP, há quatro tipos de biocombustíveis - etanol, biodiesel, biometano e biocombustíveis de aviação - em uso no país e em diferentes estágios de maturidade tecnológica (ANP, 2018). Estes biocombustíveis representam 8% da matriz energética brasileira ante 1% da matriz energética mundial em 2019 (ANP, 2020c; COELHO, 2021).

Quanto à classificação dos biocombustíveis, esta varia de acordo com as políticas adotadas por cada país ou região. O Brasil não adota uma classificação específica para os biocombustíveis, mas o RenovaBio desempenha um papel importante na orientação e promoção dos biocombustíveis mais eficientes e ambientalmente responsáveis (DENNY, 2020).

Já os EUA adotam a divisão entre biocombustíveis convencionais e avançados, com base nas matérias-primas utilizadas em sua produção. Os biocombustíveis convencionais são derivados de amido, como milho e sorgo, enquanto os biocombustíveis avançados são obtidos de matérias-primas celulósicas ou avançadas, como cana-de-açúcar, beterraba, óleo vegetal, graxa residual e diesel renovável coprocessado com petróleo (US EPA, 2015).

Na UE, os biocombustíveis são classificados por gerações, levando em consideração a origem da biomassa utilizada para sua produção e seus impactos ambientais. Dessa forma, tem-se os biocombustíveis de primeira geração (culturas alimentares), os de segunda geração (resíduos agrícolas e florestais) e os de terceira geração (algas ou outras fontes não alimentares). Assim, dez tipos de biocombustíveis para o setor de transporte são considerados na UE: etanol, biodiesel, biogás, biometanol, bioéter dimetílico, bio-ETBE (bio éter etil-ter-butílico), bio-MTBE (bio éter metil-ter-butílico), óleos vegetais diretos (SVO²⁰), hidrogênio verde (H2V) e biocombustíveis sintéticos (CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA; PARLAMENTO EUROPEU, 2003).

A UE também estabeleceu metas para o aumento da produção de biocombustíveis avançados, visando minimizar os impactos sociais e ambientais associados aos biocombustíveis

²⁰ Do inglês straight vegetable oil, também chamado de pure plant oil (PPO). Termos utilizados para diferenciar os óleos vegetais puros do biodiesel.

convencionais, sendo mais rigorosa em relação aos biocombustíveis de primeira geração e seus impactos ambientais e sociais do que os Estados Unidos e o Brasil (AYADI et al., 2016).

Contudo, a IEA chama a atenção para o fato de que um mesmo biocombustível pode ser classificado dentro de diferentes gerações quando e sugere uma classificação baseada nos seguintes parâmetros: matéria-prima utilizada na sua produção, nível de maturidade tecnologia e o balanço de emissões de GEE para classificá-los como convencionais e avançados (IEA, 2011). Uma síntese das diferentes classificações de biocombustíveis pode ser vista no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificações usuais para biocombustíveis por alguns países

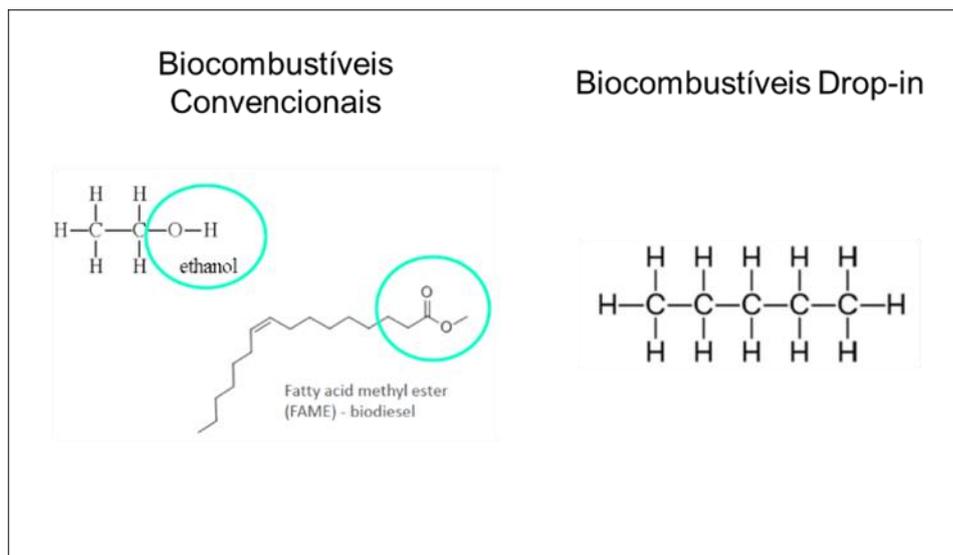
País ou Região	Classificação	Critérios
União Europeia (UE)	Gerações	- 1ª Geração: culturas alimentares
		- 2ª Geração: resíduos agrícolas e florestais
		- 3ª Geração: algas ou fontes não alimentares
Estados Unidos (EUA)	Convencionais e Avançados	- Convencionais: matérias-primas de amido
		- Avançados: matérias-primas celulósicas ou avançadas
Brasil	RenovaBio	- Eficiência energética
		- Redução de emissões de GEE
Agência Internacional de Energia (IEA)	Convencionais e Avançados	- Matéria-prima, maturidade tecnológica, balanço de emissões de GEE

Fonte: elaborado pelo autor

Ainda segundo a classificação adotada pela IEA, os biocombustíveis convencionais os produzidos a partir de matérias-primas que também são utilizadas como alimentos, possuem tecnologia e processos de produção bem estabelecidos e são restritos a misturas de até 30% com combustíveis fósseis ou em percentuais maiores desde que os motores sejam dedicados ou adaptados (IEA, 2011; IRENA, 2016). O biodiesel é considerado um combustível convencional em muitos países (GEBREMARIAM et al., 2017; KNOTHE, 2010b; LUQUE; MELERO, 2012) e será discutido em uma subseção específica.

Os biocombustíveis avançados possuem as mesmas especificações dos combustíveis de origem fóssil: livre de compostos aromáticos, oxigenados e enxofre, possuem baixa solubilidade em água e alto número de cetano e maior poder calorífico (Figura 5). São chamados de biocombustíveis *drop-in* para indicar que podem substituir 100% os combustíveis fósseis sem a necessidade de modificação dos motores e podem utilizar a mesma infraestrutura de produção desses combustíveis, abrindo também a possibilidade de serem utilizados em novos mercados, nomeadamente, aviação e marinho (IRENA, 2016; KARATZOS; MCMILLAN; SADDLER, 2014; KARGBO; HARRIS; PHAN, 2021; NOGUEIRA et al., 2020).

Figura 5 - Diferença entre biocombustíveis convencionais e avançados



Fonte: elaborado pelo autor com base em Karatzos; McMillan; Saddler (2014)

Os biocombustíveis avançados responderam por aproximadamente 7% do consumo global de biocombustíveis líquidos em 2020 (REN21, 2021) e o aumento na sua produção é estratégica para a descarbonização a longo prazo do setor de transporte, pois geralmente oferecem reduções mais significativas nas emissões de GEE do que os combustíveis fósseis e os biocombustíveis convencionais, mas o alto custo para produzi-los ainda impede sua comercialização em larga escala (REN21, 2020).

São considerados biocombustíveis *drop-in*: o combustível de aviação sustentável (SAF) ou bioquerosene renovável para aviação (BioQAV), produzidos de acordo com as definições da ASTM D7566 e ASTM D1655 dos EUA; a biogasolina segundo as especificações ASTM D4814 e EN 228 e; o Diesel renovável produzido de acordo com a ASTM D975 e EN 590 (IRENA, 2016).

Importante destacar que o diesel renovável, também conhecido por diversos nomes, como hidrogenação de ésteres e ácidos graxos (HEFA), diesel renovável derivado de hidrogenação (HDRD), diesel bio-hidrogenado, diesel parafínico renovável e diesel verde²¹, é um produto distinto do biodiesel e pode substituir totalmente o diesel sem a necessidade de adaptação no motor (ADVANCED BIOFUELS USA, 2020).

²¹ No Brasil, o diesel verde é aquele produzido pela rota de fermentação do caldo de cana-de-açúcar. Esse biocombustível encontra-se na fase de especificação pela ANP (ANP, 2020b).

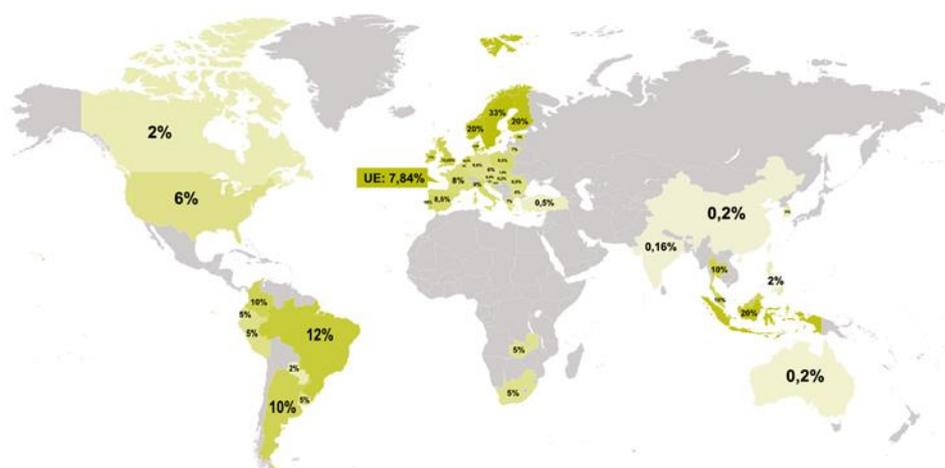
2.1.4 Biodiesel

Biodiesel²² é um termo consolidado e amplamente utilizado para se referir a um biocombustível composto de alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivado do processamento de fontes biológicas e com propriedades semelhantes ao diesel (Diesel A) (KNOTHE; RAMOS, 2007; MONTEIRO et al., 2008; REZENDE et al., 2021).

Esse combustível se destaca por ser biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos, não é corrosivo e não contribui para a intensificação do efeito estufa, pois emite menos partículas de hidrocarbonetos, monóxido e dióxido de carbono (PINTO et al., 2005). Ele pode ser utilizado puro (B100) ou misturado ao diesel em diferentes proporções: aditivo de lubricidade (B2), aditivo (B5) e misturas (B20 ou mais) (ALLEMAN et al., 2016).

Atualmente, o biodiesel vem sendo utilizado em pelo menos 49 países na forma de misturas que variam entre 5% e 20%, já que estas não exigem adaptações nos motores (Figura 6), e sua produção está concentrada em 11 países que respondem por 80% da produção global, destacando-se: Indonésia (17%), Estados Unidos (14,4%), Brasil (13,7%), Alemanha (7,4%), França (5,0%) e Holanda (4,6%) (REN21, 2021).

Figura 6 - Mandatos direto e indireto de uso de biodiesel ao diesel em 2020



²² Quanto à origem do termo biodiesel, não há um consenso. Alguns autores defendem que o termo “Bio-Diesel” apareceu primeiramente na revista australiana *Power Farming* em 1984 e foi adotado posteriormente na literatura sem a hifenização (BALASUBRAMANIAN; STEWARD, 2019). Outros atribuem sua origem a um artigo publicado em um jornal chinês em 1988 (KNOTHE, 2010a) ou ao artigo *Determination of saponifiable glycerol* in “Bio-Diesel”, publicado em meados de 1991 (VAN GERPEN et al., 2004).

Fonte: Torroba (2021)

O biodiesel vem desempenhando um papel cada vez mais importante na matriz energética global, sendo um dos principais biocombustíveis utilizados na descarbonização da atividade de transporte com 46,8 bilhões de litros consumidos em 2020 (REN21, 2021).

Além disso, ele tem sido utilizado em sistemas de aquecimento residencial, comercial e industrial nos Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Suécia, Finlândia, Noruega e outros países, sendo misturado ao óleo de aquecimento com baixo teor de enxofre. Conhecido como *Bioheat*, esse uso do biodiesel representa uma nova oportunidade para esse produto graças às políticas governamentais de incentivo ao uso de fontes de energia limpas (NBB, 2022).

No Brasil, o biodiesel é definido pela Lei nº 11.097/2005, artigo 4º, inciso XXV como um “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).

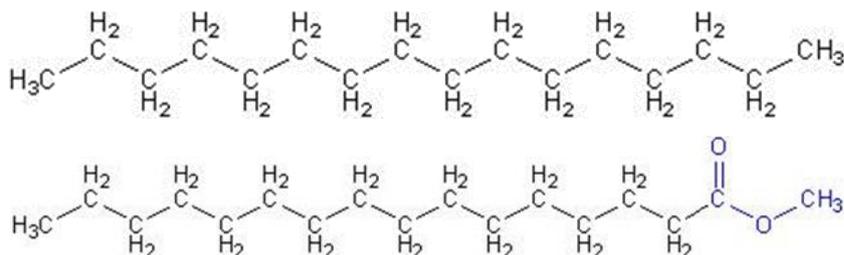
Por se tratar de uma definição ampla, a Lei nº 11.097 delegou à ANP a incumbência de definir o que vem a ser biodiesel para o mercado brasileiro. Assim, de acordo com a Resolução ANP Nº 45/2014, o biodiesel é um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda à especificação contida no Regulamento Técnico, parte integrante desta Resolução” (ANP, 2014).

Essa definição é compatível com as normas que estabelecem as especificações de qualidade para o biodiesel nos EUA (ASTM D975 e ASTM D14214) e na Europa (EN 14214). No entanto, a EN 14214 possui uma definição mais restritiva, limitando o biodiesel aos monoalquil ésteres produzidos apenas com metanol (*Fatty Acid Methyl Esters* ou *FAME*), embora seja possível produzi-lo utilizando outros álcoois, como o etanol, resultando em ésteres etílicos de ácidos graxos (*Fatty Acid Ethyl Esters* ou *FAEE*). Os *FAME* e *FAEE* são considerados internacionalmente como biocombustíveis produzidos a partir da rota de esterificação/transesterificação de materiais graxos para serem utilizados em motores a diesel (ANP, 2020b).

Quimicamente, o biodiesel é um composto formado por ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeia longa produzido a partir da transesterificação de óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais ou pela esterificação de ácidos graxos, via reação com um álcool de cadeia curta na presença de um catalisador que pode ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático (RAMOS et al., 2011). Sua molécula é semelhante ao diesel comum, apresentando uma cadeia

longa de carbonos (C14 a C22) e hidrogênio e um grupo de éster, destacado na cor azul da Figura 7.

Figura 7 - Moléculas de diesel versus molécula de biodiesel



Fonte: Gebremariam et al. (2017)

É importante salientar que SVO, gordura de animal e óleo e gordura residual (OGR) não podem ser considerados como biodiesel e sua utilização como combustível deve ser evitada devido à alta viscosidade²³ em comparação com o diesel. Sua utilização, mesmo em concentrações baixas, pode causar danos aos motores como ocorrência de depósitos de carbono, obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores, diluição parcial do combustível no lubrificante e comprometimento da durabilidade do motor no longo prazo (DOE, 2021; QUINTELLA et al., 2009).

Embora muitos autores afirmem que o biodiesel possa ser obtido por meio de diferentes processos: microemulsões, pirólise, reações de esterificação e transesterificação (PINTO et al., 2005; REZENDE et al., 2021), a ANP reconhece como rota tecnológica para a produção comercial de biodiesel no Brasil a transesterificação e a esterificação (EPE, 2020c).

A transesterificação é uma reação bem conhecida e utilizada em escala industrial para melhorar a separação da glicerina durante a produção de sabão desde a década de 1940. Sua utilização como método de obtenção de biodiesel é o mais utilizado na atualidade por ser simples e relativamente barato, permitindo sua utilização em larga escala (GERPEN, 2007; PAHL, 2008).

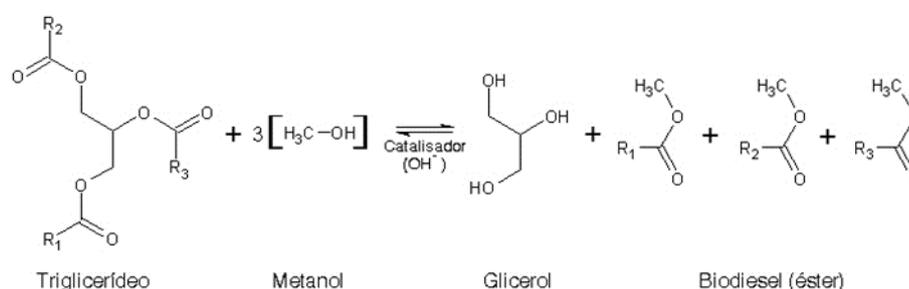
Nesta reação, um triglicerídeo reage com um álcool na presença de um catalisador (base ou ácido) ou não (condições supercríticas), dando origem a ésteres de ácidos graxos (biodiesel)

²³ Contudo, o biodiesel e o HVO são combustíveis processados de SVO. Quanto à viscosidade, esta ocorre devido à molécula de glicerina, sendo necessária sua quebra para deixá-la mais próxima do tamanho da molécula do diesel comum (ALLEMAN et al., 2016).

e glicerol (glicerina), que é removido do biodiesel (Figura 11). Dessa forma, o biodiesel torna-se um óleo mais fino, menos viscoso e com características físico-químicas semelhantes às do diesel, mas com a vantagem de ser menos poluente, biodegradável, renovável e não corrosivos (ALLEMAN et al., 2016; KNOTHE, 2010b).

Na transesterificação ocorre uma sequência de três etapas consecutivas e reversíveis, com di e monoglicerídeos como intermediários, e as proporções estequiométricas são três mols de álcool por mol de triglicerídeo, entretanto algum excesso de álcool é necessário para aumentar o rendimento da conversão, permitindo a posterior separação dos ésteres do glicerol. A transesterificação é mais adequada para óleos com baixo teor de ácidos graxos livres e seu esquema pode ser visto na Figura 8 (VAN GERPEN et al., 2004).

Figura 8 - Esquema da Reação de transesterificação de triglicerídeos



Fonte: Gebremariam et al. (2017)

Os principais tipos de transesterificação são descritos no Quadro 5.

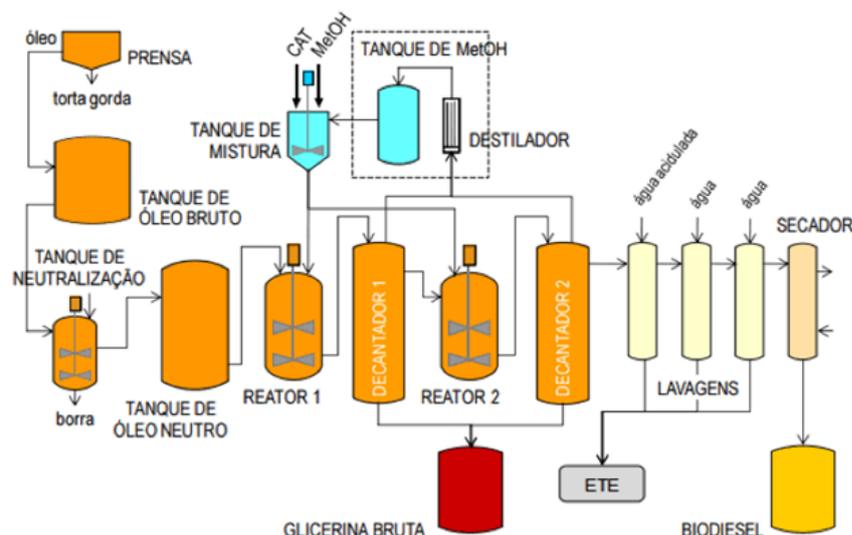
Quadro 5 - Tipos de transesterificação

Tipo	Descrição
Homogênea	Ocorre a reação química entre o óleo vegetal ou gordura animal e um álcool, (metanol ou etanol), na presença de um catalisador alcalino, como hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). A reação ocorre em uma única fase líquida, acelerada pelo catalisador alcalino. É um processo amplamente utilizado na produção em grande escala de biodiesel devido à sua eficiência e simplicidade.
Heterogênea	Ocorre a reação entre o óleo vegetal ou gordura animal e um álcool na presença de um catalisador sólido, como óxido de cálcio (CaO) ou argilas ativadas. O catalisador sólido facilita a reação química e promove a separação das fases líquidas após a reação. Esse processo tem sido objeto de pesquisa e desenvolvimento, devido à possibilidade de redução de custos e maior flexibilidade em relação aos catalisadores alcalinos.
Transesterificação supercrítica	Ocorre em condições de alta pressão e temperatura, utilizando um solvente supercrítico. Embora apresente algumas vantagens, sua aplicação comercial ainda é limitada devido às exigências de equipamentos especiais e aos custos envolvidos. A transesterificação supercrítica ainda é considerada uma tecnologia de baixo nível de maturidade, ou seja, uma técnica em desenvolvimento e sua aplicação em larga escala na produção de biodiesel ainda é limitada.

Fonte: elaborado pelo autor com base em NBB (2022); Ramos et al. (2011)

Vale ressaltar que a transesterificação por catálise homogênea básica requer a utilização de matérias-primas com elevada pureza, ou seja, os óleos vegetais ou as gorduras animais devem estar isentos de impurezas, como água, ácidos graxos livres e outros compostos, para que a reação de transesterificação ocorra de forma eficiente. Essa exigência de alta pureza das matérias-primas pode elevar os custos do processo de produção de biodiesel (Figura 9) devido a necessidade de uma etapa adicional de purificação ou pré-tratamento Ramos et al. (2011).

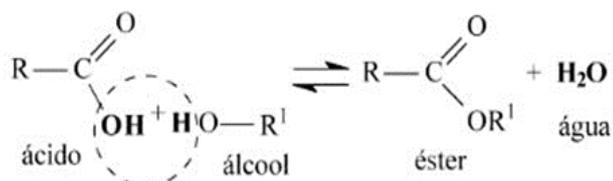
Figura 9 - Esquema da Reação de transesterificação de triglicerídeos



Fonte: Ramos et al. (2011)

A segunda rota tecnológica para a produção comercial no Brasil reconhecida pela ANP é a esterificação (Figura 13), uma reação química que ocorre entre um ácido graxo e um álcool para formar ésteres e água como subproduto. Diferente da transesterificação (Figura 10), os ácidos graxos são transformados em diretamente no processo de esterificação. Contudo, por ser uma reação lenta, faz-se necessário o aumento da temperatura e a presença de um catalisador para acelerar a sua velocidade (BERGMANN et al., 2013; RAMOS et al., 2011).

Figura 10 - Equação geral de uma reação de esterificação



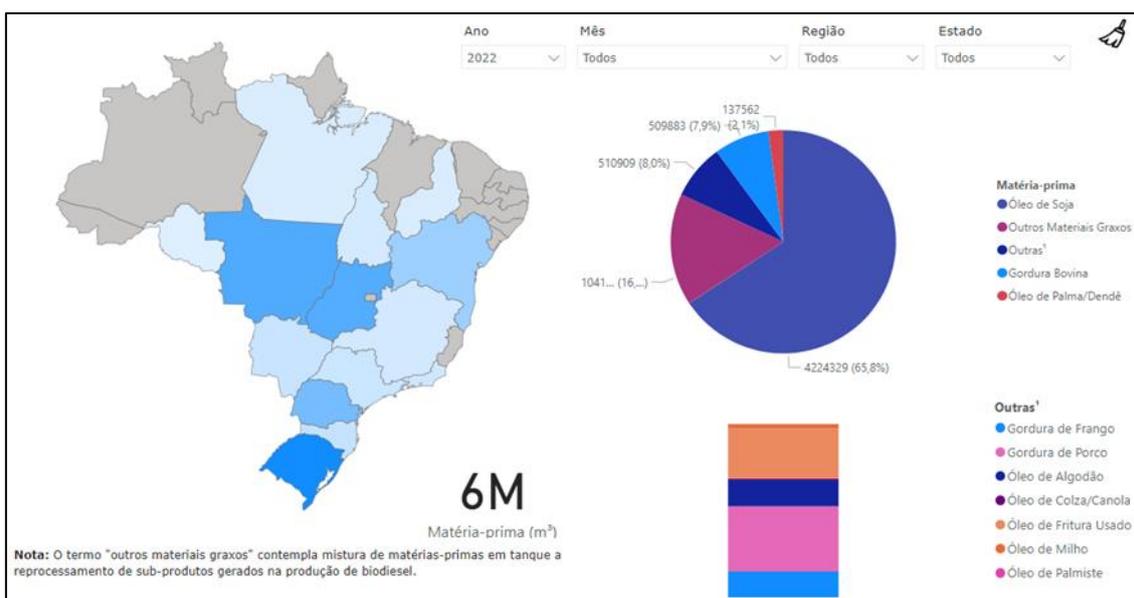
Fonte: Gebremariam et al. (2017)

Geralmente, a esterificação é recomendada para a produção de biodiesel a partir de óleos com alto teor de acidez (> 5), como óleos e gorduras residuais (OGR) e óleo vegetais de baixa qualidade. Ao fazer uso dessas matérias-primas e de catalisadores ácidos, que são mais acessíveis e econômicos, a esterificação contribui para tornar o biodiesel mais competitivo em comparação ao diesel de petróleo em termos de custo final (BERGMANN et al., 2013).

Com relação às matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no mundo, os óleos vegetais respondem por 75% (20% óleo de colza, 25% óleo de soja e 30% óleo de palma), enquanto os OGR representam cerca de 25%. Neste cenário, a busca pela diversificação do mix matérias-primas para a produção de biodiesel deverá continuar no intuito de reduzir a dependência dos óleos de soja, colza ou palma, mitigar impactos ambientais e diminuir a pressão sobre o uso de terras agrícolas e a competição com a produção de alimentos (OECD; FAO, 2021).

No Brasil, a produção de biodiesel é dependente da soja e do sebo, enquanto as demais fontes de oleaginosas tiveram uma participação quantitativamente pequena, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil em 2022



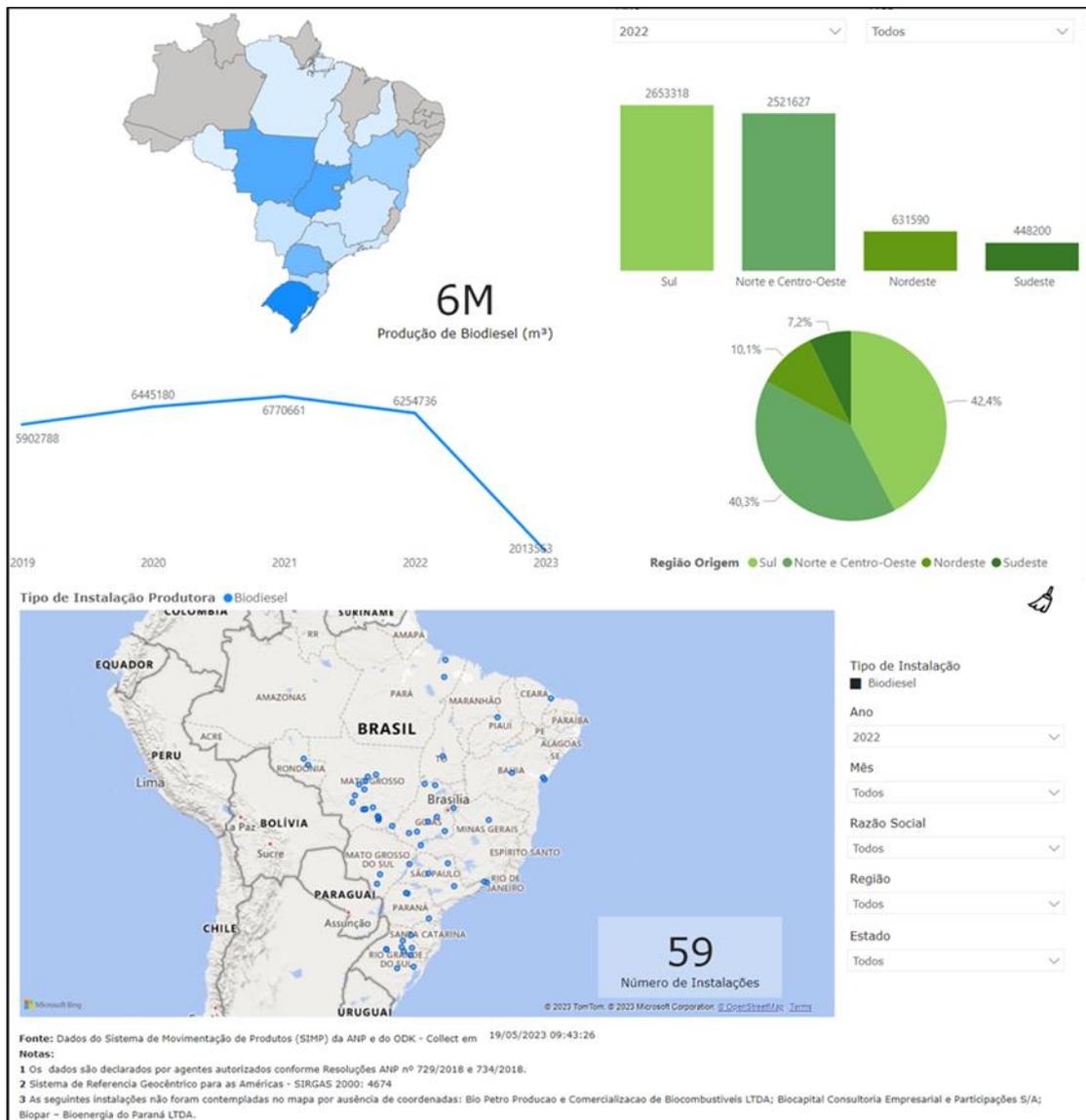
Fonte: adaptado de ANP (2022)

Atribui-se o domínio da soja ao atendimento pleno de três parâmetros básicos do PNPB - domínio tecnológico, escala de produção e logística, mesmo sendo uma oleaginosa com baixa

densidade energética e apresentando riscos, principalmente no aspecto mercadológico (CSOB, 2019).

Essa concentração evidencia a necessidade de expandir o uso de outras oleaginosas para além da soja, no intuito de garantir o suprimento contínuo de matérias-primas e reduzir a pressão nos preços em decorrência do aumento de exportação dessa *commodity*. Além disso, o uso de outras oleaginosas promoveria a descentralização da produção de biodiesel concentrada nas regiões produtoras de soja (Figura 12), o que contribuiria também para aspectos socioambientais do PNPB como a inclusão da agricultura familiar nas regiões mais carentes do país (MILANEZ et al., 2022).

Figura 12 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil em 2022

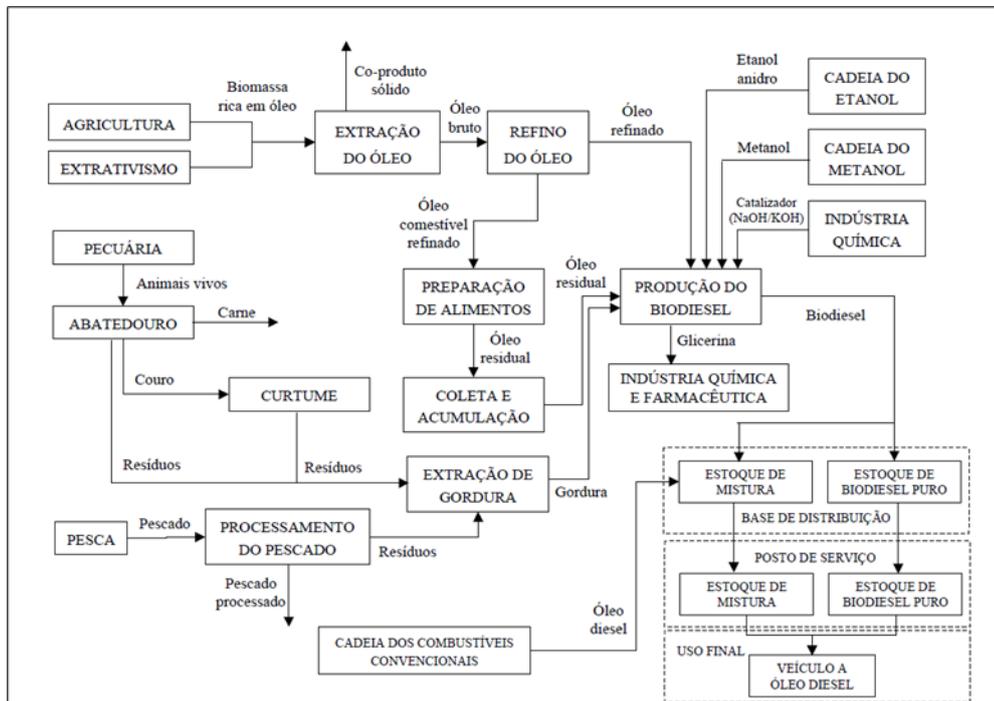


Fonte: adaptado de ANP (2022)

Neste sentido, a Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção estabeleceu como meta a ampliação do uso de outras matérias-primas (exceto soja e sebo) para 15% na matriz de óleos usados para a produção de biodiesel até 2028. Seriam promovidas as matérias-primas de menor custo e com possibilidade de produção pela agricultura familiar (CSOB, 2019; MCTIC, 2018).

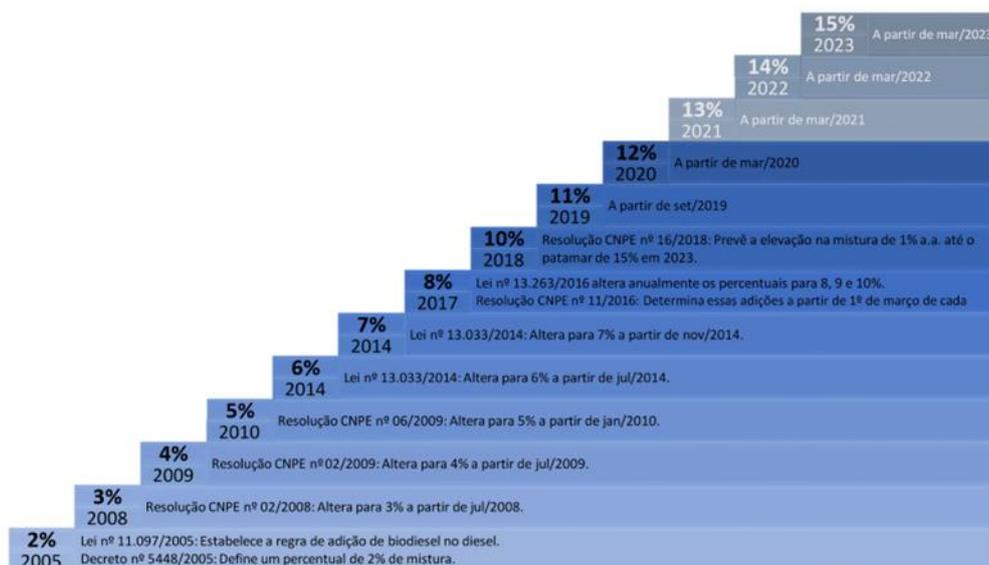
Para o fechamento desta seção, é importante lembrar que a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil é composta de diversos segmentos que vão desde a produção de insumos, à fabricação de matéria-prima, à industrialização do produto, à distribuição e o consumo do produto final, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Esquema da estruturação da cadeia produtiva do biodiesel no Brasil



Fonte: Rocha (2013)

Todos esses componentes estão inseridos num ambiente institucional regido por leis e normas e, com a participação de organizações de interesse público e privado que atuam ao longo da cadeia. A organização dessa cadeia e a sinergia de seus componentes permitiram uma rápida elevação da mistura de biodiesel com o diesel (Figura 14), fazendo do Brasil um dos maiores produtores e consumidores desse biocombustível.

Figura 14 - Evolução do teor percentual obrigatório de biodiesel no Brasil

Fonte: EPE (2020c)

As ICTs desempenharam um papel relevante no desenvolvimento do biodiesel no Brasil e no aumento da sua mistura ao diesel, com diversas atividades, como a condução de pesquisas e estudos para aprimorar os processos de produção do biodiesel, explorando diferentes matérias-primas, catalisadores e tecnologias. Além disso, elas foram responsáveis pela transferência de conhecimento e tecnologia para o setor produtivo, contribuindo também para a criação de regulamentos e normas técnicas, e promoção de programas de capacitação e treinamento para profissionais da indústria do biodiesel. Muitas dessas ações são discutidas com mais detalhes na próxima seção.

2.2 BIODIESEL: PESQUISA E INOVAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

A experiência internacional e doméstica no desenvolvimento tecnológico do biodiesel é longa e variada para ser abrangida em um único capítulo. Nesta seção, são apresentados os eventos mais importantes, na visão do autor, envolvendo: (i) as primeiras ideias e pensamentos sobre o uso de SVO como combustível até a adaptação dessas ideias para o biodiesel; (ii) os esforços de pesquisa durante a crise dos choques do petróleo na década de 1970 até o final da década de 1980; e (iii) as decisões de investir no desenvolvimento da indústria do biodiesel a

partir da década de 1990. O envolvimento do Brasil em P&D do biodiesel é abordado à parte em subseções específicas para melhor entendimento.

Com isso, busca-se responder ao objetivo específico “descrever a trajetória histórica do desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil, analisando como as políticas industriais e de ciência e tecnologia influenciaram sua evolução”.

2.2.1 Da promessa ao quase esquecimento

Óleos vegetais e gorduras animais têm sido utilizados como combustível para iluminação, aquecimento ou cozimento há tempos. O óleo de baleia²⁴, por exemplo, tornou-se o primeiro biocombustível líquido comercializado como commodity global devido sua ampla utilização na iluminação e em diversos ramos da manufatura, da navegação e da construção durante a primeira revolução industrial (COLEMAN, 1994).

No final do século XIX, Rudolf Diesel, o inventor do motor diesel, fez testes com óleo *in-natura* de amendoim em seus motores, demonstrando seu funcionamento anos depois na Exposição Universal de Paris²⁵ (AOYAGI, 2017; BACKHAUS, 2017; KNOTHE, 2010a). A partir de então, os óleos vegetais começaram a ser considerados uma excelente alternativa energética, sendo testado em diferentes países (AOYAGI, 2017).

Em 1911, houve a primeira menção à transesterificação de óleos vegetais como forma de melhorar suas propriedades para uso na indústria química no Journal of the American Chemical Society. Atualmente, a transesterificação é o processo central que permite a conversão de óleos vegetais e gordura animal em biodiesel (GERPEN, 2007).

Na busca por propriedades físico-químicas em óleos vegetais que fossem mais semelhantes ao diesel, o pesquisador Charles G. Chavanne, da Universidade de Bruxelas, obteve a patente²⁶ da reação de transesterificação em 1937. Essa reação foi usada para reduzir a viscosidade dos óleos vegetais e melhorar sua combustão em motores diesel, sendo

²⁴ No Brasil óleo de baleia era utilizado na iluminação dos engenhos, enquanto o azeite de oliva e óleo de rícino eram preferencialmente usados na iluminação de casas e capelas (COMERLATO, 2010).

²⁵ Atribui-se a utilização do óleo de amendoim a um pedido do governo francês, que esperava utilizá-lo em motores nas suas colônias africanas para estimular o desenvolvimento agrícola e a autossuficiência energética com a redução das importações de óleo combustível e o carvão (KNOTHE; RAMOS, 2007)

²⁶ Patente BE 422.877 - Procédé de transformation d'huiles végétales em vue de leur utilisation comme carburants.

considerada o primeiro registro conhecido sobre o uso de ésteres de óleos vegetais como combustíveis (GERPEN, 2007; RAMOS et al., 2011).

Os trabalhos de Chavanne constituem um importante legado no meio científico, ao abrir caminho para a realização de pesquisas com transesterificação em países como EUA, Brasil, Alemanha, Indonésia e Índia, que atualmente desfrutam de importantes posições no mercado mundial de biodiesel (SANI; DAUD; ABDUL, 2012).

Já na década de 1960, a Universidade do Estado de Ohio conduziu experimentos envolvendo um blend de óleos transesterificado de algodão e milho com diesel, denominado de "dual fuel". Este projeto destacou a competitividade econômica do biodiesel comparado ao diesel fóssil e ajudou a orientar pesquisas futuras sobre tecnologias de produção de biodiesel mais eficientes e viáveis economicamente nos Estados Unidos (PAHL, 2008).

No entanto, com a normalização e estabilização dos preços do mercado de petróleo, países que recorreram ao uso de óleos vegetais para suprir a carência de diesel congelaram suas pesquisas, mantendo os biocombustíveis como produto de nicho, utilizado em situações específicas (FRANCO et al., 2010; SUAREZ, 2011).

2.2.1.1 O início das experiências brasileira com óleos vegetais combustível

Os primeiros motores a diesel chegaram no Brasil ainda na primeira década do século XX, sendo destinados a vários segmentos, como à marinha e ao setor elétrico. Registros mostram a utilização desses motores em centrais elétricas de fortes a partir de 1906 e no Teatro Municipal do Rio de Janeiro em 1909 (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1906; O PAIZ, 1909).

As primeiras experiências com uso de SVO em motores a diesel no Brasil ocorreram entre 1914 e 1918. Durante esse período, o óleo de babaçu foi utilizado na usina elétrica de Teresina (PI), em resposta a uma grave crise de desabastecimento de querosene. (ESTADO DO PIAUHY, 1919). Especula-se que a utilização desse e outros óleos vegetais tenham ocorrido em outros estados das regiões Norte e Nordeste, chamando a atenção do país (Figura 15) (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1942c).

Figura 15 - O interesse nos óleos vegetais como combustível em 1922



Fonte: Benna (1922)

A eficiência do óleo de babaçu como combustível foi demonstrada também na Exposição do Centenário da Independência de 1922, onde a Sociedade de Motores Deutz Otto Legítimo Ltd. demonstrou o funcionamento de um motor a diesel de 12HP utilizando esse óleo, validando sua aplicação em motores diesel e semi-diesel. (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1942c).

Nesse mesmo ano, um membro da missão militar francesa proferiu uma palestra sobre o uso de SVO como combustível, compartilhando a experiência francesa nas colônias africanas. Ele também apresentou os resultados de pesquisas sobre catalisadores, desenvolvidos por seu compatriota A. Maille, da Faculdade de Ciências de Toulouse. (A ESTRADA DE RODAGEM, 1924).

Apesar dos exemplos mencionados anteriormente, esta tese considera como ponto de partida para as pesquisas sobre o uso de SVO como combustível no Brasil as realizadas pelo engenheiro agrônomo Joaquim Bertino de Moraes Carvalho (Figura 16).

Técnico do Ministério da Agricultura, Joaquim Bertino foi encarregado de mapear as fontes de oleaginosas e as indústrias nacionais de óleo. Essa missão veio após ele concluir um intercâmbio nos EUA, onde estudou suas indústrias de óleos, tintas e vernizes. Em 1923, publicou o livro “Notas sobre a indústria de óleos vegetais no Brasil” e proferiu uma conferência sobre o uso de SVO no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro. Tais ações estimularam os primeiros estudos formais sobre o uso de SVO no país (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1942a).

Figura 16 - Engenheiro Agrônomo Joaquim Bertino de Moraes Carvalho (1897-1977)



Fonte Bahia Illustrada (1919)

Joaquim Bertino foi o idealizador do primeiro Congresso Nacional de Óleos, Gorduras, Ceras, Resinas e seus Derivados promovido, realizado pela Sociedade Brasileira de Química em 1924. Neste congresso foi discutida a “aplicação dos óleos vegetais como alimento, combustíveis e lubrificantes” e publicado o primeiro trabalho sobre tema no país: “Os óleos vegetais como combustível” de Dr. Annibal Pinto de Souza, funcionário da Estação Experimental de Combustíveis (O PAIZ, 1924a, 1924b). Outra edição do congresso foi realizada em 1927 em São Paulo, maior centro industrial de óleos e de substâncias gordurosas do Brasil na época.

Após a realização do 1º Congresso de Óleo laboratórios dedicados ao estudo de óleos e gorduras foram instalados na escola de agricultura na Escola Superior de Agricultura e Medicina Veterinária (ESAMV) no Rio de Janeiro, na Escola Politécnica de São Paulo e na Escola de Engenharia da Bahia (JB, 1927) e levou Joaquim Bertino a organizar o curso de especialização em óleos vegetais e derivados na ESAMV em 1929 (O PAIZ, 1929).

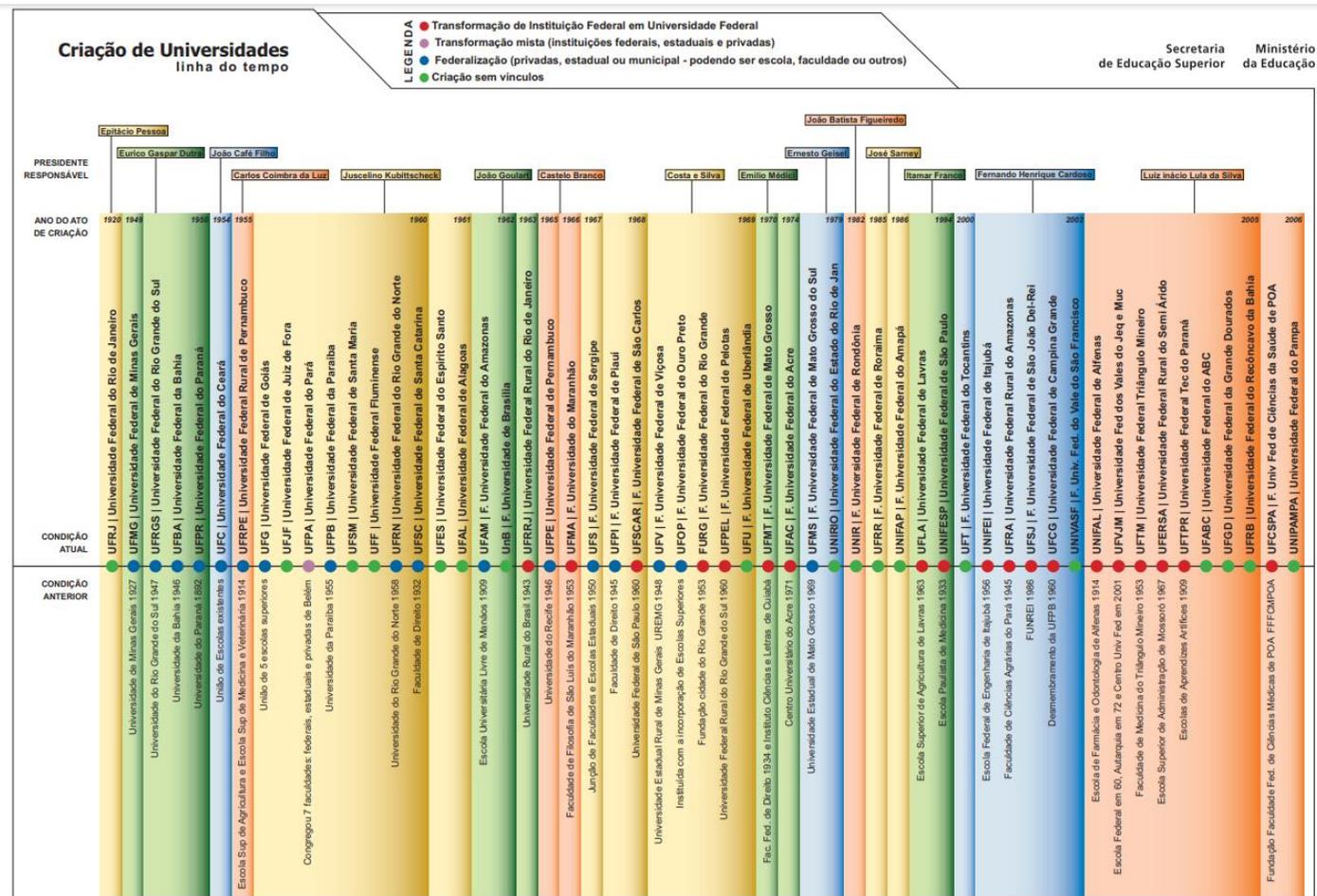
A partir da depressão econômica decorrente da crise de 1929, o modelo primário-exportador adotado no Brasil entra em colapso e o Estado assume a tarefa de abrir novas frentes para a expansão da economia nacional. Nesta conjuntura, o governo de Getúlio Vargas (1934-45) assume o papel de planejador e indutor do desenvolvimento com o lançamento do Programa de Substituição de Importações (PSI) (1930 - 1955), a primeira PI brasileira, o que se traduz em oportunidades para pesquisadores e industriais do setor de óleos e gorduras.

A PSI rompeu com o modelo econômico primário-exportador na tentativa de superar a defasagem industrial brasileira em relação a outros países. Neste contexto, a C&T foi

reconhecida como elemento fundamental para o desenvolvimento do país e o Estado passa a ser seu principal financiador no intuito de promover inovações e incorporar novas tecnologias para atender a demanda da indústria (LIMA et al., 2022; SILVEIRA, 2001).

Em linhas gerais, foi criado o Ministério da Educação (MEC) em 1930, que impulsionou a formação de uma rede de universidades federais no país como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Linha do tempo da criação das Universidades Federais do Brasil



Fonte: MEC ([s.d.])

Com base na Figura 17, aqui cabe um adendo, no segundo Governo de Getúlio Vargas (1951-1954), foram criados o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ambos em 1951, com o objetivo alavancar a construção de uma infraestrutura de pesquisa e pós-graduação no país. Em 1965, no governo do general Artur Costa e Silva, foi criada a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). No âmbito estadual são criadas as primeiras Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs). Atualmente, esses atores compõem a estrutura de fomento do Sistema Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (SNCT&I).

Seguindo com a linha temporal, o Governo Vargas reformulou também o Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, o que resultou na criação das Diretorias Gerais de Agricultura, de Pesquisas Científicas e de Indústria Animal (LIMA et al., 2022; SILVEIRA, 2001). Essas diretorias foram responsáveis pela reorganização ou criação de diferentes centros de pesquisa, com destaque para:

- i. Instituto Nacional de Tecnologia (INT²⁷), criado em 1931, voltado para investigação e divulgação de processos industriais de aproveitamento de combustíveis e minérios do país;
- ii. Instituto de Óleos²⁸ em 1931, voltado para a formação de técnicos especialista para as indústrias de óleos vegetais e substâncias derivadas e mapeamento das oleaginosas nacionais e pesquisas científicas com as plantas de interesse industrial;
- iii. Escola Nacional de Química (ENQ) em 1933²⁹, criada com a finalidade de preparar químicos industriais. A ENQ foi a primeira instituição voltada exclusivamente para o ensino de química no país.

Embora os centros de pesquisa que contemplavam a área de energia estivessem em formação, pesquisas tecnológicas relacionados à utilização de SVO ocorreram neste período

²⁷ Uma reformulação da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM), fundado em 1921. Em 1931 foi reestruturado e batizado de Instituto de Tecnologia e, no ano seguinte, recebeu seu nome atual por meio do Decreto Nº 24.277 de 22/05/1934, que dá como finalidade do INT estudar o melhor aproveitamento das matérias-primas nacionais e de promover cursos de especializações para técnicos brasileiros (SCHWARTZMAN; CASTRO, 1985).

²⁸ Foi criado em 1931 como centro de pesquisa para óleos, ceras, oleaginosas, tintas, vernizes e produtos similares. Foi rebatizado de Instituto Nacional de Óleos (1940) e Instituto de Tecnologia de Óleos (1969), sendo incorporado juntamente com o Instituto de Tecnologia Alimentar e o Instituto de Tecnologia de Bebidas e Fermentações pelo Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar (CTAA) em 1971. O CTAA foi um dos órgãos responsáveis pela pesquisa no Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Hoje o CTAA é a atual Embrapa Agroindústria de Alimentos.

²⁹ Em 1934 a ENQ foi transferida para o Ministério da Educação e Saúde como entidade didática da Universidade Técnica Federal.

(Quadro 6), especialmente com oleaginosas do Norte e Nordeste (CALADO, 2005). Importante destacar que essas pesquisas foram influenciadas diretamente pelo movimento ocorrido na década passada.

Quadro 6 - Ações relacionadas a utilização de óleos vegetais como combustível por centros de pesquisa no Brasil na década 1930

Instituições	Ações
INT	1930: publicou o relatório técnico 'O coco babaçu e o problema do combustível', onde mostrava que o óleo dessa oleaginosa poderia ser utilizado como combustível em motores diesel e desaconselhava seu uso como carvão para alimentar fornalhas na siderurgia. Em 1935: criou a seção de Matérias-Primas Vegetais e Animais para pesquisas exploratórias e tecnológicas de subprodutos das indústrias extrativas. 1930-39: técnicos do INT viajavam pelo interior do Brasil em busca de amostras e contato com indústrias, oferecendo colaboração gratuita para estudar a matéria-prima e aperfeiçoar sua utilização industrial (CALADO, 2005; CASTRO; SCHWARTZMAN, 2008; SCHWARTZMAN; CASTRO, 1985).
Instituto de Óleo	1931: Estabeleceu acordos de cooperação com outras agências governamentais e instituições públicas e privadas para a realização de pesquisas relacionadas à utilização de óleos vegetais, incluindo seus usos para fins energéticos (CARNEIRO, 1933; "Instituto de Oleos do Brasil", 1953). 1932: Publicou o relatório 'Sugestões relativas ao emprêgo de óleos vegetais como combustível Diesel' e promoveu a conferência 'Diretrizes para os estudos de aproveitamento dos óleos vegetais como combustível em motores diesel' (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1945)
Instituto Agrônômico de Campinas (IAC)	1937: realizou pesquisas com óleo de mamona, o que resultou na descoberta de suas propriedades lubrificantes e seu comportamento favorável em motores de explosão (RICO, 2013).
Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT)	1937: também desenvolveu pesquisas com óleo de mamona, que ratificaram os estudos do IAC (RICO, 2013).

Fonte: Elaborado pelo autor

Um dos motivos que impulsionaram o início dessas pesquisas pode ter sido impacto causado pelo PSI na demanda energética brasileira. Durante a década de 1930, o carvão mineral, que tradicionalmente era utilizado como fonte de energia térmica em máquinas e equipamentos industriais, começa a ser gradualmente substituído pelo diesel³⁰. Essa transição também ocorre no setor de transporte com a aquisição de locomotivas e ônibus movidos por esse combustível (MENDES et al., 2018). Dessa forma, inicia-se a dieselização da economia brasileira. Para se ter uma ideia, o país consumia cerca de 12 mil barris/dia em 1932, passa essa demandar a importação de 38 mil barris diários em 1938 (CHIARADIA, 2019).

³⁰ O refino de petróleo no Brasil também teve início nos anos 1930. Como resultado, foram alocados recursos para construção de algumas microrrefinarias ou destilarias no Rio Grande do Sul, São Paulo e Bahia para atender a essa crescente demanda e reduzir importações de combustíveis fósseis (MENDES et al., 2018).

Com a intensificação dos conflitos na II Guerra Mundial (1939-1945), bloqueios navais impedem o fluxo de mercadorias e combustíveis para o Brasil e o país enfrenta uma crise de desabastecimento de combustíveis e carburantes (A NOITE, 1942a).

Esta situação levou a um clamor pela utilização de SVO por industriais de todo país para não pararem suas fábricas e reduzir possíveis prejuízos (CARVALHO, 1948). Um bom exemplo foi do industrial baiano José Paulo Osório Pimentel que realizou experimento com óleo de dendê e querosene para ser utilizado nos motores de seu empreendimento (A NOITE, 1942b). Outros exemplos podem ser visualizados na Figura 18.

Assim, em 1941, a Comissão de Defesa da Economia Nacional proibiu a exportação de banha e óleo combustível de caroço de algodão, com o objetivo de reduzir o preço dessas commodities no mercado interno para formar estoques e promover sua utilização como substitutos do óleo diesel em ferrovias (A NOTÍCIA, 1941; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007).

Embora não oficializado, esta iniciativa pode ser considerada como a primeira iniciativa governamental relacionado ao uso de biocombustíveis à base de SVO (POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Figura 18 - Notícias de pesquisas envolvendo óleo vegetais como combustível no Brasil na década de 1940

The image is a collage of newspaper clippings. At the top left is a clipping from 'JORNAL DO COMMERCIO - QUARTA-FEIRA, 14 DE OUTUBRO DE 1942' reporting on research at the Instituto Nacional de Tecnologia. At the top right is a clipping from 'DIÁRIO DE PERNAMBUCO - DOMINGO, 9 DE DEZEMBRO DE 1945' with the headline 'SOJA -- AINDA ESPERANÇA' and a sub-headline 'Francisco T. de SIQUEIRA'. Below this is a quote from a meeting in Rio de Janeiro. At the bottom left is a large, bold advertisement 'BANHA E AZEITE Vão Baratear! SOB AS PENAS DA LEI!' with a sub-headline 'A proibição de exportação de banha, óleos e compostos de gordura'. At the bottom right is a text block titled 'Enviado por meu governo a estudar Soja a "caçula" das grandes culturas...'.

JORNAL DO COMMERCIO - QUARTA-FEIRA, 14 DE OUTUBRO DE 1942

O Instituto Nacional de Tecnologia, do Ministério do Trabalho, com sede na Avenida Venezuela, 82, vem estudando em seus laboratórios a aplicação em motores Diesel dos nossos principais óleos vegetais, como os de semente de algodão, de coco babassu, de mamona, puros ou misturados com álcool.

Conforme os ensaios já realizados, estes óleos comportam-se de modo satisfatório em motores Diesel, bastando apenas fazer uma regulagem prévia no parafuso da bomba de óleo, de acordo com o produto empregado, exceto no caso de óleo de mamona, que foi aquecido a 53°C.

Em condições anormais, quando se mostra deficiente ou mesmo falta o óleo Diesel mineral entre nós, é possível empregar substitutos de origem vegetal, abundantes em nosso país. O I. N. T. preparou um quadro com os resultados das experiências, o qual será remetido aos interessados que o solicietarem.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO - DOMINGO, 9 DE DEZEMBRO DE 1945

SOJA -- AINDA ESPERANÇA

Francisco T. de SIQUEIRA
Agrônomo enviado pelo Ministério da Agricultura para estudar a cultura e industrialização da Soja nos Estados Unidos da América do Norte.

"Rio — Em nome da Divisão Científica de Combustíveis e Lubrificantes, instalada por ocasião do 1.º Congresso da Associação Química do Brasil, realizado em São Paulo, em julho p. p., sob a presidência de honra de V. excia., felicito V. excia. pela sábia medida de criação da Comissão Nacional de Combustíveis e Lubrificantes. Respeitosas saudações. — Francisco de Moura, presidente."

BANHA E AZEITE Vão Baratear!
CAMPANHA CONTRA O DESPERDÍCIO
Retinha o estoque de coléas para promover a alta

SOB AS PENAS DA LEI!
A proibição de exportação de banha, óleos e compostos de gordura

Enviado por meu governo a estudar Soja a "caçula" das grandes culturas nesse país tão evoluído que são os Estados Unidos da América do Norte, tenho já observado muitas das fases em que ela é aqui utilizada. Experimentos muitos foram levados a efeito nos varios principais centros de pesquisa da Nação e hoje concludentes provas propalam os subprodutos bem como soja "in natura", para forragem dos rebanhos leiteiros, para corte, ovinos equinos, aves, etc. E nessa terra que é a 1.ª em produção de algodão e portanto, de torça vemos com surpresa que os subprodutos de soja, para forragem não entram no mercado, pois a procura excede a produção desses que aqui têm também o 1.º lugar na produção mundial. Por que? Já porque não são mais expansivos do que os de algodão, bem como mais rico em valor alimentício.

Fonte: Diário de Pernambuco (1945); JC (1942)

Também em 1941, por ocasião do I Congresso da Associação Química do Brasil³¹, foi criada a divisão científica de combustíveis e lubrificantes³² com a missão de encontrar formas de substituir os óleos combustíveis importados pelos nacionais (O IMPARCIAL, 1941).

Em relação à realização de pesquisas, a São Paulo Railway divulgou um experimento realizado em um trem equipado com motores diesel de 600 cavalos, abastecido com óleo de algodão, cujo consumo foi aproximadamente equivalente ao do diesel convencional. De posse desses resultados, o Governo Federal determinou que os estudos sobre a utilização de tais óleos em locomotivas fossem conduzidos em São Paulo, com o acompanhamento do IPT, que também ficaria responsável pelo compartilhamento dos dados com o Instituto de Óleos (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1940).

Em 1942, o Instituto de Óleos passa a solicitar dados de experimentos realizados com SVO por empresas públicas e privadas com a intenção de ampliar a cooperação técnico-econômica para os esforços de guerra (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1942b). O Quadro 7 apresenta algumas dessas ações.

Quadro 7 - Ações relacionadas a utilização de óleos vegetais no Brasil (1942-45)

Ano	Instituições envolvidas	Ação
1941	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, Instituto de Óleos	Estudo do aproveitamento do óleo de algodão e projeto de um injetor para reduzir os resíduos desse óleo (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1941).
1942	Companhia Vale do Rio Doce	Utilização de óleo de macaúba com 20% de álcool em motores semi-diesel (GAZETA DE NOTÍCIAS, 1942b).
1942	INT	Divulgação dos resultados dos experimentos realizados com algodão, babaçu e mamona e organização de uma tabela voltada para a indústria nacional com explicações sobre uso destes óleos até o fluxo de óleo mineral ser normalizado (A NOITE, 1942a; JC, 1942).
1943	Serviço da Produção Industrial da Coordenação de Mobilização Econômica (SP)	Realizou testes com óleo de algodão em motor Hércules instalado num caminhão que percorreu 1.200 km (RICO, 2013).
1943	Instituto de Óleos	Aperfeiçoamento do óleo de amendoim para ser utilizado na geração de energia e abastecimento de máquinas agrícolas (A NOITE, 1943a)

³¹ Evento organizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Escola Politécnica de São Paulo e Revista de Química com o objetivo de avaliar o progresso manufatureiro do Brasil (AGÊNCIA NACIONAL, 1941).

³² Rebatizada posteriormente de Comissão Nacional de Combustíveis e Lubrificantes.

1943	Coordenação da Mobilização Econômica	Lançamento do ‘Boletim do Setor Industrial’, com notas técnicas sobre como utilizar óleos vegetais como combustível em motores diesel (A NOITE, 1943b).
1944	ENQ	Início de pesquisas com pirólise de óleos vegetais e gorduras animais via craqueamento térmico ou catalítico (A NOITE, 1948).
1945	Instituto de Óleos	Início de pesquisas sobre a soja e seu processo de industrialização (DIARIO DE PERNAMBUCO, 1945).
A partir de 1945	ENQ, Faculdade de Filosofia	Realização de pesquisas para isolar hidrocarbonetos cancerígenos presentes no alcatrão resultante da decomposição térmica dos óleos vegetais e gorduras animais (A NOITE, 1948).

Fonte: Elaborado pelo autor

Durante o mesmo período, a imprensa brasileira a utilização de óleo de café como combustível para motores a diesel ou para aquecimento (Figura 19) (HARRIS, 1944), Isso abria a perspectiva de exploração comercial de subprodutos derivados do café expurgo³³ como combustível líquido, lubrificante e “cafelite”, um tipo de plástico derivado desse grão (“Os milagres do café”, 1944). No entanto, não foram encontrados registros de experimentos com óleo de café para a produção de combustível.

³³ Cafés de baixa qualidade ou resíduos de café de catação.

Figura 19 - O café como Combustível

APARELHO PARA A EXTRAÇÃO DE OLEO COMBUSTIVEL DO CAFÉ

**O INVENTOR SUECO EGON MOELLER QUER VENDER A SUA
DESCOBERTA AO GOVERNO BRASILEIRO**

STOCKHOLMO, 1 (R.) — "Os plantadores de café brasileiro poderão fabricar seu próprio combustível líquido e óleo lubrificante, quando tiverem excedente das safras, graças ao invento de um químico sueco, Egon Moeller.

"Trabalhei quasi 20 anos nessa ideia" — disse Moeller, quando me apresentei em seu laboratório, na companhia exportadora Svea, de Stockholm, que vai patentear-lhe a invenção.

"Primeiro — acrescentou — pensei encontrar um uso util para os ramos de arvores que vemos no solo, nas florestas suecas. O metodo de obter petroleo da madeira, já conhecido, era muito custoso. O problema consistia em encontrar um novo catalisador, nome dado a qualquer substancia que, quando em contacto com outra possibilita sua mudança em outra coisa diferente.

Encontrei dois catalisadores que, quando usados com cal e madeira, podem produzir petroleo, gas hidrogenio, fenol e mais meia duzia de produtos quimicos de utilidade. A parte util da cal é que fornece calor, muito necessario no processo. Então me puz a pensar nos excessos de café, milho e trigo, que ás vezes foram queimados quando a safra se julgou ser demasiado abundante e descobri que também esses produtos podiam ser convertidos em petroleo e outros materiais.

Meu aparelho se assemelha a uma grande caldeira e é facil de construir. Qualquer officina capaz de fazer recipientes para líquidos, poderia fabricar meu aparelho, de modo que não haveria dificuldade de manufacturá-lo no Brasil ou em outros países sul-americanos. O óleo é de boa qualidade. Oleo combustivel de muitas calorías, bem para motores Diesel ou para a calefação, pode também ser obtido".

Nessa altura da conversação eu perguntei:

— Quanto óleo pode tirar de uma tonelada de café?

"Se contar com uma tonelada do que resta depois de se extrair a cafeína, a gordura, o liquido e a tanina, posso produzir dessa quantidade até dois quintos de tonelada de óleo. O custo da produção variará de accordo com o preço da cal".

— Quais são os seus planos para o Brasil?

"O ministro do Brasil em Stockholm, dr. Sbastião Sampaio, já viu amostras dos produtos de meu aparelho e vai enviá-los ao governo brasileiro. Se o Brasil estivesse interessado, teriamos grande prazer em vender-lhe os direitos. Enviaremos instalações completas e desenhos e não teria eu inconveniencia em visitar aquele país para colaborar na construção da primeira fabrica. Se, por outro lado, preferir deixar o assunto em mãos de empresas privadas, venderemos nossos aparelhos directamente aos plantadores de café. Tenho a impressão de que o governo brasileiro se interessará, pois assim encontrará uma vasão para a sobra das safras de café, além de introduzir mais uma industria". (a.) Thomaz Harris da "Reunited".

Fonte: Harris (1944)

Já em década 1950 foi criado o "Grupo de Estudos Babaçu" pelo Instituto de Óleos com o objetivo de estudar a produção dessa oleaginosa nos estados do Maranhão e Piauí e sua utilização nos meios de transporte (BRASIL, 1957).

Pesquisas também foram desenvolvidas no Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais sobre o uso dos óleos de ouricuri, mamona e algodão em motores diesel de 6 cilindros (CÉSAR; BATALHA, 2010; NAE, 2005) e o Instituto Agrônômico do Norte (IAN) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) conduziram os primeiros estudos com óleo de palma na região norte (RICO; SAUER, 2015).

Na década de 1960, o setor cafeeiro enfrentou uma crise devido ao excesso de produção. Para lidar com essa situação e evitar a queima de toneladas de café expurgo, o governo brasileiro e as indústrias buscaram formas de diversificar e agregar valor ao café, promovendo sua industrialização. Uma dessas tentativas foi a produção de óleo de café como insumo para as indústrias química, farmacêutica, cosmética e alimentícia. Neste contexto, destacam-se os experimentos realizados pelo INT e pelas Indústrias Reunidas F. Matarazzo (BIODIESELBR, 2014; ROTHENBERG; SOLEWICZ; SANTOS, 1963).

Esses experimentos envolveram a extração de óleo de café utilizando metanol ou etanol com o objetivo de separar a glicerina dos triglicerídeos presentes nos grãos, resultando na obtenção de éster. Isso foi algo inédito, pois não havia registros de que o processo de transesterificação tivesse sido aplicado no país até então. O uso desse éster como combustível não consta no relatório de gestão da S.A. (JC, 1960), embora tenha sido relatado anos depois em debates na indústria automobilística brasileira, mas sem comprovação (BIODIESELBR, 2014).

Importante destacar também que em 1967, o INT realizou experimentos de campo com caminhões movidos a óleo de algodão, ouricuri e mamona nos trajetos Rio-Recife e Rio-Belo Horizonte. Como resultado, observou-se que o consumo desses três óleos ficava entre 20 e 21 litros para cada 100km percorrido, além da dificuldade de partida, ocorrência de depósitos no motor e aquecimento elevado no uso dos óleos de ouricuri e mamona (JORNAL DO COMMERCIO, 1979b).

Todas as pesquisas realizadas foram fundamentais para fortalecer a motivação no desenvolvimento de um biocombustível como alternativa ao diesel, especialmente em países importadores de petróleo bruto.

No Brasil, as pesquisas relacionadas ao uso de SVO começaram a se desenvolver na década de 1930, durante a PSI do Governo Vargas que queria alavancar a demanda interna de produtos que antes eram importados, como tintas e vernizes. Durante a 2ª Guerra Mundial, a utilização de SVO como combustível alternativo ao diesel ganharam força, mas logo se arrefeceram devido à falta de apoio governamental e de mercado à sua produção.

Com relação às ICTs, observou-se que a rede de universidades federais estava em formação e o engajamento técnico-científico para a realização desses estudos ficou a cargo do Instituto de Óleos, do IPT e do INT, instituições com forte ligação com a nascente indústria nacional. Coube ao Instituto de Óleos de reunir as experiências com SVO combustível realizadas por empresas públicas e privadas durante a guerra.

Embora conhecido, não há relatos da aplicação do processo de transesterificação nesse período no país. Isto posto, as pesquisas realizadas com SVO ficaram restritas aos primeiros níveis da escala de maturidade tecnológica: TRL 1 - realizadas de forma teórica ou experimental em laboratórios, TRL 2 – condução de testes e experimentos mais detalhados em laboratório e TRL 3 - execução de testes em ambiente simulado para avaliar desempenho e eficácia.

2.2.2 Choques para despertar

A demanda por petróleo aumentou significativamente após a Segunda Guerra Mundial, mas movimentos de nacionalização dessa commodity em vários países, a criação da Organização dos Países Exportadores de Petróleo³⁴ (OPEP) e os conflitos geopolíticos na região do Oriente Médio marcaram o final da era do petróleo barato e desencadearam uma crise energética global. (PEDROSA JR.; CORRÊA, 2016).

Com a proclamação do embargo petrolífero pela OPEP em outubro de 1973, o mundo passou a enfrentar um aumento das incertezas quanto à manutenção do fluxo contínuo de suprimento de petróleo, gerando temores de desabastecimento. Isso levou à adoção de diferentes estratégias nos campos político, econômico e tecnológico para garantir a segurança energética. Entre essas estratégias, destacam-se os esforços para reduzir custos e melhorar a eficiência de processos existentes, além de desenvolver novas tecnologias, o que favoreceu a realização de pesquisas nas áreas de conservação, eficiência energética e fontes renováveis (PEDROSA JR.; CORRÊA, 2016).

Nesse contexto, o interesse pelos biocombustíveis ressurgiu devido à ausência de opções imediatas para o setor de transportes. Os ésteres de ácidos graxos passam a ser reconhecidos como soluções promissoras, apresentando alta probabilidade de rápida implementação no mercado para substituir o diesel (RENEWABLE ENERGY ACTION, 2004).

Pesquisas relacionadas a tecnologia de produção de ésteres de ácidos graxos e sua aplicação em motores a diesel foram iniciadas em todo o mundo, sendo cruciais para estabelecer as bases de produção da moderna indústria de biodiesel (CREMONEZ et al., 2015; WÖRGETTER, [s.d.]).

A fim de ilustrar como esses estudos foram conduzidos e como contribuíram para a consolidação da indústria de biodiesel, os exemplos considerados mais emblemáticos são apresentados a seguir. Por questão de organização, o contexto brasileiro será apresentado no final da seção.

Nos EUA, a preocupação com possíveis interrupções nos suprimentos diesel levou os produtores rurais a propor o uso de óleos vegetais puros ou misturado com álcool em máquinas agrícolas, o que fomentou o surgimento de numerosos grupos de pesquisas para testar alternativas viáveis para utilização de óleos vegetais como combustível (REED; GRABOSKI; GAUR, 1993).

³⁴ Após a turbulência em torno da Guerra do Sinai, a OPEP, uma organização intergovernamental permanente, em 1960, tendo como membros Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela. Mais tarde, nove outros membros se juntaram a esta organização: Catar, Indonésia, Líbia; Emirados Árabes Unidos, Argélia, Nigéria 1; Equador, Angola.

Um exemplo na busca por combustíveis alternativos foi o desenvolvimento do "*Buck Fry*" pelo grupo do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Ohio. Esse combustível foi produzido a partir da mistura de óleos vegetais e sintéticos e demonstrou desempenho comparável ou superior ao diesel convencional nos testes realizados em ônibus da instituição (MITTELBACH; REMSCHMIDT, 2006; OHIO HISTORY CENTRAL, [s.d.]). Entretanto, devido ao alto custo de produção em larga escala, o "*Buck Fry*" não alcançou outros níveis na escala de maturidade tecnológica de um produto, sendo enquadrado no TRL 4, fase em que a tecnologia é validada em ambiente de laboratório e demonstrada em ambiente simulado ou em pequena escala.

Já no âmbito político, houve a implementação de medidas emergenciais e o investimento em pesquisas com energias renováveis teve um crescimento significativo durante a administração Carter, superando 10% do orçamento federal americano em P&D entre 1977 e 1981 (DOOLEY, 2008). Em 1978, o Escritório de Desenvolvimento de Combustíveis (OFD) foi designado como o principal responsável pela coordenação e gerenciamento de todos os projetos de P&D do programa de biocombustíveis. O objetivo principal era desenvolver tecnologias para produção de combustíveis alternativos de transporte e aditivos de combustível de biomassa vegetal, além de transferir essas tecnologias para o setor privado (CARTER, 2009; SMITH, 2002)

Um dos projetos financiados foi o *Aquatic Species Program* (1979-1996), desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL) com o objetivo pesquisar de utilizar algas cultivadas em lagoas de usinas movidas a carvão como fonte de combustível renovável para transporte. Considerada uma abordagem inovadora à época, esse projeto abriu a possibilidade para a produção de biodiesel produzido a partir de microalgas ao identificar espécies com alto teor de óleo e otimizar técnicas de cultivo para aumentar a produtividade. Embora tenha passado por diferentes fases ao longo dos anos, o projeto não foi capaz de superar desafios relacionados à eficiência e viabilidade econômica, limitando-se ao TRL 4 ou prova de conceito em ambiente simulado (LI et al., 2020; SHEEHAN et al., 1998; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1999).

No final da década de 1970, pesquisadores sul-africanos da Divisão de Engenharia Agrícola e do Conselho de Investigação Científica e Industrial foram encarregados de encontrar uma solução para conter o problema da falta de combustível no país, que comprometia até mesmo a produção de alimentos. Assim, aproveitando-se de experiências do passado, um biocombustível refinado semelhante ao diesel foi desenvolvido por meio da adaptação do processo de transesterificação do óleo de girassol, utilizando um catalisador e um álcool para

obter um éster. Desde então, a transesterificação tornou-se o método para a redução da viscosidade dos óleos e gorduras mais conhecidos e agora os ésteres obtidos a partir de óleos e gorduras são conhecidos como biodiesel³⁵(KNOTHE; RAZON, 2017; KOLVER, 2008; WESTHUIZEN, 2017).

As pesquisas com o biodiesel de girassol foi um marco importante na redescoberta e posterior comercialização de ésteres vegetais como combustível. Ela também abriu caminho para a descoberta de diversas fontes e tecnologias que melhorariam o desempenho do motor com redução dos impactos ambientais ao longo do tempo (SANI; DAUD; ABDUL, 2012). Não por acaso, seus resultados foram apresentados em conferências internacionais como a Conferência de Energia de Berlim em 1981 (PAHL, 2008) e a Conferência *da American Society of Agricultural Engineers* (ASAE) em 1982 (GERPEN, 2007).

Na primeira conferência ocorreu uma reunião entre pesquisadores sul-africanos e austríacos que teve um papel crucial na persuasão dos austríacos a adotarem o uso de éster metílico derivado de óleo vegetal como combustível para um motor diesel, podendo ser considerada uma das primeiras colaborações internacionais para relacionada ao biodiesel (KOLVER, 2008; MITTELBACH; REMSCHMIDT, 2006). Na segunda conferência, a pesquisa sul-africana foi um dos 44 trabalhos que discutiam a produção de combustíveis à base de ésteres e demonstravam que essa opção era mais promissora do que a utilização de óleos crus. Todos eles foram publicados em um compêndio intitulado *Vegetable Oil Fuels*³⁶ (GERPEN, 2007).

Apesar do sucesso, os resultados da pesquisa sul-africana não foram patenteados (PAHL, 2008) e a tecnologia desenvolvida foi adquirida pela empresa *Gaskoks*, responsável pela instalação da primeira planta piloto de biodiesel e da primeira planta em escala industrial na Áustria (KNOTHE, 2010a; KNOTHE; RAZON, 2017; WESTHUIZEN, 2017).

Com a divulgação dos resultados, o projeto, o programa sul-africano de produção de biodiesel de girassol foi descontinuado entre os anos de 1984 e 85 (KOLVER, 2008). Algo semelhante já havia ocorrido no final dos anos 1940, quando o país fez uso de derivados de óleos vegetais como combustível mas abandonou essa alternativa energética em favor de um

³⁵ Embora o biocombustível criado pelos pesquisadores sul-africanos seja biodiesel, o mesmo não foi batizado com esse nome. Para alguns autores, o termo "Bio-Diesel" apareceu primeiramente na revista australiana *Power Farming* em 1984 e adotado posteriormente na literatura sem a hifenização (BALASUBRAMANIAN; STEWARD, 2019). Outros atribuem a origem do termo a um artigo chinês de 1988 e encontrado no *Chemical Abstracts* (KNOTHE, 2010a) ou ao artigo *Determination of saponifiable glycerol in "Bio-Diesel"*, publicado em meados de 1991 (VAN GERPEN et al., 2004).

³⁶ SAE Technical Paper series no. 831356. SAE International Off Highway Meeting, Milwaukee, Wisconsin, EUA, 1983 (HAWKINS; FULS; HUGO, 1983)

combustível sintético de carvão (KNOTHE, 2010a). Dessa forma, é possível afirmar que essa experiência sul-africana alcançou o nível 3 ou 4 na escala de maturidade tecnológica, com testes em pequena escala e ambiente simulado.

Como pode ser visto, o programa sul-africano de produção de biodiesel de girassol teve um papel importante para as pesquisas relacionadas ao biodiesel na Áustria, país que construiu uma história de sucesso tanto no desenvolvimento tecnológico quanto na implementação desse biocombustível no mercado.

A história do biodiesel na Áustria tem início com uma série de experiências com óleos vegetais, que incluía também a análise de viabilidade econômica relacionadas à produção de oleaginosas entre 1973 e 78 no Instituto de Engenharia Agrícola (Bundesanstalt für Landtechnik ou BLT) com o apoio do ministério da agricultura (PAHL, 2008).

Liderada por Heinrich Prankl e Manfred Wörgetter, os experimentos identificaram as principais barreiras ao uso de óleos vegetais como combustível, recomendando a adaptação destes às necessidades do motor diesel, como a redução da viscosidade para reduzir os custos de manutenção (PAHL, 2008). A pesquisa também apontou para a necessidade de adaptação da produção de oleaginosas para o clima e condições agrícolas do país para aumentar a produtividade e reduzir custos de produção. Assim, a produção de éster metílico a partir do óleo vegetal de colza ou canola foi apontada com a melhor opção por ter etapas de produção simples (reação do processo à temperatura pressão e temperatura, entrada mínima de energia, glicerina como um coproduto valioso) e baixo volume de investimento. (RENEWABLE ENERGY ACTION, 2004).

Em 1982 foram publicados resultados que comprovam a possibilidade de produzir éster metílico de ácidos graxos a partir da canola. Neste mesmo ano, o Ministério da Agricultura da Áustria, com o apoio da empresa *Gaskoks* e da fabricante de tratores *Steyr*, viabilizou a construção de uma pequena planta piloto para a produção desse biodiesel. Essa pesquisa é considerada a base para o subsequente desenvolvimento da indústria europeia de biodiesel (KÖRBITZ et al., 2003; RENEWABLE ENERGY ACTION, 2004).

Em 1985, pesquisadores do Instituto de Química Orgânica da Universidade de Graz liderados por Martin Mittelbach publicaram um estudo seminal sobre as propriedades químicas e os métodos analíticos para o biodiesel. Eles também pretendiam encontrar maneiras de reduzir os custos de produção do biodiesel. Para isso, desenvolveram um método inovador que permitia produzir biodiesel em baixa temperatura e baixa pressão, dispensando o uso dos equipamentos tradicionais da indústria oleoquímica. Esse estudo resultou na primeira patente de um método barato de produção de biodiesel em 1988 e contribuiu para a adoção futura de fontes alternativas

de matérias-primas como os óleos reciclados e as gorduras animal, pois grande parte da canola utilizada à época era importada o que elevava o custo de produção do biodiesel (PAHL, 2008; RENEWABLE ENERGY ACTION, 2004).

Uma vez concluído os testes de bancada com o novo processo, a primeira planta piloto para a produção de biodiesel de canola foi instalada na cidade austríaca de Estíria em 1985 e parcerias foram estabelecidas com agricultores locais para garantir suprimentos maiores de canola, permitindo que estes produzissem seu próprio combustível e aproveitassem o coproduto gerado como proteína animal (MITTELBAACH, 1996; TOMESCU, 2005).

Em junho de 1987, a primeira planta piloto com a nova tecnologia desenvolvida pelo Instituto de Química Orgânica da Universidade de Graz foi instalada na Escola Agrícola de Silberberg para produção de 500 toneladas/ano de biodiesel de canola. Foi a primeira planta desse gênero no mundo e permitiu a produção de quantidades suficientes de biodiesel para a realização de testes de frota em larga escala entre 1987 e 1990, o que ajudou a comprovar a viabilidade do biocombustível (PAHL, 2008; TOMESCU, 2005).

Com a conclusão dos testes de frota em 1990, um grande passo para introdução do biodiesel no mercado de biodiesel foi dado com a emissão de certificados de garantia de motores para uso com biodiesel por grandes fabricantes de tratores, como John Deere, Ford, Massey-Ferguson, Mercedes e outros. Neste mesmo ano um grupo de trabalho foi formado para estabelecer as especificações para o biodiesel produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, a Ö-NORM C1190, considerada a primeira norma mundial. Por fim, a primeira planta comercial com capacidade de produção de 10.000 t/ano de biodiesel de canola entrou em operação em 1991, utilizando o processo tecnológico da Gaskoks (KÖRBITZ, 1999; MITRA; SINHA, 2006; RENEWABLE ENERGY ACTION, 2004).

As limitações no plantio de canola e o aumento do custo dessa matéria-prima forçaram pesquisadores da Universidade Técnica de Graz em parceria com outras instituições austríacas a buscarem alternativas (PAHL, 2008). Em 1992, foi produzido primeira vez biodiesel a partir de óleos de fritura usados e sua produção em escala comercial ocorre dois anos depois (MITRA; SINHA, 2006). O Quadro 8 traz um resumo cronológico do desenvolvimento da indústria do biodiesel na Áustria.

Quadro 8 - Cronologia da produção de biodiesel na Áustria

Ano	Ações
1973	Estudos prospectivos e pesquisa básica com biodiesel no BTL.
1982	Experimentos iniciais de transesterificação usando óleo de canola no BTL em parceria com a Universidade de Graz.
1983	Início dos experimentos com óleos residuais de cozinha na Universidade de Graz.

1987	Estabelecimento da primeira planta mundial para a produção de biodiesel de canola na Escola Agrícola de Silberberg. Teste de emissões em motores usando biodiesel de canola.
1988	Concessão da primeira patente de biodiesel de canola.
1989-1990	Suporte governamental para projeto de pesquisa visando melhorar a qualidade do biodiesel obtido de óleo de cozinha residual.
1991	Início da produção comercial de biodiesel na Áustria. Premiação da Áustria pela inovação do biodiesel de óleo de cozinha residual. Realização de experimento de esterificação em larga escala e obtenção de patentes relacionadas ao processo. Definição e aprovação dos padrões de produção de biodiesel de canola (Ö-NORM C1190).
1994	Início da produção industrial de biodiesel de óleo de cozinha residual.
1995	Obtenção da patente para re-esterificação visando aumentar o rendimento para 100%.
1998	Estabelecimento da primeira planta mundial de biodiesel capaz de processar gordura animal com até 20% de ácidos graxos livres com 100% de rendimento.

Fonte: Mitra; Sinha (2006); Renewable Energy Action (2004).

Como visto, o surgimento de vários grupos de pesquisa com reconhecimento internacional desempenhou um importante papel na pesquisa e desenvolvimento do biodiesel de canola, contribuindo para que a Áustria alcançasse o TRL 8 (tecnologia testada, qualificada e pronta para ser implementada) no final da década de 1980 e o TRL 9 quando o biodiesel começou a ser comercializado na década seguinte. A posição de liderança da Áustria também pode ser observada na definição do primeiro padrão de combustível de biodiesel e incentivou cientistas e indústrias a definir esforços específicos para o biodiesel.

2.2.2.1 A saga brasileira por um substituto do diesel nas de 1975 a 1985

Assim como a Áustria, o Brasil não passou incólume pelos choques do petróleo. O país vivia seu “milagre econômico” quando foi severamente atingido pela crise energética global, revertendo um cenário econômico extremamente favorável (DE MORAES; RODRIGUES; KAPLAN, 2017).

Dentro desse contexto, o setor de transporte mostrou uma importância dentro do contexto econômico brasileiro até então desconhecida. Uma nova política de preços para gasolina, diesel e óleo combustível foi adotada para mitigar os impactos gerados, resultando em uma rápida elevação do preço, especialmente da gasolina. Com o diesel sendo subsidiado, seu consumo eleva-se acima da média dos demais combustíveis. Entre 1973 e 1979, o diesel foi o derivado de petróleo que apresentou o maior crescimento no consumo (78%) e o menor aumento no preço real (67%) (PINHEIRO, 1983).

Nesse período, houve uma gradativa alteração do perfil da frota de caminhões, com veículos Otto sendo substituídos pelos de tecnologia diesel. Esse rápido processo de “dieselização” da frota e o risco dela se expandir para outros segmentos do mercado automotivo pode ter influenciado a publicação da Portaria nº 346³⁷, de 19 de novembro de 1976, que proibiu a circulação de veículos de passeio movidos a diesel no Brasil com o objetivo de priorizar o uso desse combustível em caminhões, geradores e máquinas agrícolas (PINHEIRO, 1983).

Além da política de preços, outras medidas foram adotadas na tentativa de reduzir as importações de petróleo, que atingiam até 80%. Isso incluía a implementação de programas relacionados a novas fontes de energia (PEDROSA JR.; CORRÊA, 2016).

Assim, apoiada em uma combinação de fatores tecnológicos, econômicos e estratégicos, a prioridade foi dada para o desenvolvimento da produção de etanol como uma alternativa energética, ao invés de buscar soluções para o diesel e, em 14 de novembro de 1975, por meio do Decreto n. 76.593, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), cujo objetivo era alcançar a produção de 10 bilhões de litros/ano até 1985³⁸ (CRUZ, 2016; DE MORAES; RODRIGUES; KAPLAN, 2017).

Embora o governo federal tenha direcionado seu foco para o Proálcool, a busca por um substituto ao óleo diesel especialmente nas indústrias de cimento e vidro passou a ser considerada³⁹. Isso abriu uma janela de oportunidade para que ICTs e empresas conduzissem estudos e propusessem soluções relacionadas à utilização de óleos vegetais, seja na forma pura ou em mistura, como alternativa ao diesel. (RIBEIRO; SILVA, 2020).

A PETROBRÁS experimentou o craqueamento catalítico com a adição de óleo de soja na proporção de 20 a 30%. Apesar desse processo não demandar grandes investimentos, necessitava de uma extensa rede de transporte para levar os óleos vegetais às refinarias, inicialmente construídas para processar petróleo proveniente do exterior (RICHTER; NETTO; FILHO, 19_).

A partir de 1974, Centro de Avaliação Tecnológica do INT lançou o projeto intitulado “Utilização dos Óleos Vegetais Brasileiros como Combustíveis de Motores Diesel e/ou como

³⁷ Substituída pela Portaria Departamento Nacional de Combustível (DNC) nº 23, de 6 de junho de 1994 e continua em vigor até a última consulta em fevereiro de 2023.

³⁸ Além de possuir os recursos naturais necessários para a produção de cana-de-açúcar, a tecnologia de produção do etanol já era relativamente madura e eficiente e a infraestrutura permitia a produção e distribuição em larga escala. Assim, na primeira fase do Proálcool (1975-1979), o álcool produzido era do tipo desidratado ou anidro para ser misturado à gasolina cuja produção atingiu 3,4 bilhões de litros/ano em 1979-1980. Já na segunda fase (1979-1985), o álcool era do tipo hidratado para ser utilizado em carros a álcool, atingindo 11,8 bilhões de litros na safra de 1985-1986 (CRUZ, 2016).

³⁹ Em 1975, havia discussões sobre a criação de um Plano Energético Brasileiro com o objetivo de desenvolver três programas distintos: o Proálcool, o Procarvão e o Proóleo. Por isso, é comum encontrar, de forma equivocada na literatura, a referida data como ano de criação do Proóleo

Lubrificantes”, onde foram conduzidos ensaios laboratoriais utilizando óleos de soja, dendê, amendoim, babaçu e outros ainda não industrializados em misturas com diesel, etanol ou metanol, denominadas de Intol (CALADO, 2005).

Em 1977, o INT, em colaboração com o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e com o apoio da FINEP, testou diferentes proporções de Intol em ônibus da Companhia de Transportes Coletivos do Rio de Janeiro para avaliar o comportamento dos motores nas condições normais de trânsito (CALADO, 2005). Os resultados mostraram que os óleos vegetais são menos poluentes, possuem um poder calorífico menor que o diesel e sua utilização em motores só seria possível através uma infusão que não excedesse, em volume, 20%. (CALADO, 2005; JORNAL DO COMMERCIO, 1979a, 1979b).

Os resultados obtidos também apontaram para a necessidade de investigar aditivos visando à redução da viscosidade dos óleos vegetais. Além disso, foram recomendados estudos para avaliar os aspectos econômicos, agrícolas, sociais e ambientais relacionados à implementação de um programa de utilização de óleos vegetais como combustível (JORNAL DO COMMERCIO, 1979a, 1979b). Um exemplo foi a abertura de três campos experimentais de produção de pinhões no Nordeste para medir a produtividade e o custo econômico dessa nova matéria-prima para óleo, representando um dos marcos iniciais nos estudos relacionados a essa oleaginosa (CASTRO; SCHWARTZMAN, 2008). Contudo, solução mais cara e complicada do que o uso direto de óleo vegetal, o projeto foi abandonado.

Em 1975, pesquisadores do Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará (UFC) deram início a um projeto voltado ao levantamento da flora nordestina com o objetivo de obter óleos. Dentre as diversas espécies identificadas, o marmeleiro preto foi selecionado para testes pelo fato de que seu óleo apresentava características semelhantes às do diesel, o que permitia a substituição de até 80% desse combustível pelo óleo proveniente do marmeleiro (FONSECA, 1978).

Diante dos resultados preliminares, O Programa Marmeleiro foi lançado em 1977 com apoio do CNPq, contando também com a colaboração da Empresa de Transportes Urbanos – EBTU, da Mercedes-Benz e do Parque de Motomecanização do Exército. Além disso, 40 professores e pesquisadores da UFC estiveram envolvidos em todas as fases do projeto: desde a domesticação, o melhoramento genético e o manejo da planta, até a extração de óleo e os testes de campo em motores. O que fez desse programa o primeiro estudo integrado, partindo da pesquisa fundamental até a tese de aplicação tecnológica a nível industrial (JORNAL DO COMMERCIO, 1978; SERPA, 1979).

No período de 1977 a 1983, o Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar (CTAA) da EMBRAPA, especializado em transesterificação de óleos vegetais, conduziu pesquisas em três áreas distintas, como mostra o Quadro 9.

Quadro 9 - Projetos do CTAA/ EMBRAPA de 1977-1983

Projetos	Descrição
Pesquisa de Produção de Culturas Oleaginosas	Desenvolvimento de seis programas de pesquisa em todas as regiões do Brasil, envolvendo 146 projetos e 43 instituições. O foco era aprimorar a produção de culturas oleaginosas para fins energéticos.
Produção de Combustíveis a partir de oleaginosas	Produção de combustíveis via transesterificação a partir de óleos vegetais de soja, colza, girassol, mamona, amendoim, dendê e macaúba. O objetivo era obter plantas resistentes de alto rendimento de óleo, alta produtividade e adaptadas às diferentes regiões do país.
Aproveitamento de Subprodutos de Óleos Vegetais	Concentração na pesquisa sobre o aproveitamento de subprodutos derivados de óleos vegetais. Permitir a utilização eficiente de toda a matéria-prima processada, contribuindo para o aumento da produção de rações animais e produtos para exportação.

Fonte: Richter; Netto; Filho (19_)

Nas pesquisas CTAA/ EMBRAPA, a soja saiu-se oleaginosa de melhor alternativa para ser explorada no curto prazo, pois estava consolidada em várias regiões agrícolas do país. Já o dendê seria uma alternativa com grande potencial de exploração a partir de 1986 (MELO, 1983). O dendê também foi apontado como a melhor alternativa energética pelo Conselho Nacional de Petróleo, cujos estudos traziam uma análise comparativa entre o óleo de dendê e o etanol proveniente da cana-de-açúcar e da mandioca (VIANNA, 1980)

Em 1979, a Anfavea divulga o documento ‘As alternativas energéticas para o diesel’. Neste documento, ela ressaltava o potencial de utilização de óleos vegetais como combustível, mas alertava para a necessidade de criação de um programa multidisciplinar para definir e cristalizar um grupo de óleos vegetais para serem estudados, a fim de transformá-lo em um “novo diesel”. A Anfavea cooperaria na realização de teste de desempenho em motores em conjunto com diferentes montadoras (JORNAL DO BRASIL, 1980a).

Assim, destacam-se as pesquisas realizadas pela Mercedes-Benz, que demonstraram ser mais econômico utilizar óleo vegetal em motores a diesel do que o etanol de cana-de-açúcar ou mandioca que exigiriam um aditivo derivado do petróleo, um insumo que o governo buscava economizar. A pesquisa apontou que a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores demandava manutenção elevada, mas sem a necessidade de modificá-los. Isso poderia ser evitado se esses óleos fossem usados em uma mistura de 30%. No entanto, a produção de óleos

vegetais no Brasil mostrava-se insuficiente para instituir um programa de substituição parcial ou total do óleo diesel (VIANNA, 1980).

A Finep direcionou recursos na ordem de Cr\$ 150 milhões (R\$ 45,88 milhões em outubro 2023) para o Programa de Emprego de Óleos Vegetais Brasileiros como Fontes Alternativas de Combustíveis e Lubrificantes. A prioridade deste programa era o aproveitamento de oleaginosas selvagens, sem aplicação na indústria ou que aparecem em terras pobres para a agricultura. Implementado em 1979, o programa abrangia as áreas agrônomicas, industrial e energética e incluía 30 projetos. Ao todo foram estudadas 16 espécies de oleaginosas amazônicas, duas do cerrado, além dos pinhões manso, roxo e bravo. Esperava-se que a exploração dessas espécies, especialmente do pinhão manso, ajudasse na substituição de 25% do diesel em 1985 e, a longo prazo, estabelecer a produção de um petróleo vegetal. (JORNAL DO BRASIL, 1979; VAREJÃO, 1985). Algumas das instituições envolvidas no programa estão listadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Instituições no Programa de Emprego de Óleos Vegetais Brasileiros da Finep

Instituição	Localização	Área de Atuação
Escola Superior de Agricultura de Mossoró	Rio Grande do Norte	Agricultura e Pesquisa
Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco	Pernambuco	Tecnologia e Inovação
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	Educação e Pesquisa
Universidade Estadual do Maranhão	Maranhão	Ensino Superior
Universidade do Pará	Pará	Educação e Pesquisa
Banco de Desenvolvimento do Paraná	Paraná	Desenvolvimento Econômico
Fundação de Tecnologia Industrial	Rio de Janeiro	Tecnologia e Inovação
Centro Tecnológico do Exército/ Instituto Militar de Engenharia	Rio de Janeiro	Tecnologia Militar
IAC	São Paulo	Pesquisa Agrícola

Instituto de Biologia de São Paulo	São Paulo	Pesquisa Científica
Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo	São Paulo	Agricultura e Abastecimento
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)	Minas Gerais	Tecnologia e Inovação

Fonte: Varejão (1985)

Todas essas pesquisas subsidiaram o Ministério da Agricultura na criação do Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, que envolvia também o aproveitamento outros fatores de produção ociosos no país como terras desocupadas e populações subempregadas (JC, 1978), algo parecido como o PNPB na sua fase inicial. O Plano foi apresentado à Secretaria de Tecnologia Industrial (STI), do Ministério de Indústria e Comércio (MIC), órgão responsável pela coordenação das ações do Governo Federal na área das alternativas energéticas a partir da biomassa (MELO, 1983).

Em março de 1980, a STI/MIC realizou o seminário de avaliação do Programa Tecnológico Industrial de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal, reunindo produtores de óleos vegetais, pesquisadores do MIC, representantes da Universidade Federal do Pará (UFPA), Embrapa, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac), além de técnicos ligados às indústrias Caterpillar, Scania, Perkins, Volkswagen e Yamaha. Esse grupo definiu as principais oleaginosas com potencial de substituir o óleo diesel (VIANNA, 1980), corroborando com o posicionamento da Anfavea. As ações e as linhas de pesquisas definidas no Programa Tecnológico Industrial de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal estão no Quadro 11.

Quadro 11 - Ações prioritárias de P&D para óleos vegetais (1980)

Ação Principal	Linha de pesquisa
1. Utilização dos óleos vegetais como combustível / Lubrificantes	1.1. Para estudos imediatos: amendoim, dendê, algodão, soja e babaçu 1.2. Para estudos exploratórios: marmeleiro, coco-da-bahia, pinhões, colza, girassol e outras espécies nativas regionais. 1.3. Utilizações como lubrificantes: 1.3.1. Para estudos imediatos: mamona e derivados. 1.3.2. Para ensaios exploratórios: jojoba e murumuru.
2. Estudos agroeconômicos	2.1. Avaliação das dimensões socioeconômicas, a nível nacional e regional, decorrentes da implantação de projetos agrícolas nas diversas regiões do País.

	2.2. Análise comparativa entre as estruturas de custo de produção e seu comportamento em função dos respectivos mercados.
3. Utilização dos subprodutos	3.1. Armazenagem de tortas e sua estabilização química. 3.2. Estudos para obtenção de produtos a partir das tortas, visando à maximização das receitas operacionais. 3.3. Incentivos à utilização da fibra de algodão em substituição aos sintéticos. 3.4. Aproveitamento integral dos subprodutos do babaçu.
4. Estudos de viabilidade técnico-econômica dos setores industriais interligados	4.1. Avaliação da capacidade produtiva da indústria de óleos vegetais, com perspectivas de ampliação a curto, médio e longo prazo. 4.2. Otimização dos processos e produtos industriais atualmente utilizados. 4.3. Viabilização das minifábricas extratoras de óleos.
5. Estudos de armazenagem e distribuição dos óleos vegetais	5.1. Estudo de estabilização química dos óleos vegetais. 5.2. Estudos de aditivos: antioxidantes, anticorrosivos, inibidores enzimáticos e outros. 5.3. Estudos do sistema logístico.

Fonte: adaptado de Vianna (1980)

De posse de diferentes estudos técnicos e pressionado para responder aos desafios impostos pelo segundo choque do petróleo, agravados pelo início da guerra Irã-Iraque, o vice-presidente da República e presidente da Comissão Nacional de Energia, Aureliano Chaves, começou a articular Proóleo (em analogia ao Proálcool) para a substituição do óleo diesel por óleos vegetais. Em 7, de 22 de outubro de 1980, houve a recomendação para a criação do Programa de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo) por meio da Resolução nº 7 da Comissão Nacional de Energia (BELIK, 1982; CRUZ, 2016; NAE, 2005).

Embora o Proóleo não determinasse o tipo de óleo seria utilizado (in natura ou pré-tratado), ficou definido que o Ministério da Agricultura coordenaria o programa por meio da Comissão Executiva Nacional dos Óleos Vegetais. 1,9 milhões de m³ de óleos para fins energéticos seriam produzidos em 1985 e 10 milhões de m³ em 1990 (CETEC, 1983). A parcela de substituição do diesel por óleo vegetal seria escalonada, saindo de 6,1% em 1981 até atingir 16,3% em 1995 (BELIK, 1982).

Para sustentar esses aumentos, foram adotadas uma série de medidas para ampliar a produção de óleos vegetais, destacando: (i) ocupação das áreas agrícolas nos períodos de entressafra com culturas de ciclo anual, como girassol, colza e amendoim, evitando a expansão da fronteira agrícola; (ii) aproveitamento dos excedentes de soja e espécies perenes,

especialmente palmeiras como o babaçu e o dendê; (iii) fomento ao desenvolvimento tecnológico do dendê para ser a cultura energética prioritária a partir de 1996; (iv) incentivo ao extrativismo de espécies nativas, aproveitando assim as vastas reservas naturais de palmeiras em diferentes regiões do país. Até mesmo o aproveitamento do abacate tornou-se uma alternativa energética, mas foi deixada de lado devido sazonalidade dessa cultura, falta de maturidade uniforme dos frutos e sua rápida deterioração (CETEC, 1983).

Também estava previsto no Proóleo a criação de um parque industrial de esmagamento de oleaginosa e a adaptação das instalações de óleo combustível. Essas e outras ações demandariam U\$ 4 bilhões e seriam financiadas pelo Fundo de Mobilização Energética (BELIK, 1982).

Como viabilidade econômica do programa era questionável, o grupo formado para sua implementação acabou solicitando à própria Comissão Nacional de Energia sua suspensão. Com isso, o Proóleo sequer foi iniciado (JORNAL DO BRASIL, 1980c; MELO, 1983; NAE, 2005; SUAREZ; ABREU, 2005).

Como pode ser visto, o Proóleo foi definido como um programa de produção. No entanto, ele também possuía um componente na área de P&D ao incentivar pesquisas para promover a produção de óleos vegetais nas diferentes regiões do país. Além disso, realizava estudos de adequabilidade técnica e econômica do emprego de óleos in natura ou modificados quimicamente para substituição total ou parcial do diesel (MELO, 1983; NAE, 2005).

Assim, muitas pesquisas continuaram a ser fomentadas com o apoio da Finep. Além disso, havia uma recomendação do STI/MIC para que experiências isoladas de ICTs fossem coletadas e disponibilizadas. Algumas dessas pesquisas são descritas a seguir.

O I Encontro sobre Tecnologia de Óleos Vegetais Combustíveis ocorreu no final de 1980. Neste evento, foram apresentados alguns resultados que mostravam que a transesterificação seria a melhor rota para o processamento dos óleos vegetais. No entanto, ficou reconhecido que este processo necessitaria de mais estudos (MELO, 1983). Dessa forma, o foco central deixa de ser o uso de óleo vegetal puro ou fracionado, que vinha sendo testado desde a década de 1940 e passa a ser o que hoje é conhecido como biodiesel. Alguns desses estudos são apresentados a seguir.

Em 1981, a STI/MIC coordenou o Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais (OVEG), voltado para a formação de base tecnológica sobre o uso de óleos vegetais e seus derivados em motores. O programa compreendeu a realização de testes de bancada e frota, utilizando ésteres de óleos vegetais (CRUZ, 2016). Ao todo, 1,2 milhão foram percorridos por caminhões, ônibus e máquinas agrícolas e os resultados foram apresentados no II Simpósio de

Engenharia Automotiva de 1984, indicando que a melhor opção seria a utilização seria a utilização de ésteres metílicos ou etílicos obtido do óleo de soja (TRIBUNA DA IMPRENSA, 1984).

Na Unicamp, um grupo de pesquisadores coordenado pelo professor Ulf Schuchardt, do Instituto de Química, realizou pesquisas com catálise heterogênea de óleos vegetais, que levou ao desenvolvimento de catalisadores orgânicos. Também realizou testes de campo com diferentes misturas de diesel/biodiesel/etanol, chegando às seguintes conclusões: a) o diesel não forma misturas estáveis com o etanol; b) o diesel pode ser misturado em qualquer proporção com o biodiesel; c) o biodiesel pode ser misturado com o etanol em baixa proporção; d) a mistura energeticamente mais eficiente é 80% diesel/20% biodiesel; e) a mistura mais eficiente pode conter até 5% de etanol (CRUZ, 2016; GALLO, 2012; SUGIMOTO, 2004).

O grupo de Ulf Schuchardt depositou a primeira patente mundial de um reator contínuo para a transesterificação de óleos vegetais em 1982 (CRUZ, 2016). Neste mesmo ano, ele recebe o Prêmio Governador do Estado de São Paulo e um dos membros de sua equipe fica com segunda colocação no Prêmio Jovem Cientista do CNPq (CORREIO BRAZILIENSE, 1982; SUGIMOTO, 2004).

No final de 1980, O engenheiro químico Expedito de Sá Parente, ex-integrante do Projeto Marmeleiro do Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia da UFC, conclui suas pesquisas e apresenta o prodiesel, um “diesel vegetal” obtido a partir de alcoólise catalítica de óleo vegetal de qualquer natureza (PARENTE, 2003).

A tecnologia desenvolvida por Parente tem duas patentes. A primeira BR 8004358 descreve a produção de um “combustível diesel sintético” utilizando a rota de transesterificação para a produção de ésteres metílicos (ou etílicos) na presença de catalisadores alcalinos e com excesso de álcool (metílico ou etílico). Considerada a primeira patente mundial para um processo de produção em escala industrial de biodiesel, ela ainda descreve o uso de micro-ondas ou de ultrassom para tornar mais eficiente a extração do óleo vegetal (PARENTE, 2007, 2016). O conjunto das primeiras patentes sobre biodiesel no Brasil estão listadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Primeiras patentes brasileiras sobre biodiesel

Patente	Título da Patente	Requerente	Ano de Depósito
BR 8004358	Processo de produção de um combustível sucedâneo de óleo tipo diesel	Expedito José de Sá Parente	1981

BR 8007957	Processo de produção de combustíveis a partir de frutos ou sementes oleaginosas	Expedito José de Sá Parente	1981
BR 8003739	Processo de extração de óleos vegetais para obtenção de combustíveis	Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia ⁴⁰	1982
BR 8202429	Reator contínuo com catalisadores orgânicos heterogeneizados para transesterificação de óleos vegetais	Ulf Friedrich Schuchardt e Osvaldo Cândido Lopes	1982
BR 8300429	Processo da transesterificação de óleos vegetais	Embrapa	1984
BR 8302341	Processo de extração de óleos vegetais com álcool etílico, seguido por transesterificação com este álcool para obtenção de combustíveis	Embrapa	1984

Fonte: Ramos (2010)

Para a produção desse novo combustível, foi criada a Produtora de Sistemas Energéticos Ltda. (PROERG) e estabelecida uma unidade piloto industrial para a produção de 200 litros de prodiesel por hora. A Fiesp apoiou e intermediou a realização de testes que consumiram cerca de 300 mil litros de prodiesel até o final de 1982. Diferentes organizações participaram desses testes, incluindo a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), o Centro de Tecnologia da UFC, o Departamento de Transporte da Companhia de Eletricidade do Ceará (COELCE) e o Centro Técnico Aeroespacial do Ministério da Aeronáutica (CTA), a Anfavea, o Sindicato Interestadual de Máquinas e o Sindicato da Indústria de Óleo Vegetal (JORNAL DO BRASIL, 1980b; PARENTE, 2003, 2007, 2016).

Embora o Prodiesel seja a experiência mais exitosa neste período, coroando Expedito Parente como o pai do biodiesel no Brasil, é importante resgatar outros projetos de vanguarda relacionados à produção de óleo vegetal transesterificado.

Em 1981, a Volkswagen estabeleceu uma parceria com as empresas MWM Motores, Shell e Rosana Indústrias Químicas para realizar testes com alguns de seus caminhões do departamento de transporte. Esses caminhões percorreram 120 mil quilômetros utilizando óleo de soja transesterificado. Como resultado, foram desenvolvidos bicos injetores para melhorar a queima desse combustível (APARECIDO, 1983). É importante ressaltar que a empresa já havia realizado testes em um Passat diesel que percorreu 20 mil km com óleos de amendoim, dendê e soja. Isso atraiu a atenção de pesquisadores da Universidade de Michigan, que pretendiam

⁴⁰ Os estudos para essa patente foram conduzidos por Leopold Hartman, um dos maiores especialistas óleos vegetais da época (RICHTER; NETTO; FILHO, 19_)

explorar a utilização de óleo de girassol como alternativa ao diesel (APARECIDO, 1980; JORNAL DO COMMERCIO, 1981).

Em 1984, a Fiat recebeu autorização do Conselho Nacional de Trânsito para comercializar veículos comerciais leves equipados com motores que pudessem utilizar óleo vegetal transesterificado. Esses veículos foram vendidos de forma experimental para empresas ou entidades que pudessem comprovar o abastecimento com esse tipo de combustível, ficando obrigadas a emitir relatórios periódicos sobre o desempenho (JORNAL DO BRASIL, 1984).

A Fiat apontava como melhor alternativa de abastecimento os óleos transesterificados de mamona ou pinhão, cujas especificações foram desenvolvidas pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) com o apoio da STI/MDI. Este trabalho foi baseado em um estudo que vinha sendo realizado desde 1980 com oleaginosas nativas do Estado de Minas Gerais e sua transformação em óleos extraídos por alcoolização ou transesterificação. Além de avaliar o desempenho e a durabilidade de motores quando alimentados com esse combustível, esses estudos analisaram as emissões e impactos ambientais desses combustíveis, algo inovador para a época (CETEC, 1983; TRIBUNA DA IMPRENSA, 1984).

Entre 1982 e 1984, a Ceplac possibilitou a execução do Projeto Dendiesel para o aproveitamento do dendê como combustível. Orçado em Cr\$ 600 milhões (R\$ 9,1 milhões em outubro 2023), o projeto contou com a participação do STI/MIC, a Petrobras, a Proerg, o INT, o Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro), a Companhia de Viação Sul Bahiano (SULBA), a Volkswagen e o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (Ceped) do Governo da Bahia (EBN, 1984; TORRES; HUGO, 1985). É importante ressaltar que o Ceped já vinha pesquisando o dendê como cultura energética desde 1980, quando estabeleceu, dentro do Programa de Fontes Não Convencionais de Energia, o Projeto de Processamento para a Produção de Substituto de Derivados de Petróleo pelo Craqueamento Catalítico do Óleo de Dendê (JB, 1980).

Sob a coordenação do engenheiro químico Hernani Lopes Sá Filho, do INT, testes preliminares com o combustível à base de dendê foram realizados em ônibus da SULBA e em uma Parati-furgão, que rodou mais de 80 mil km (SÁ FILHO, 2010; TORRES; HUGO, 1985). Em fevereiro de 1985, O Inmetro deu início aos testes de desempenho e durabilidade dos motores (CORREIO BRAZILIENSE, 1985). Neste mesmo ano, o projeto é desacelerado pela falta do aporte financeiro prometido pela Ceplac, sendo encerrado em 1987 após a aprovação do uso do dendiesel pelo conselho federal de transito (CRAVEIRO, 1987)

Houve duas tentativas infrutíferas de retomar o Dendiesel. A primeira ocorreu em 1991, quando o Governo Collor relançou o programa com o objetivo de levar esse tipo de combustível para as comunidades rurais, um objetivo menos ambicioso que o projeto original. O projeto

ficaria sob a responsabilidade da Embrapa, responsável pelo melhoramento das plantas de dendê, e da empresa Elsbett, responsável pela adaptação da tecnologia que vinha sendo desenvolvida na Alemanha para o combustível e motor (JC, 1991). A segunda tentativa foi após o lançamento do PNPB em 2004, quando a Ceplac tentou negociar com a Petrobrás um projeto-piloto para a produção de dendiesel na região sul da Bahia (JORNALCANA, 2004).

Conforme as experiências descritas nesta seção, houve uma tentativa mais consistente e organizada do que a observada no PSI para encontrar e inserir um substituto para o diesel na matriz de transporte brasileira. Embora não explicitadas, é possível afirmar que todas as ações P&D estavam alinhadas com as políticas setoriais do III Plano Nacional de Desenvolvimento 1980/85, que definiu o setor de energia com um dos setores prioritários (BRASIL, 1981). Entre as principais ações de política energética, estava a intensificação de ações P&D de fontes não convencionais, no qual se enquadra o SVO e ou óleo vegetal transesterificado.

Neste período, destaca-se a mudança do aproveitamento do SVO para o óleo vegetal transesterificado (biodiesel). Assim, os primeiros anos da década de 1980 foram marcados por uma “redescoberta” da rota de transesterificação, evidenciando o pioneirismo do Brasil naquele período. Contudo, é importante ressaltar que essa mudança ocorre tardiamente, com o preço do petróleo se estabilizando, o que inviabilizou a sua adoção em larga escala.

Mudanças também marcaram a relação entre as instituições na forma de conduzir pesquisas. Estas deixaram de ser ações pontuais, isoladas e com apoio governamental limitado para se tornarem ações estruturadas e coordenadas pela STI/MIC, Finep e CNPq, principais interfaces entre o governo federal e o setor empresarial, no contexto da política brasileira de desenvolvimento científico e tecnológico, já que o MCTI só seria criado em 1985.

Isso fomentou e favoreceu um grande engajamento técnico-científico e político de diversas instituições, com destaque para a criação de grupos formados por empresas e ICTs, envolvidas em diferentes projetos, como o Oveg, o Prodiesel e o Dendiesel.

Como resultado, a tecnologia de produção de óleo vegetal transesterificado foi amplamente dominada, destacando o registro das primeiras patentes nacionais entre 1981/84. Logo, já não havia dúvidas o biodiesel poderia representar uma possibilidade interessante na substituição parcial ou total do óleo diesel, além de trazer grandes benefícios sociais decorrentes da geração de emprego.

O pioneirismo tecnológico do Brasil nesta área não foi suficiente para modificar o cenário de políticas públicas de curto prazo existentes no país e com a queda dos preços dos combustíveis fósseis na segunda metade da década de 1980, o interesse pelo biodiesel se arrefeceu, paralisando ou descontinuando a maior parte das pesquisas. Assim, ao contrário da

Áustria, que alcançou o TRL 8 (tecnologia testada, qualificada e pronta para ser implementada), o Brasil ficou limitado ao TRL 6 (tecnologia demonstrada em ambiente relevante) apesar de toda potencialidade apresentadas nas pesquisas.

2.2.3 A retomada das discussões sobre a implementação da indústria no Brasil

Na década de 1990, uma revolução energética foi desencadeada devido às preocupações geopolíticas, ambientais e de segurança energética, o que favoreceu os biocombustíveis (SACHS, 2007).

No âmbito da geopolítica e da segurança energética, destaca-se a Guerra do Golfo (1990-1991), que trouxe instabilidade sobre o mercado de petróleo e, mesmo após seu fim, as crises nas principais regiões produtoras passaram a ser constantes, fazendo com que o preço do barril de petróleo se estabilizasse em níveis altos, especialmente com o advento de uma nova Guerra do Iraque em 2003 (LOONEY, 2003).

No âmbito ambiental, tem-se a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), que passou a alertar sobre a necessidade de se combater as emissões de GEE, bem como buscar alternativas que levassem a uma transição econômica para o crescimento sustentável (AGÊNCIA SENADO, [s.d.]). Estes dois eventos foram apontados como importantes catalisadores para a volta da exploração dos biocombustíveis como alternativa energética (CÉSAR; BATALHA, 2010).

Nesse contexto, é importante destacar também a realização da ECO-92⁴¹, que levou a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) com o objetivo de estimular a cooperação internacional no combate às mudanças climáticas. Em 1997, o primeiro tratado internacional para controle de emissões de GEE foi aprovado no âmbito da UNFCCC, o Protocolo de Kyoto, com o objetivo de reduzir em 5,2%, das emissões CO₂ em relação a 1990, principalmente por parte dos países industrializados. (AGÊNCIA SENADO, [s.d.]).

A partir do Protocolo de Kyoto, o comércio de créditos de carbono⁴² foi instituído e incentivado por instrumentos como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e

⁴¹ Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, Rio 92 ou Cúpula da Terra.

⁴² No Brasil, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, em parceria com a Bolsa de Mercadorias e Futuros e subsidiado pela Fundação Getúlio Vargas criou o Mercado Brasileiro de Redução de

Implementação Conjunta (IC). O MDL incentivava investimentos em projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento, enquanto a IC permitia que países desenvolvidos realizassem projetos semelhantes em outros países desenvolvidos (UNFCCC, [s.d.]). Esses instrumentos facilitaram o investimento em biomassa com fins energéticos, especialmente no setor de transporte, que é uma das principais fontes de poluição atmosférica. (RAMOS, 2006).

Além desses instrumentos, outras políticas (e.g. medidas regulatórias, estímulos fiscais, fomento à P&D, marketing e outros) foram utilizadas para fomentar o mercado de biocombustíveis. Tais medidas foram empregadas em diferentes etapas da cadeia do biocombustível a ser fomentado (PELKMANS et al., 2007).

É dentro desse contexto que a indústria do biodiesel vai se desenvolver na UE, cuja motivação para o desenvolvimento da indústria do biodiesel estava diretamente relacionada à agricultura⁴³. Países como Áustria, França e Alemanha, que já possuíam domínio tecnológico nessa área, foram pioneiros na instalação das primeiras plantas de produção de biodiesel em escala industrial na década de 1990, utilizando colza/canola e girassol como principais culturas (EUBIA, [s.d.]).

Em 1992, a Diretiva nº 92/81/CEE permitiu a isenção fiscal para projetos piloto de biocombustíveis e em 2003, entra em vigor a primeira Diretiva⁴⁴ sobre o uso de biocombustíveis para transporte com a adoção de um percentual destes ao diesel e à gasolina (Diretiva 2003/30/EC) (CADILLO-BENALCAZAR et al., 2021).

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento da indústria de biodiesel ocorreu de forma distinta em comparação à UE, que já tinha saído da escala piloto. O país estava em um nível de maturidade tecnológica inferior e os esforços foram direcionados para P&D com o objetivo de aprimorar as tecnologias de transesterificação, identificar matérias-primas adequadas e buscar

Emissões (MBRE) com objetivo de organizar o mercado primário, por meio de um banco de projetos, com sistema de registro, armazenamento e classificação dos mesmos (BIODIESELBR, 2006). Atualmente, está em tramitação Projeto de Lei nº 528/21, que tem como objetivo a regulamentação do MBRE, determinado pela Política Nacional de Mudança do Clima – Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2020).

⁴³ Um marco importante nesse sentido foi a reforma MacSharry da Política Agrícola Comum em 1992, que exigiu que os produtores reservassem parte de suas terras (sistema de *pousio/set-aside*) para combater o excesso de produção de cereais. Nessas terras reservadas, foi permitido o cultivo de culturas não alimentares, como a colza/canola, direcionadas à produção de energia ou uso industrial, sem perder os subsídios agrícolas. Essa oportunidade atraiu o interesse dos agricultores, tornando o cultivo de matérias-primas para biodiesel um negócio atrativo (PELKMANS et al., 2007)

⁴⁴ As principais Diretivas da UE voltadas à utilização de energias renováveis no setor dos transportes (principalmente rodoviário e ferroviário) estão listadas abaixo. Com exceção da Diretiva 2003/30/EC, todas as outras estão atualmente em vigor (simultaneamente), assim temos: Diretiva de Biocombustíveis de Transporte 2003/30/EC de 08 de maio de 2003; (extinta) RED-I: Diretiva de Energias Renováveis 2009/28/EC de 23 de abril de 2009 (em vigor); DQF: Diretiva de Qualidade de Combustíveis 2009/30/EC de 23 de abril de 2009, alterada em 2016 (em vigor); ILUC: Diretiva (UE) 2015/1513 de 9 de setembro de 2015 (em vigor); RED-II: Diretiva de Energias Renováveis (reformulada) 2018/2001 de 11 de dezembro de 2018 (em vigor).

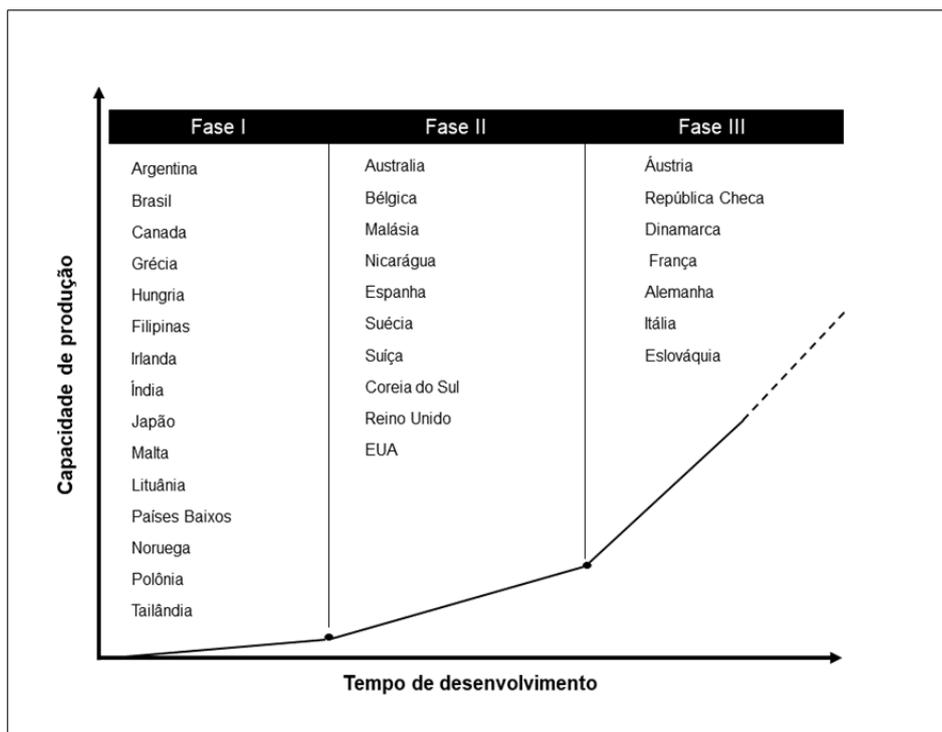
soluções para os desafios técnicos e econômicos da produção em larga escala. Houve um investimento significativo em pesquisas conduzidas por universidades, instituições governamentais e empresas privadas. Para se ter uma ideia, cerca de 350 projetos de pesquisa sobre biodiesel foram desenvolvidos entre 1992 a 1997 (CADILLO-BENALCAZAR et al., 2021; NAE, 2005; VAN GERPEN et al., 2004).

No final da década de 1990, um relatório da IEA apontou que 32 países estavam envolvidos com a indústria de biodiesel e ocupavam diferentes fases no estágio de desenvolvimento tecnológico desse biocombustível, a saber:

- **Fase I** - primeiras ideias e pensamentos do uso de biodiesel como combustível até a adaptação real das ideias por parte dos decisores, que são motivados a colocar essas ideias em prática.
- **Fase II** - decisão política de investir dinheiro e outros recursos de P&D: projetos piloto, formulação de políticas/estratégias e ensaios técnicos financeiramente suportados.
- **Fase III** - produção comercialmente viável, distribuição e uso de biodiesel (GREGG, 2003).

A Figura 20 apresenta a fase de desenvolvimento da indústria de biodiesel em que se encontrava cada um dos países selecionados no estudo.

Figura 20 - Fase de desenvolvimento da indústria de biodiesel em alguns na década de 1990



Fonte: Gregg (2003)

2.2.3.1 O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil

Como visto, na década de 90, existia uma forte tendência em priorizar P&D em tecnologias que contribuíssem para segurança energética e sustentabilidade ambiental, como foi o caso no biodiesel. Em 1991, o MCT passou a coordenar projetos de desenvolvimento tecnológico para combustíveis renováveis (e.g. a biomassa de madeira, de cana-de-açúcar e de folhas), contando como o apoio do *GEF-Global Environment Facility*⁴⁵ e do Banco Mundial (CAMPOS, 2003a). Neste mesmo ano, o Presidente Fernando Collor de Mello relançou oficialmente o Projeto Dendiesel, que fracassou mais uma vez (FARIA et al., 2010).

Assim, diferentemente do que ocorria na Europa e nos EUA, as pesquisas com biodiesel no Brasil entraram em compasso de espera em função da desmobilização dos grupos de pesquisa até o final da década de 1990 e, mesmo tendo requerido a primeira patente mundial para a produção industrial de biodiesel no início da década passada, o país estava muito atrasado

⁴⁵ Um fundo global para o meio ambiente voltado para auxiliar os países em desenvolvimento na implementação de projetos que buscassem soluções para as preocupações globais em relação à proteção dos ecossistemas e à biodiversidade.

em relação a outros no que diz respeito ao desenvolvimento tecnológico desse biocombustível (TORRES et al., 2006).

Contudo, importantes acontecimentos contribuíram para a retomada das discussões sobre a implementação da indústria desse biocombustível no país, o que viria a ocorrer em meados da década seguinte. Alguns desses acontecimentos são descritos a seguir.

2.2.3.1.1 Busca de um novo mercado para o óleo de soja

A produção de soja no Brasil começou a ganhar cada vez mais importância econômica e política em todas as regiões do país, fazendo com que o plantio dessa oleaginosa entrasse em uma trajetória ascendente com a abertura de novas áreas de cultivo, em particular no bioma cerrado. Contudo, enquanto o país se tornava um importante exportador de grãos in natura, o óleo de soja possuía uma baixa participação no comércio internacional, que foi agravada com a Lei Kandir⁴⁶. Paralelamente, o país ganhava participação no mercado interno e externo de proteína animal, o que favorecia o uso de farelo de soja para nutrição animal, sendo determinante no volume de óleo, já que os dois produtos são originários do mesmo processamento. Dessa forma, havia a necessidade latente de criar um novo mercado para o óleo de soja (TIBURCIO, 2011).

Na visão dos representantes dos interesses do agronegócio, essa ideia calhou e a soja foi apresentada como a única matéria-prima disponível para iniciar a produção de biodiesel em escala, pois possuía uma série de vantagens comparativas diante das demais oleaginosas: era pesquisada e plantada há mais de quarenta anos, possuía uma cadeia produtiva altamente organizada e a quantidade de óleo produzida era significativa (PEDROTI, 2013).

Com relação à oferta de óleos vegetais no Brasil, ela quase triplicou entre 1985 e 2005, enquanto o consumo de óleo diesel dobrou neste mesmo período. No final da década de 1990, já havia um excedente de óleo vegetal que foi aproveitado por algumas indústrias de esmagamento de soja, que implantaram pequenas usinas de biodiesel para consumi-lo em frotas próprias (MENEZES, 2016; PARENTE, 2016).

⁴⁶ A Lei Complementar nº 87/1996 prevê a isenção do pagamento do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre as exportações de produtos primários, como itens agrícolas, semielaborados ou serviços.

Diante desse cenário, é possível presumir a formação do lobby da indústria da soja, capitaneada pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), antes mesmo do processo de criação do PNPB. Esse lobby ganhou força e continua ativo, seja influenciando a antecipação/aumento da mistura de biodiesel ao diesel, como ocorrido em 2010 (PEDROTI, 2013) ou na luta contra a redução temporária do percentual de biodiesel de 13% para 10% observada em 2021 (SAMORA; MANO, 2021).

2.2.3.1.2 Indisponibilidade de diesel adequado para atender ao Proconve

Em 1993, vários dispositivos da Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986, que criou o Proconve, foram regulamentados pela Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispôs sobre a redução de emissão de poluentes em veículos automotores, obrigando os fabricantes de motores e veículos, além dos fabricantes de combustíveis a tomarem providências para reduzir os níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes.

A partir da Fase P-2 de 1994, as normas ambientais do Proconve passaram a contar com diretrizes claras sobre o processo de inspeção dos veículos a diesel. Na Fase P-3 de 1996, os limites de emissão de gases poluentes e enxofre tornaram-se ainda mais baixos. Como resultado, o cumprimento da meta foi prejudicado devido a indisponibilidade de diesel com qualidade necessária para mitigar as emissões nos níveis estabelecidos nesta fase do programa, o que levou a uma redefinição de prazos para o cumprimento da meta (PEDROTI, 2013).

Nessa circunstância, a indústria automobilística viu o uso de blends biodiesel/diesel como uma importante alternativa para melhorar os limites de emissões estabelecidos pelo Proconve (PEDROTI, 2013). Ademais, a criação de um programa de incentivo ao uso de biodiesel seria favorável à indústria automobilística em termos de marketing, pois o processo de produção desse biocombustível envolve o cultivo de vegetais cujo crescimento absorve carbono, ou seja, trata-se de um programa com efeitos positivos para o meio ambiente.

Porém, a Anfavea teve um posicionamento conservador em relação ao uso do biodiesel antes da implementação do PNPB, recomendando, ao contrário de outros stakeholders, o uso do B2 e sugerindo uma elevação gradativa desse percentual de modo a evitar que os motores sofram danos irreversíveis (LIMA, 2004). Com a Instituição do PNPB, a Anfavea passou a

defender a utilização do B5, inclusive assegurando a garantia dos veículos no decorrer do período originalmente dado.

2.2.3.1.3 Utilização da mistura álcool – diesel – aditivo (MAD)

Sob o pretexto de contribuir para a redução de emissão de poluentes, um projeto de lei (c) foi apresentado à Câmara dos Deputados com o objetivo de tornar obrigatória a adição de álcool etílico carburante ao óleo diesel (CÂMARA DOS DEPUTADOS, COMISSÃO DE MINAS E ENERGIA, 1997). A PL nº 3.550/1997 foi arquivada em 1999 e contribuiu para retomar e alavancar as pesquisas com a utilização da mistura álcool-diesel, que estavam em estado de dormência desde meados da década de 1980 (SANTOS; VALLE; GIANNIN, 2000).

No período supracitado, o Comitê Interministerial do Açúcar e do Álcool delegou ao MCT a responsabilidade de coordenar um grupo de trabalho para avaliar a viabilidade técnica da utilização álcool-diesel sem o uso de aditivos estabilizadores. Testes com MAD-3, ou seja, 3% de álcool anidro e 97% de diesel foram realizados em Curitiba com o apoio da Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná (ALCOPAR), do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) e da Urbanização de Curitiba S/A (URBS). Foram apontados problemas técnicos na utilização dessa mistura, como perda de potência do motor. Ademais, a confiabilidade dos testes não foi assegurada, pois não houve o envolvimento dos fabricantes e dos fornecedores de autopeças nos mesmos (OLIVEIRA, 2003).

Em 1998, um grande teste de laboratório foi realizado em São Paulo para avaliar a mistura álcool-diesel com diferentes aditivos (e.g. Dalco e Bio7), mas os resultados foram insatisfatórios, devido à qualidade do diesel comercializado à época no mercado brasileiro (KRONBERG; BERG; BERG, 2000). Nesse mesmo ano, teve início a utilização do MAD-8, uma mistura ternária de óleo diesel (89,4%), etanol (8%) e o aditivo AEP 102 (2,6%), um éster da soja, biodegradável, despoluente e solubilizante da mistura álcool combustível-óleo diesel, que foi testado em frota cativa do transporte metropolitano em Curitiba por meio de uma parceria entre TECPAR e URBS. Outras organizações participaram da pesquisa como a Bosch e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo (FONTANA, 2002; OLIVEIRA, 2003).

Os resultados dos testes apontaram uma redução significativa da poluição ambiental, principalmente de material particulado. Em 2000, foi instalada a fábrica de biocombustíveis da

Ecomat em Mato Grosso com capacidade de produção de éster etílico de óleo de soja (biodiesel) de 500 toneladas e de 1.200 toneladas de AEP-102 por mês (OLIVEIRA, 2003). Porém, a mistura MAD-8 teve seus testes interrompidos devido às mudanças na tecnologia de injeção nos motores, que inviabilizou a proposta (GAZZONI, 2010).

Embora o real objetivo da PL nº 3.550/1997 fosse viabilizar a estabilidade do Proálcool, o que viria a ocorrer com o surgimento dos carros com tecnologia *flex* anos depois, esse projeto marcou o reinício das pesquisas com biocombustíveis que poderiam ser utilizados com o diesel, alavancou a produção do aditivo AEP-102 e contribuiu para a construção de uma das primeiras instalações industriais para produção comercial de biodiesel, a Ecomat em Mato Grosso.

Essa usina foi concebida visando a produção inicial de AEP-102 e biodiesel de óleo de soja e, poderia ser otimizada para produção de biodiesel a partir de outros óleos vegetais (CAMPOS, 2003a). Além da Ecomat, a Ceralit (SP), a Tecbio (CE), a Biolix (PR) e a SoyMinas (MG) foram apontadas como as usinas capazes de empresas capazes de iniciar a produção de biodiesel no país na fase autorizativa do PNPB (CGEE, 2004a).

É importante ressaltar que as pesquisas com álcool – diesel – alavancaram o interesse de instituições brasileiras em pesquisar a rota etílica para produção de biodiesel (FAEE), pois a tecnologia do biodiesel metílico (FAME) estava dominada. Além disso, o Brasil não era autossuficiente na produção de metanol no final da década de 1990, o que poderia encarecer o produto. Dessa forma, esperava-se que o país adotasse a rota etílica devido a disponibilidade de etanol produzido em larga escala, a custos competitivos, o que animou o setor sucroalcooleiro que via no biodiesel produzido pela rota etílica uma oportunidade de mercado para o etanol (GAZETA MERCANTIL, 2003).

Dessa forma, grupos de pesquisa dedicados ao estudo do uso do etanol na produção de biodiesel se formaram em diferentes ICTs como: na Universidade Federal do Paraná (UFPR), na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), no IPT e na Universidade de São Paulo (USP) (OLIVEIRA, 2007).

2.2.3.1.4 Reformulação da matriz energética brasileira

O Brasil reformulou sua matriz energética através da Lei nº 9.478/97, que quebrou o monopólio da Petrobras, permitindo a entrada de empresas privadas na produção de derivados energéticos. Neste mesmo instrumento, estabeleceu a criação do CNPE, da ANP e os princípios

e objetivos para a política energética nacional. No seu art. 1º, incisos XII e XVII, trouxe a referência em incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional e fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável (BRASIL, 1997).

Em 1998, a ANP, por meio da Resolução nº 180/98, estabeleceu a regulamentação para utilização de combustíveis líquidos ou gasosos não especificados, incluindo a necessidade de testes para sua homologação, ou seja, para sua comercialização (ANP, 1998). A partir dessa resolução, testes físico-químicos, de bancada e de campo foram conduzidos por ICTs brasileiras e seus resultados apresentados à ANP para aprovação.

Ainda no ano da publicação da resolução, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da UFRJ, maior centro de ensino e pesquisa em engenharia da América Latina, foi a primeira instituição brasileira a solicitar à ANP a realização de testes com biodiesel de óleo de fritura usado e produzido no Brasil.

2.2.3.1.5 Estado como indutor das Políticas Industriais e de C&T

O sucesso econômico de países como a Coreia do Sul tornou-se um forte argumento sobre o papel do Estado como indutor de desenvolvimento econômico e social, em contraposição ao neoliberalismo econômico adotado nos Governos Collor/Itamar Franco (1990-1994) e FHC (1995-2002).

Com a chegada do Governo Lula ao poder, pautas desenvolvimentistas como constituição de novas forças produtivas que alterassem a estrutura industrial e tecnológica do país e sua inserção internacional voltaram a ganhar força, culminando em um movimento de resgate da Política Industrial (PI) no escopo da política econômica brasileira (CEPAL; IPEA, 2018).

Assim, após o III Plano Nacional de Desenvolvimento do Governo Sarney e da Política Industrial e de Comércio Exterior (PICE) do Governo Collor, a política industrial voltou a ser tratada de forma explícita⁴⁷ nos governos seguintes com a Política Industrial, Tecnológica e de

⁴⁷ No Governo FHC, a política industrial foi tratada de forma implícita, no contexto do Plano Real, como nas ações setoriais para o aumento da competitividade da indústria brasileira (SANTOS, 2017).

Comércio Exterior (PITCE) de 2004, seguida pela Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) de 2008 e Plano Brasil Maior (PBM) de 2011 (SANTOS, 2017; TONI, 2015).

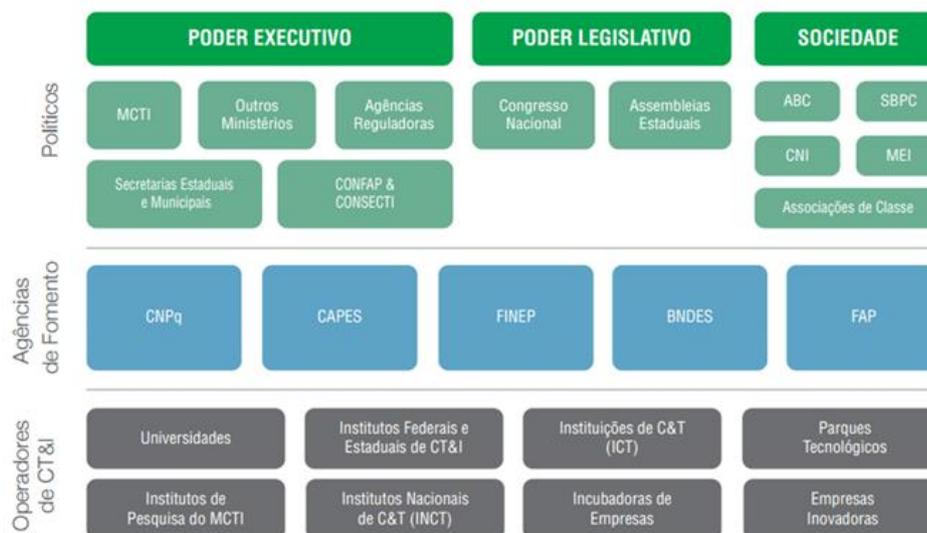
Em todas essas políticas, a inovação assumiu um papel central na estratégia de desenvolvimento e no processo de formulação e implementação, o que a tornou uma variável-chave na busca do aumento da competitividade da base produtiva, tendo o Estado como agente indutor em investimentos de C&T e P&D que levem à materialização de novos produtos e processos (CEPAL; IPEA, 2018), inclusive na área de energia, tratada de forma específica e por vezes ambiciosas como no PBM (SANTOS, 2017).

Dessa forma, o Estado assumiria os investimentos e os riscos associados à inovação em áreas desconhecidas e cheias de incertezas, o que dificilmente seriam feitos pelo setor privado num primeiro momento. Além de assumir tais riscos e incertezas, caberia a ele implementar mecanismos de estímulos para direcionar a iniciativa privada (SAMPAIO; BONACELLI, 2018).

Algo muito próximo foi feito no PNPB, a exemplo da transferência de tecnologia das ICTs para as usinas, incentivos fiscais, o fomento à agricultura familiar, a compra de biodiesel para atender a demanda por meio de leilões e a reserva de mercado para o biodiesel por meio dos percentuais de mistura obrigatórias.

Cada PI se articulava com a política de CT&I, cuja responsabilidade era do MCT, que também coordenava o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI). Esse sistema foi formado por uma ampla gama de atores (Figura 21) com objetivos de: incentivar e promover o desenvolvimento científico e tecnológica e estimular a inovação entre os entes públicos ou privados (ICTP.BR, 2021), além de dar maior apoio a projetos de instituições, grupos e redes temáticas de pesquisa⁴⁸ (MCT, 2005).

⁴⁸ Grifo do autor.

Figura 21 - O Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

Fonte: MCTIC (2016a)

Cabia aos atores políticos, a definição de diretrizes estratégicas que nortearão as iniciativas do Sistema. Às agências de fomento competiam o domínio dos instrumentos que viabilizaram as decisões tomadas pelos atores políticos e os operadores do sistema executavam as atividades de PD&I planejadas.

No desenvolvimento tecnológico do biodiesel, destacou-se a atuação efetiva e pioneira do MCT, a partir de 2002, estabelecendo parcerias com diferentes atores públicos federais e estaduais (Fundações de Amparo à Pesquisa e Secretarias de CT&I), além de atores privados (empresas e associações), professores universitários e pesquisadores para analisar a viabilidade técnica, socioambiental e econômica do biodiesel no mercado brasileiro (MCT, 2002).

Na estrutura de regulação e promoção da produção de energia, o MCT dava suporte ao desenvolvimento tecnológico do PNPB e contribuía para na definição dos rumos da P&D de outras fontes de energia renováveis de interesse nacional em conjunto com a Casa Civil, CNPE e outros quatro ministérios: MME, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA, Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e Ministério do Meio Ambiente (MMA) (DOS SANTOS, 2015).

Outro importante ator político foi o Congresso Nacional que vinha demonstrando interesse pelo biodiesel desde 2001, quando o país passava por uma crise de fornecimento e distribuição de energia elétrica em todo o país e os óleos vegetais, bem como o biodiesel foram vistos como uma alternativa energética para uso em motores estacionários (TEIXEIRA, 2001).

Para o financiamento das pesquisas, o MCT contou com o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e os Fundos Setoriais de Ciência e

Tecnologia⁴⁹ como o CT-Petróleo, o CT-Energia e o CT-Agronegócio para dotação orçamentária destinados a apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e inovação de ICTs isoladas, em parceria com empresas, ou em forma de redes. Entre 1999-2012, esses fundos abrigaram a maior parte dos projetos de pesquisa em energias renováveis, destacando as pesquisas com matérias-primas e a compreensão dos impactos do biodiesel, principalmente nos processos produtivos da fase agrícola (CEPAL; CGEE, 2020).

A estrutura orçamentária do FNDCT era formada por três grupos principais: Ações Verticais, que englobavam os fundos setoriais para financiamento de projetos de PD&I; Ação Transversal, criada em 2004 e direcionada para financiamento de programas estratégicos do MCT que tinham ênfase na política industrial da época e compreendia também ações de caráter transversal voltadas para o apoio às ICTs, ação destinada ao financiamento de estudos e projetos PD&I em diversas áreas de conhecimento; e Operações Especiais, voltadas exclusivamente para o apoio à inovação nas empresas (FINEP, [s.d.]).

O FNDCT contava com diferentes modalidades de apoio para aplicação de recursos, podendo ser reembolsável e não reembolsável. Esta última estava destinada ao financiamento de projetos de ICTs, projetos de cooperação entre ICTs e empresas, projetos de subvenção econômica para empresas. Os principais instrumentos para a aplicação de recursos foram:

- Chamadas Públicas: destinadas a seleção de propostas abertas a qualquer interessado qualificado baseado em critérios pré-estabelecidos nos editais;
- Encomendas: instrumentos destinados a ações específicas de execução de políticas públicas, tendo como requisitos a criticidade ou a especificidade do tema, a singularidade da instituição ou a existência de competência restrita, podendo ter, entre outras características, a vinculação a prioridades de programas de governo, a programas estratégicos da área de ciência, tecnologia e inovação ou a urgência no seu desenvolvimento.
- Cartas-Convite: direcionadas às instituições para apresentação de propostas (FINEP, [s.d.]).

A Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) foram as principais agências de fomento que atuaram de forma transversal na gestão de recursos e na promoção de ações de incentivo à pesquisa com biodiesel (SANTOS, 2013).

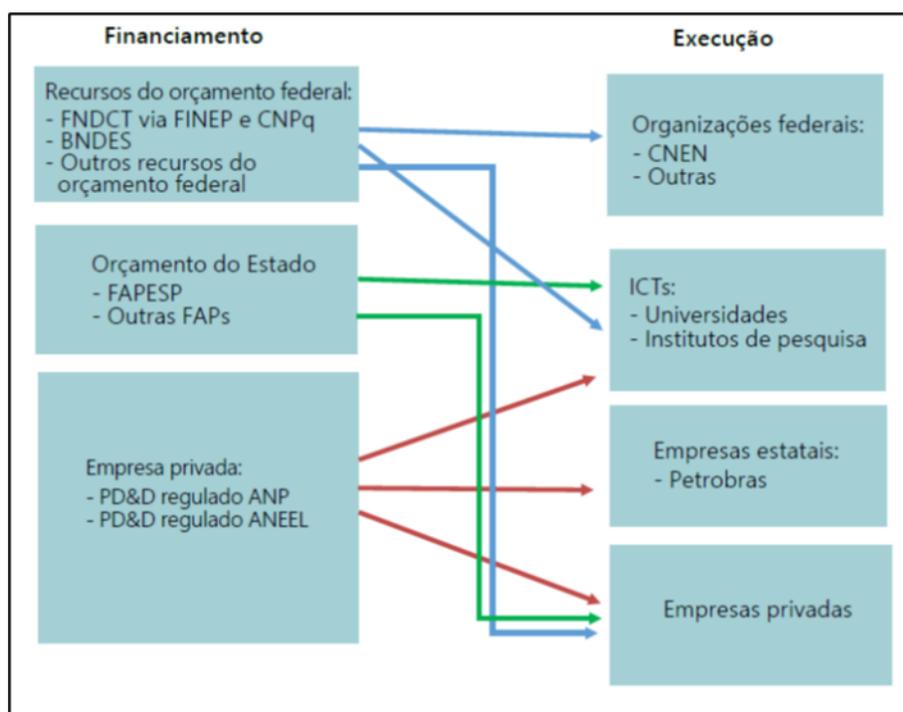
⁴⁹ A partir de 1999 foram criados 16 fundos setoriais, sendo 14 voltados para setores específicos e dois com caráter horizontal: o Fundo Verde-Amarelo, para apoiar a integração universidade-empresa, e o Fundo de Infraestrutura nas Instituições de Ciência e Tecnologia (CT-Infra), para apoiar a recuperação e a ampliação da infraestrutura científica e tecnológica.

Exercendo a função de secretaria-executiva do FNDCT, a Finep apoiou as ICTs, empresas e outras instituições públicas ou privadas brasileiras em todas as etapas do ciclo de desenvolvimento científico e tecnológico: pesquisa básica, pesquisa aplicada, inovações e desenvolvimento de produtos, serviços e processos, além de outras ações de fomento à C&T&I (FINEP, [s.d.]).

Já o CNPq viabilizou a formação de recursos humanos em áreas estratégicas para o desenvolvimento nacional e aportou recursos financeiros para a implementação de projetos, programas e redes de P&D, diretamente ou em parceria com os Estados da Federação.

Como o MCTI não estava mais sozinho no apoio ao sistema de CT&I, é preciso ressaltar a importância das Fundações Estaduais de Apoio à Pesquisa (FAPs) no financiamento de pesquisas relacionados ao biodiesel no âmbito estadual, como os realizados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb), bem como a existência de financiamento por parte de programas P&D regulados pela ANEEL e pela ANP, considerados investimentos publicamente orientados, além da Petrobras e outros. Os fluxos de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e demonstração podem ser vistos na Figura 22.

Figura 22 - O Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação



Fonte: CEPAL; CGEE (2020)

Por fim, um dos principais componentes do SNCTI é a infraestrutura de pesquisa existente nas ICTs, considerada diversificada e composta, principalmente, por grandes instalações, centros e redes integradas de P&D; laboratórios; plantas e usinas-piloto; estações e redes de monitoramento, entre outras (MCTIC, 2016a).

As ICTs responsáveis pela execução dos projetos de pesquisas com biodiesel, especialmente após a reformulação da matriz energética brasileira de 1998, passaram a ser uma corrente de pesquisa em grupos de pesquisa de química, engenharia e agronomia. Essas ICTs, no que lhes concernem, promoviam eventos, seminários, congressos a nível nacional ou regional sobre as potencialidades e desafios da produção e uso de biodiesel no Brasil, liderando um movimento "*bottom-up*" no SNCTI para o resgate do biodiesel como tema de discussão de uma política de Estado (PARENTE, 2016).

2.2.3.1.6 Outros Fatores

Além dos acontecimentos apresentados, outros fatores como a disponibilidade de terras e mão-de-obra rural, o desenvolvimento do setor extrativo de óleos vegetais, a consolidação da produção massiva de etanol, o domínio do setor automotivo no uso de mistura carburante, a aceitação do consumidor para multicomcombustíveis, o consumo elevado de diesel em diversos setores e o potencial de exportação de biodiesel para mercado externo contribuíram para a criação de um cenário altamente favorável à produção de biodiesel em larga escala (KHALIL, 2006).

2.2.4 De 1998 a 2002: o engajamento das ICTs nacionais para a criação de um programa efetivo de biodiesel

Nesta fase, as pesquisas aconteciam em um contexto de pouco recursos, embora muitos projetos contassem com o apoio do MCT ou do CNPq. Além disso, alguns pesquisadores desse período generalizaram o termo biodiesel a qualquer tipo de ação que levasse a substituição do diesel, como: óleos vegetais in natura, quer puros ou em mistura; bioóleos, produzidos pela

conversão catalítica de óleos vegetais (pirólise); microemulsões, que envolvem a injeção simultânea de dois ou mais combustíveis na câmara de combustão de motores diesel (RAMOS et al., 2003), ou seja, não havia consenso quanto ao conceito.

Assim, para o propósito da tese, todas as experiências descritas envolviam a produção de biodiesel obtido por meio da transesterificação de matéria orgânica de origem vegetal ou animal, excluindo, por exemplo, experiências como a produção de “diesel vegetal” via craqueamento desenvolvida pela Universidade de Brasília (UnB) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (EMBRAPA, 2002). Esclarecendo esse ponto, os principais acontecimentos relacionados à retomada das pesquisas com biodiesel no Brasil no período supracitado estão descritos abaixo.

Em 1998, o Instituto Tecnológico do Estado do Paraná (Tecpar) realizou testes com 80 mil litros de biodiesel de soja cedidos pela *American Soybean Association* dos EUA em 20 ônibus de diferentes marcas durante três meses na cidade de Curitiba. Os testes apresentaram viabilidade técnico-ambiental favoráveis desse biocombustível, mas o aspecto financeiro mostrou-se desfavorável, apontando a necessidade de subsídio governamental para o novo combustível (COSTA NETO et al., 2000; GARCIA; COSTA, 2011; RAMOS et al., 2017).

Os resultados obtidos foram apresentados entre 19 e 22 de junho de 1998 no Congresso Internacional de Biocombustíveis Líquidos, que contou com o apoio da *National Biodiesel Board* e da *American Soybean Association* (AOYAGI, 2017). Estas instituições financiaram a vinda de especialistas europeus e norte-americanos para a troca de experiências técnicas, sendo esta iniciativa considerada um marco histórico do início dos trabalhos de inserção do biodiesel na matriz energética brasileira (RAMOS et al., 2017).

No ano seguinte, foram realizados testes com biodiesel de óleo usado em frituras produzido pela Filtroil em parceria com a UFPR e CEFET/PR (atual Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR). Os testes foram realizados em duas etapas e apresentou desempenho normal, exceto por um leve odor de óleo de frituras expelido pelo escapamento. Os testes foram feitos sob a orientação dos Profs. Luiz Pereira Ramos (UFPR) e Pedro Ramos da Costa Neto (UTFPR), sendo considerados pioneiros no uso de óleo de soja residual para a produção de biodiesel no Brasil (COSTA NETO et al., 2000).

As experiências com o biodiesel no Paraná envolveram ainda universidades estaduais como a Universidade Estadual de Maringá (UEM), Londrina (UEL), Ponta Grossa (UEPG), Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO) e instituições privadas como a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) e o Instituto de Tecnologia para

o Desenvolvimento (Lactec), que teve um papel importante no programa de testes e ensaios em motores e veículos.

Diante do estágio do desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Estado do Paraná, o MCT e a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná assinou o convênio de cooperação⁵⁰, criando o Centro de Referência em Biocombustíveis (CERBIO) para desenvolver P&D com biodiesel em sua plenitude, desde a certificação de produtos até o desenvolvimento tecnológico de novas rotas que contribuíssem para o aumento da viabilidade e competitividade técnica (RAMOS et al., 2003, 2017).

Em 2003, foi criado o Programa Paranaense de Bioenergia coordenado pela Secretaria Estadual de Abastecimento, ficando o Tecpar responsável pelo desenvolvimento de sistemas para extração do óleo das potenciais matérias-primas, enquanto universidades parceiras desenvolveriam os processos para a conversão de óleo vegetal em biodiesel (GARCIA; COSTA, 2011).

Se as pesquisas no Tecpar foram iniciadas com o biodiesel importado dos EUA, em 2000, a COPPE/UFRJ lançou o ‘Projeto Biodiesel’ com o objetivo de homologar biodiesel provenientes de fontes renováveis e disponíveis no território nacional para uso veicular e/ou para geração de energia elétrica. O projeto foi coordenado pelo pesquisador Luciano Basto Oliveira do Instituto Internacional de Mudanças Globais (IVIG) em parceria com outras unidades da UFRJ (Escola de Química, Laboratório de Máquinas Térmicas e Programa de Engenharia de Transporte e de Engenharia Mecânica), do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) da Petrobras e a Fundação Núcleo de Desenvolvimento Industrial do Estado do Ceará (NUTEC), que destacou Expedito Parente como consultor desse projeto, devido a sua experiência na produção de biodiesel no decorrer da década de 1980 (COPPE, 2000; IVIG/COPPE, 2004; OLIVEIRA, 2004).

Os primeiros testes foram feitos com biodiesel proveniente do reaproveitamento de 25 mil litros de óleo de soja residual cedidos pela rede pelo *Mc Donald's* e pré-purificados pela Hidroveg Indústrias Químicas Ltda e de óleo de soja virgem. O biocombustível foi usado em um furgão da Volkswagen que rodou 300.000 Km sem apresentar defeitos. Os testes resultantes desse projeto não foram homologados (LIMA, 2004; MATTEI, 2010).

A primeira etapa de testes foi concluída em 2001 e os resultados foram apresentados na Conferência Mundial sobre Mudanças Climáticas, realizada em Haia/Holanda. O objetivo foi mostrar que, mesmo sem ter o compromisso de diminuir a emissão de GEE, o Brasil estava

⁵⁰ Reg. MCT 01.0029.00/2002

investindo em pesquisas destinadas a baixar suas taxas de emissão no setor de transporte (COPPE, 2000).

Também em 2001, a COPPE/UFRJ realizou o seminário Potencial do Biodiesel no Brasil, que contou com a participação de técnicos da ANP, de ICTs e de empresários dos ramos de transportes e energia. A principal conclusão apresentada foi a importância de se criar uma política nacional de fomento à substituição do diesel importado por biodiesel, de acordo com a viabilidade técnico-econômica em cada região do país. O evento também ficou marcado pela criação de um grupo de trabalho com representantes de instituições que vinham trabalhando com biodiesel, dentre as quais Cenpes/Petrobrás, o INT e a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), para formação de uma rede de cooperação (OLIVEIRA; COSTA, 2005).

Dessa forma, observa-se que esse seminário resultou na aproximação de especialistas e pesquisadores e na formação de parcerias multissetoriais (setor público, ICTs e empresários), representando um avanço ao inserir o biodiesel no rol de energias renováveis com potencial de utilização em curto prazo no Brasil.

Nas fases seguintes, misturas variadas de biodiesel (gordura residual e soja) foram testadas em motores móveis (carros, ônibus, caminhões, barcos e locomotivas) e estacionários (grupo motogeradores) (COPPE, 2003, 2007). Também foi conduzido um estudo para desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento energético do lixo, neste caso, a espuma do esgoto para produção de biodiesel. Este projeto levou ao registro da primeira patente de biodiesel de esgoto do mundo (nacional PI 0301254-9 e internacional PI 0301254-9), sendo ambas licenciadas com exclusividade para a empresa GERAR Tecnologia Ltda, incubada no IVIG/COPPE/UFRJ (OLIVEIRA, 2004).

Em todos os projetos, a rota metálica foi utilizada no processo de produção de biodiesel, pois o objetivo era viabilizar seu uso no país a curto prazo (COPPE, 2000) e o metanol tinha melhor aceitação pelos fabricantes de motores e sistemas automotivos. Como visto na seção anterior, o domínio tecnológico dessa rota já era bastante difundido na Europa e nos EUA.

É importante destacar também a participação da COPPE/UFRJ no planejamento do programa Riobiodiesel, primeiro programa nacional de produção de biodiesel em escala industrial, que previa a instalação de unidades experimentais de plantio e cultivo de diferentes oleaginosas e o aproveitamento de resíduo gerado pela urbanização como matérias-primas para a produção de biodiesel. O Riobiodiesel foi parte do Programa Nacional de Testes com Mistura de Biodiesel, coordenado pelo Governo Federal, contou com investimento de 600 mil reais da

Finap 600 mil e envolveu técnicos do BNDES, do Cenpes/Petrobras, da ANP, do INT, do IME da Volkswagen, Shell Brasil e outros (COPPE, 2006; FAPERJ, 2003, 2008).

As conclusões do “estudo sobre a viabilidade do uso do biodiesel em veículos”, encomendado à COPPE pelo MME foram entregues em 2004, sendo utilizadas para justificar a implantação do PNPB e o início da fase autorizativa do programa com a inserção de 2% de biodiesel na composição do diesel mineral, sem que fosse necessário fazer qualquer adaptação nos veículos já em circulação (COPPE, 2006).

Por fim, é importante ressaltar o trabalho do Laboratório de Tecnologias Verdes (GREENTEC/EQ/UFRJ) no desenvolvimento da tecnologia de hidroesterificação, permitindo a produção de biodiesel a partir de qualquer matéria prima independente da acidez e umidade. O GREENTEC iniciou os estudos para verificar a possibilidade do uso de catalisadores à base de nióbio no processo de produção de biodiesel e entre 2000 e 2003, desenvolveu um processo catalítico para a fabricação de biodiesel a partir de rejeitos do óleo de palma, resultando na patente (PI0301103-8 e WO2004096962) em nome da UFRJ. Essa tecnologia foi utilizada pela AGROPALMA, maior produtora de óleo de palma sustentável das Américas, quando esta produzia biodiesel na região norte (COSTA, 2007).

Se nos projetos da UFRJ a rota metálica foi priorizada, na Universidade de São Paulo (USP) o foco voltou-se para a rota etílica com as pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladetel) do Departamento de Química de Ribeirão Preto. Criado em 2002 e liderado à época pelo Dr. Miguel Joaquim Dabdoub Paz, o Ladetel lançou o Projeto Biodiesel Brasil como o objetivo de desenvolver um biodiesel 100% renovável com a utilização do álcool proveniente da cana-de-açúcar para substituir o metanol e obter a garantia do uso desse biodiesel no país por parte da indústria automobilística e dos fabricantes dos sistemas de injeção. Para tanto, contou com a colaboração do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), UFPR, ÚNICA e Abiove (DABDOUB, 2003).

O Ladetel pesquisou com catalisadores feitos com os metais vanádio e cobre para melhorar a eficiência do processo de produção do biodiesel obtido de OGR e da borra de soja. Desenvolveu um processo pela rota etílica dentro de um conceito de eficiência energética, que levou à redução do tempo da reação de transesterificação de 24 horas para 30 minutos e do custo do processo. Ao todo, foram testadas onze variedades de óleos vegetais (soja, amendoim, girassol, algodão, milho, canola, mamona, pequi, macaúba, babaçu e dendê), além dos óleos de fritura. Como resultado, foram depositadas três patentes em 2004 no Brasil: uma referente ao “biodiesel de etanol” e duas relacionadas aos catalisadores responsáveis por acelerar o processo

de transformação de óleo vegetal em biodiesel (CESAR, 2003; DIAS, 2008; OLIVEIRA, 2007; STELLA, 2003).

Contudo, o mais importante passo dado pelo Ladetel para o desenvolvimento tecnológico do biodiesel foi a realização do I Congresso Internacional de Biodiesel em 14/03/2003, que contou com a presença de congressistas importantes na luta por uma política nacional para o biodiesel e de representantes da indústria automobilística, pois a inserção do biodiesel na matriz energética nacional só seria efetiva se a indústria automobilística se adaptasse a essa mudança. Também é importante destacar que após esse evento, a coordenação do programa do biodiesel no Brasil passou do MCT para o MME, antes de passar definitivamente para a Casa Civil, que coordenou os estudos do grupo de trabalho interministerial que levou a instituição do PNPB.

Com relação ao envolvimento da indústria automobilística, 28 empresas do setor estabeleceram parcerias para um amplo programa de testes com o Ladetel, o que foi considerado o maior programa mundial de testes com biodiesel. Os testes veiculares foram autorizados pela ANP, sendo vinculados ao programa de testes oficiais do Governo Federal e tinham como objetivo provar que o biodiesel etílico poderia ser usado nos mais modernos motores a diesel do mundo sem trazer prejuízos para seu funcionamento e comprovar os efeitos positivos na redução de emissões de GEE. Eles foram divididos em quatro categorias: veículos leves; tratores; caminhões e vans e máquinas *off-road* (BIODIESEL BRASIL, 2009).

Os estudos de campo com veículos leves foram realizados em parceria com o grupo PSA Peugeot-Citroen e o Lactec/PR⁵¹ em três fases entre 2003 e 2013, sendo os resultados da primeira fase apresentados em 2004. Os testes concentraram-se na análise de consumo de combustível, durabilidade e emissão de poluentes. O biodiesel utilizado foi proveniente de diferentes fontes de oleaginosas, algo inédito no mundo e os resultados apresentados no uso dos diferentes blends (B10, B30 e B100), levaram à aprovação do biodiesel dentro das normas de qualidade europeias. (BIODIESEL BRASIL, 2016; PEUGEOT DO BRASIL, [s.d.]; TN PETRÓLEO, 2011).

Nos estudos de campo de máquinas agrícolas, o Ladetel contou com a colaboração da colaboração da Valtra⁵², a segunda maior fabricante de tratores do mundo, e do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Jaboticabal. Os testes envolveram o uso de

⁵¹ Registro: PSA: nº 291-DOU 18/10/2006

⁵² Registro: Valtra nº 281 – DOU 02/08/2005

diferentes blends (B25, B50, B75 e B100) e os bons resultados obtidos levaram à aprovação pela ANP, contribuíram para que o fabricante estendesse a garantia para misturas até B20 e lançasse uma linha motores aptos ao B2, antecipando uma meta prevista para 2008 (BIODIESEL BRASIL, 2009; BOUÇAS, 2011; CESAR, 2003).

Já os testes com caminhões e vans envolveram 150 caminhões e 12 vans de uma distribuidora da Coca-Cola⁵³ que utilizaram 5% de biodiesel de mamona e soja produzidos pela rota etílica. Com duração de dois anos, este foi o primeiro programa de testes com biodiesel em larga escala no país e contou com a colaboração da ANFAVEA, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e mais diretamente a Volkswagen, Fiat, Ford, Cummins e MWM-*International Engines* como fabricantes de motores, Bosch e Delphi como fornecedores dos sistemas de injeção, além das empresas de filtros Mahle, Mann e Fleetguard (BIODIESEL BRASIL, 2009).

Ainda neste escopo, um quarto programa de testes foi realizado com a maior empresa mineradora de ouro do Brasil, a Mineração Rio Paracatu⁵⁴, usando máquinas *off-road* da Caterpillar que operaram por mais de 4 mil horas com B100, sem observar perdas de potência e rendimento (BIODIESEL BRASIL, 2009).

Paralelamente a realização de testes, estudos para elaboração de uma especificação para a garantir a qualidade do biodiesel nacional e evitar problemas aos motores foram conduzidos com apoio da ANP. Nesse sentido, pesquisadores da Universidades Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), UFPel e da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) conduziram um projeto com a finalidade de adequar e implantar os métodos de análises físico-químicas, como propostos pela ASTM e, também, avaliar as propriedades das misturas de biodiesel ao diesel em diferentes proporções. Esses estudos contribuíram para a elaboração da especificação preliminar do biodiesel⁵⁵ (Portaria 255/2003 da ANP), que considerava o uso de misturas até B20 e, embora similar às especificações europeia e americana, possuía alguma flexibilização para atender a especificidades de matérias-primas nacionais (MCT, 2004).

No campo das pesquisas com fontes de oleaginosas, foram destaques as pesquisas da Embrapa e da Petrobras com mamona. A Embrapa voltou-se para o desenvolvimento de cultivares de mamona que proporcionassem uma maior produtividade e teor de óleo. Assim, a Embrapa Algodão e a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) desenvolveram

⁵³ Registro: Coca-Cola:nº 293 - DOU 10/08/2005

⁵⁴ Registro: RPM, Rio Paracatu: nº 224 - DOU 17/06/2005

⁵⁵ Portaria anterior: ANP nº 310 de 28/12/2001, que definiu novas especificações para o petrodiesel, autorizando a adição de 2% de biodiesel.

variedades⁵⁶ para a região semiárida brasileira e outras adaptadas para regiões, onde o cultivo da mamona não fazia parte da agricultura tradicional, além de realizar o zoneamento agrícola de risco climático dessa oleaginosa no intuito de atender o PNPB (ARAÚJO et al., [s.d.]).

Na Petrobras, a pesquisas tem início a partir de 2000, quando a empresa mudou seu posicionamento para se tornar uma empresa de energia⁵⁷, passando a desenvolver tecnologias ligadas ao biodiesel por meio do Cenpes. Em 2001, a empresa dedica-se ao desenvolvimento de rota etílica para a produção de éster de óleo de mamona, depositando neste mesmo ano a primeira patente (PI0105888-6) referente a produção de biodiesel a partir de sementes de mamona ou outras oleaginosas sem a necessidade de extração prévia do óleo. Com isso, elimina-se a compra do óleo, que representa 80% do custo de produção do biodiesel (FREITAS, 2009).

Diante desse e de outros resultados positivos, o Cenpes criou em 2004, o Programa Tecnológico de Energias Renováveis (Proger) para prover tecnologias que assegurassem a liderança mundial da Petrobras na produção de biocombustíveis em 2020, inclusive a partir de matérias-primas de baixo valor agregado (biomassa residual). Este programa foi descontinuado.

Em relação às pesquisas com biodiesel na região Nordeste, que viria a ser o foco do PNPB nos seus anos iniciais, destacam-se os estudos preliminares realizados no início de 1998, pelo Grupo de Bioenergia e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), pelo Grupo de Bioenergia e pelo Laboratório de Energia e Gás (LEN), ambos da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (CRUZ et al., 2006; TORRES, 2003).

A princípio, os pesquisadores dessas instituições priorizaram o uso do dendê como biocombustível para geração termoelétrica ou para aplicação em motores estacionários de moendas, prensas ou conjuntos de motobomba para irrigação, atendendo aos anseios do Governo do Estado da Bahia, que pretendia instalar 120 micro usinas de processamento de dendê por meio do Programa Pró-dendê (Decreto 3.270 de 07/12/1989), cujo objetivo era tornar o Estado, o primeiro produtor nacional dessa palmácea (CRUZ et al., 2006; TORRES, 2003).

Os estudos conduzidos na UESC mostraram que o azeite de dendê produzido no Sul da Bahia não atendia aos critérios técnicos, ambientais e econômicos para se tornar uma matéria-prima viável para a geração de energia naquele momento e o foco dos estudos volta-se para matérias-primas como os óleos e gorduras residuais (OGR) e a mamona. Em outubro de 1998,

⁵⁶ BRS Paraguaçu e BRS Nordestina

⁵⁷ Atualmente, a Petrobras abandonou esse posicionamento

um acordo de cooperação foi fechado entre a UESC e o Departamento *Agrartechnik* da Universidade de Kassel, que desenvolvia pesquisas com OGR (ALMEIDA NETO et al., 2003).

Além de facilitar o intercâmbio de pesquisadores e a familiarização destes com procedimentos e testes laboratoriais com OGR, o acordo possibilitou a instalação de uma das plantas piloto de transesterificação (metílica e etílica) no Campus da UESC em março de 2000; o que resultou em grandes avanços nos estudos sobre o aproveitamento de OGR para fins energéticos, despertando o interesse de outras instituições (CARNEIRO, 2003; CRUZ et al., 2006; UESC, 2004).

O projeto de biodiesel da UESC passou a ser um projeto de cooperação interinstitucional, envolvendo a CEPLAC/BA, INT/RJ no Brasil e o Instituto de Tecnologia Tropical (ITT) e o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade de Kassel, Witzenhausen na Alemanha (ALMEIDA NETO et al., 2003). A experiência acumulada na realização dos estudos econômicos e ambientais sobre a potencialidade e viabilidade do uso do biodiesel em escala comercial rendeu à UESC, a indicação do MCT para coordenar o Probi biodiesel no Nordeste (CARNEIRO, 2003; LIMA, 2005) e participar de dois grupos de trabalho relacionados à competitividade técnica e ambiental do biodiesel neste mesmo programa (UESC, 2004).

Assim como a UESC, a UFBA passou a pesquisar ORG e outros óleos vegetais (e.g. mamona, dendê, algodão e soja) de interesse do Governo da Bahia para produção de biodiesel por meio de pesquisadores da Escola Politécnica e do Instituto de Química, formando o Grupo de Biodiesel/UFBA, responsável pela realização de pesquisas nas áreas de catálise, transesterificação e Scale up; aditivos e misturas; química analítica aplicada a análise de ciclo de vida; valorização de coprodutos e; motores, onde foram realizadas avaliações do B5 por meio de testes em frota cativa com apoio da Ford (TORRES, 2008; UFBA, [s.d.]).

Dentro da área de coprodutos, vale destacar as pesquisas realizadas na Escola de Veterinária para redução da toxicidade da torta da mamona e seu aproveitamento na alimentação de bovinos e suínos (FERNANDES et al., 2020).

Para a realização das pesquisas, o Grupo de Biodiesel/UFBA contava com uma estrutura laboratorial, com destaque para o laboratório de emissões veiculares e uma planta piloto com capacidade de 5.000 m³/ano instalados na Escola Politécnica (TORRES, 2008; TORRES et al., 2006).

O *know-how* desenvolvido pela UESC/UFBA em pesquisas com OGR contribuiu para a criação da Rede Biodiesel da Bahia em 2002. Essa rede contou com a colaboração da ITADIL/ITAREL, uma empresa com tradição no acompanhamento de testes em combustíveis

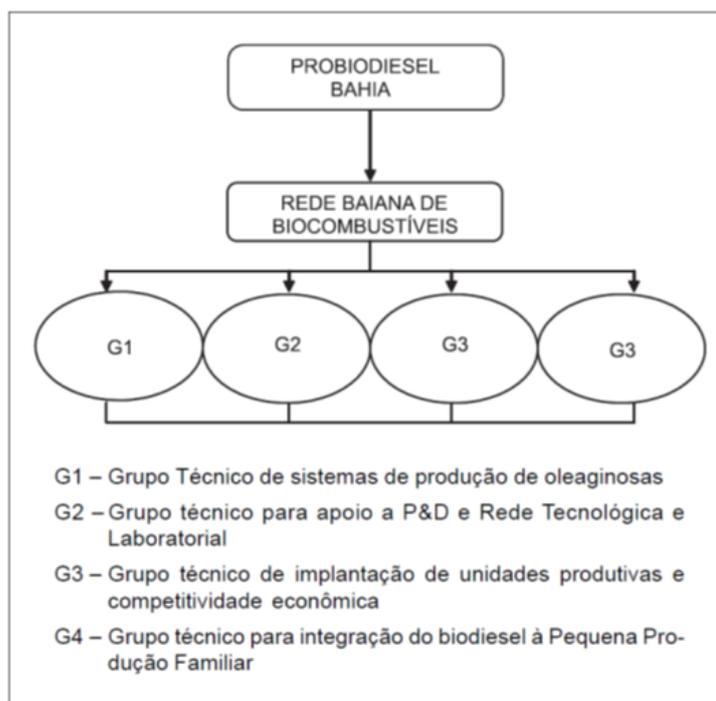
alternativos e do Departamento Agrartechnik da Universidade de Kassel, responsável pela consultoria técnica e científica. A meta era implementar uma planta comercial para a produção contínua de biodiesel no estado, pois o domínio da tecnologia para a produção desse biocombustível em escala piloto já estava dominado pela UESC/UFBA (CARNEIRO, 2003).

Em 2004, o biodiesel passa a ser uma das 11 áreas prioritárias da política de C&T do Estado da Bahia e a Secretaria Extraordinária de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI/BA) inicia o Programa Baiano de Biodiesel (Probi biodiesel Bahia), em parceria com a FAPESB, UESC, UFBA, Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração (SICM), Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI) e DESENBAHIA (SECTI/BA, 2004). O programa foi estruturado em seis eixos: governança, fortalecimento da base científica, fortalecimento da produção de oleaginosas, eventos de sensibilização, fomento à atividade empresarial voltada para o biodiesel e inclusão social (SILVA; FERNANDES; SANTOS, 2011).

Entre as ações iniciais do Probi biodiesel Bahia estava o fortalecimento da Rede Baiana de Biodiesel, que passou a se chamar Rede Baiana de Biocombustíveis (RBB), tendo como objetivo promover o desenvolvimento tecnológico do biodiesel na Bahia e auxiliar na eliminação de fatores restritivos à implantação do programa (CARNEIRO, 2003; CARNEIRO; ROCHA, 2006).

Com quatro grupos de trabalho (Figura 23), a RBB não era mais uma rede voltada somente para P&D, chegando a contar com 1,5 mil integrantes, além do site www.rbb.ba.gov.br para integrar instituições de ensino e pesquisa, fornecedores de serviços e equipamentos, produtores agrícolas, indústria e o governo (SEPLAN/BA, 2007).

Entre as ICTs estavam a UESC, UFBA, Universidade Salvador (UNIFACS), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI – Cimatec/Cetind), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e outras.

Figura 23 - A Rede Baiana de Biocombustível

Fonte: Cruz et al. (2006)

Importante observar na Figura 19, que o grupo técnico - G4 dedicou-se à inclusão da agricultura familiar no Probiodiesel Bahia, algo que antecedeu o PNPB. Justifica-se a criação desse grupo, o fato de o estado abrigar o maior número de agricultores familiares do país e muitos dos quais possuíam baixo nível de tecnificação. Assim, em muitas as ações de P&D voltadas para o biodiesel na Bahia também procuravam beneficiar esse segmento, seja no desenvolvimento de variedades de oleaginosas ou outras tecnologias agrícolas.

O grupo técnico - G2 foi coordenado pela UESC e tinha como metas viabilizar a elaboração, encaminhamento e submissão de projetos P&D aos editais de apoio, estruturar uma rede de laboratórios e apoiar a formação de recursos humanos em pesquisa e desenvolvimento e produção de biodiesel no Estado da Bahia (SECTI/BA, 2007).

Quanto a rede de laboratórios, a UESC integrou uma parceria com a Unifacs e o SENAI – Cetind para avaliação físico-química do biodiesel de acordo com norma da ANP, enquanto o LEN/UFBA ficou responsável pelas análises do desempenho de motores funcionando com diferentes blendas de biodiesel e emissões. Essa estrutura laboratorial também foi utilizada nos anos seguintes em projetos como o B5 Bahia de 2007 e a Travessia Interoceânica B100 de 2012.

O projeto B5 Bahia foi desenvolvido pelo Governo da Bahia, Unifacs, Ford, Siemens VDO, *MWM International*, *TI Automotive*, *Mahle* e *Michelin*, onde seis veículos *Ford Ranger*

rodaram 100 mil quilômetros no período de nove meses pelo Estado, utilizando biodiesel proveniente da mamona e da soja (ANP, 2007; DANIEL, 2007).

Já a Travessia Interoceânica foi um projeto desenvolvido pela Escola Politécnica/UFBA em parceria com o Centro de Desenvolvimento do Produto da Ford e o Instituto Surear para Promoção da Integração Latino Americana. Nesse projeto, duas caminhonetes Ford Ranger percorreram 12 mil quilômetros em uma viagem ida e volta entre as cidades de Salvador e Ilo (Peru), utilizando B100 produzido a partir de OGR oriundos do dendê e processado na usina de biodiesel da UFBA. Os dados obtidos nesse projeto foram analisados pelo LEN (UFBA, 2012, [s.d.]

No âmbito da formação de recursos humanos, a RBB contribuiu para a criação do Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAm) da UFBA no final de 2003, que potencializou as ações e os recursos financeiros e materiais para as questões associadas aos biocombustíveis na instituição (TORRES, 2008). Ainda em atividade, o CIEnAm possui um programa de pós-graduação em nível de doutorado, que funciona em articulação permanente com outros programas da UFBA (e.g. engenharia química e mecânica, tecnologias limpas, física, química, geofísica, geoquímica e ambiente e administração), além de parcerias de colaboração com outras instituições locais como UESB e UFRB (UFBA, 2022).

Em 2009, o CIEnAm passou a abrigar o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Energia e Ambiente (INCT E&A), uma rede de cooperação científico-institucional nacional de grupos de pesquisa com foco no uso sustentável de energia e a preservação do ambiente. A princípio, o INCT E&A envolveu 39 grupos de pesquisas de 12 instituições - UFBA, UFRJ, USP, UEL, UFPR, UFSC, UFRGS, SENAI CIMATEC, UESC, UNEB, UEFS e UESB –, possuindo também interação com o setor industrial para desenvolvimento de pesquisas com biodiesel em diferentes áreas: (i) rotas tecnológicas, preparação e teste de misturas de biodiesel; (ii) aproveitamento dos resíduos de produção como a glicerina; (iii) análises de contaminantes inorgânicos e orgânicos e controle da qualidade e; (iv) avaliação das emissões veiculares provenientes da mistura de biodiesel com diesel mineral, ou seja, compreenderam todo o ciclo de produção e uso desse biocombustível (ANDRADE; GUARIEIRO, 2011; ANDRADE; LOPES, 2012; INCT EA, 2020).

Com base nas experiências apresentadas nesta seção, é possível observar que, desde a regulamentação para utilização de combustíveis não especificados por parte da ANP, um número considerável de ICTs deram os primeiros passos para o desenvolvimento tecnológico de um biodiesel nacional, baseado numa nova técnica de transesterificação com o uso do etanol. No mais, esse período foi marcado pela baixa colaboração interinstitucional, ou seja, as ICTs

trabalharam de maneira desarticulada e fragmentada pelo país, mas os resultados dessas primeiras experiências tecnológicas geraram importantes avanços para o biodiesel.

Em 2000, o primeiro artigo com a temática biodiesel foi publicado por pesquisadores brasileiros: “Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras”. Entre 2000 e 2002, as primeiras patentes nacionais relacionadas a este biocombustível foram registradas após um hiato de quase vinte anos.

No ano seguinte, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) apontou a necessidade de realização de estudos tecnológicos aprofundados para o aproveitamento do biodiesel para geração de energia, especialmente em regiões isoladas onde o custo de transporte do diesel era alto. Neste ano, o país enfrentava uma crise no setor elétrico (SZKLO; SCHAEFFER, 2001).

Assim, não demorou para que o biodiesel ascendesse à agenda de governo por meio do Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiodiesel), que marcou o início dos debates para adoção de um percentual de mistura desse biocombustível e do PNPB, que introduziu o biodiesel na matriz energética nacional.

2.2.5 O Probiodiesel e o início o PNPB

O Probiodiesel foi lançado oficialmente pelo MCT por meio da Portaria nº 702, de 30 de outubro de 2002, mas operava informalmente desde o início do respectivo ano (AGÊNCIA BRASIL, 2002). O intuito desse programa foi promover o desenvolvimento científico e tecnológico do biodiesel a partir de ésteres etílicos de óleos vegetais puros e/ou residuais, não abrangendo outros temas que envolvessem a cadeia produtiva desse biocombustível (MCT, 2002).

Esse programa foi coordenado pela Secretaria de Política Tecnológica Empresarial⁵⁸ (SEPTE) e teve como principal agente executor o CERBIO/TECPAR, que conduzia pesquisas com MAD e biodiesel no final dos anos 1990, contando como agentes articuladores os centros de pesquisa IPT/USP e INT (ABIPTI, 2004; MCT, 2002). Vários ministérios também participaram do programa, mas sua característica essencialmente técnica contribuiu para que a

⁵⁸ A SEPTE procurava atender as demandas empresariais via construção de pontes entre a academia e o setor produtivo.

participação destes se limitasse ao acompanhamento das decisões tomadas pelo MCT, ou seja, o Probiodiesel ficou restrito aos limites institucionais do MCT (CAMPOS, 2003a; PEDROTI, 2011).

Tratou-se da primeira política pública federal voltada para pesquisas de médio e de longo prazo que envolviam os aspectos tecnológicos da produção de biodiesel (e.g. especificações técnicas, testes laboratoriais e de campo e garantia de qualidade), no intuito de viabilizar a substituição parcial de óleo diesel por um percentual desse biocombustível de 5% em 2005, 10% em 2010 e 20%, em 2020, o que geraria ganhos com a diminuição das importações de diesel e redução de GEE (GRANDO, 2002; PARENTE, 2016).

Essas metas foram mais ambiciosas do que as adotadas no PNPB (B2 em 2005; B5 em 2008 e B10 em 2022). A aposta para alcançá-las estava na preferência atribuída à soja como matéria-prima para a produção do biodiesel em detrimento de outras matérias-primas e do etanol, como agente de transesterificação.

A possibilidade de ampliar a produção de soja, aumentar a exportação do farelo e suprir o mercado desse novo biocombustível com o óleo fez com que a Abiove apoiasse e participasse ativamente do programa. O mesmo empenho não foi visto pelos representantes da indústria sucroalcooleira. Já a indústria automobilística, por sua vez, viu no Probiodiesel uma forma de diferenciar seus produtos com uma abordagem mais “verde”, sem que isso a obrigasse a alterar sua rota tecnológica (PEDROTI, 2011).

O programa foi dividido em duas fases. A Fase I (2003 - 2005) previa a instituição de uma rede de pesquisa e a realização de estudos que permitissem a homologação do B5, fazendo com que o biodiesel deixasse de ser apenas um combustível autorizado para pesquisas e testes e alcançasse a etapa comercial (TRL 8 e TRL 9). Já a Fase II (2004 – 2010), previa o desenvolvimento e a otimização das rotas tecnológicas e das cadeias produtivas de outras oleaginosas, novos catalisadores e novos usos dos subprodutos (GRANDO, 2002).

O Probiodiesel vislumbrava obter novas tecnologias de produção, de industrialização e de uso do biodiesel; diminuir as importações de diesel; reduzir os GEE e; criar sinergia entre diferentes setores da economia, mais precisamente a agroindústria, as montadoras de automóveis e os setores de autopeças (PEDROTI, 2011).

Para que isso acontecesse, seria essencial o fortalecimento da comunidade científica dedicada ao tema por meio da criação de uma rede nacional de pesquisadores para atuar como um catalisador de estudos, testes e pesquisas tecnológicas voltados para o biodiesel. O atendimento dessa demanda ocorreu da Encomenda Finep CT-ENERG 017/2003

PROBIODIESEL - Rede Brasileira de Biodiesel, que resultou na aprovação de 10 projetos (FINEP, 2004b), listados no Quadro 13.

Quadro 13 - Instituições contempladas na Encomenda CT-ENERG 017/2003 Probiodiesel

Cod. SIAFI	Convenente	Valor Contratado
511133	Fundação Universidade de Brasília - FUB-UNB	161.720,00
511351	Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT	360.000,00
512297	Universidade Federal de Mato Grosso Sul - UFMS	390.894,70
512329	Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC	500.000,00
512548	Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR	365.486,00
512881	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - NUTEC	400.000,00
514757	Universidade Federal do Piauí - UFPI	200.000,00
514493	Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – SECTI/RJ	561.967,56
514759	Fundação de Ciência e Tecnologia	399.700,00
518807	Universidade Federal do Maranhão - UFMA	500.000,00

Fonte: FINEP (2004b)

Essa primeira versão da Rede Brasileira de Biodiesel, envolveu mais de 200 participantes ligados à academia, agências de fomento e reguladoras, indústria automotiva e potenciais produtores de biodiesel, além do próprio MCT (AGÊNCIA BRASIL, 2002).

É preciso lembrar que o programa vinha operando informalmente no início de 2002, o que pode ter contribuído para atração de interessados e, por ser um programa inclusivo, novas adesões à rede ocorriam na medida em que o MCT treinava e capacitava todas as entidades municipais e/ou estaduais que demandavam ações para o desenvolvimento local do biodiesel (CAMPOS, 2003b). Alguns representantes estão listados abaixo.

- Ministérios: MCT, MAPA, MDA, MME, MDIC, MC, MMA, MF, MOG, MI, MT
- Academia: INT, IPT, TECPAR, CENPES/PETROBRAS, UFPR, UFRGS, UESC, UFRJ/COPPE, UFMA, UFMT, UNICAMP/NIPE, USP, CENBIO, LACTEC
- Agências Reguladoras: ANP, ANEEL
- Associações: ANFAVEA, ABIOVE, SINDICOM, AEA, ALCOOLEIRO, ABIQUIM, SINDIPEÇAS, ECOMAT, CEPTEL, CNA

Os trabalhos da Rede Brasileira de Biodiesel foram divididos em quatro grupos técnicos, que procuraram avançar na avaliação das perspectivas do biodiesel para as condições brasileiras nos aspectos agrônômicos, industriais, ambientais e econômicos.

A principal crítica ao Probiodiesel foi que ele era restritivo, pois, ainda que considerasse a possibilidade da utilização de matérias-primas como a mamona, o dendê e o babaçu, a lógica subjacente ao programa se assentava fortemente no uso da soja e do etanol, como agentes de

transesterificação, excluindo arbitrariamente o metanol. Tais restrições poderiam comprometer o programa, quando idealizado com amplitude nacional (PARENTE, 2003).

O Probiodiesel também não recebeu a mesma prioridade e institucionalidade do PNPB, não logrando êxito no objetivo de impulsionar a produção de biodiesel em larga escala no país. Para se ter uma ideia, o programa possuía um orçamento considerado insuficiente para estabelecer colaborações robustas entre as ICTs e o setor privado no desenvolvimento de pesquisas, cerca de R\$8 milhões para o período de 2002 a 2004. Por coincidência, apenas um projeto ligado ao programa estava cadastrado no Sistema Integrado de Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação no período supracitado; uma encomenda do CNPq direcionada ao CERBIO/TECPAR (AZEVEDO, 2010).

Apesar disso, a experiência acumulada na primeira fase do programa com as discussões entre academia, indústria automobilística, potenciais produtores de biodiesel e o setor governamental permitiram um melhor entendimento dos caminhos para viabilização técnica e econômica da produção desse biocombustível no País (PARENTE, 2016; PEDROTI, 2011).

É relevante destacar que, embora o Probiodiesel tenha sido formalmente iniciado nos últimos meses do governo de Fernando Henrique Cardoso, ele continuou a receber atenção durante o governo de Luiz Inácio Lula da Silva. Isso ocorreu devido à intenção já existente de incentivar a produção de energias alternativas⁵⁹ provenientes da biomassa no programa do governo do PT em 2002, embora sem estabelecer explicitamente uma política de promoção do biodiesel (PEDROTI, 2011).

O Probiodiesel estimulou o mapeamento da competência instalada no país, servindo como base para a estruturação e implantação dos primeiros programas estaduais de biodiesel (e.g. RioBiodiesel, Probiodiesel/RS e Probiodiesel/BA) e a criação de redes estaduais de pesquisas voltadas para esse biocombustível como a RBB; alavancou a criação de grupos de pesquisa por todo país; além de contribuir para pôr em marcha um amplo programa de testes, envolvendo fabricantes de motores e autopeças e ICTs como os realizados pelo Ladetel e IPT da USP.

O programa também serviu como um catalisador para o início dos debates sobre a introdução do biodiesel no Congresso Nacional⁶⁰. Em 2002, o deputado federal e professor do Departamento de Economia da ESALQ/USP Antônio Carlos Mendes Thame (PSDB-SP)

⁵⁹ O programa de governo do PSDB mencionava o uso de fontes alternativas de energias e incentivo à pesquisa apenas para as fontes de energia eólica e solar, a despeito da existência do Probiodiesel (PEDROTI, 2011).

⁶⁰ Em 2001 ocorreu uma audiência na Comissão da Crise Energética da Câmara dos Deputados para tratar da crise energética, “apagão”, e os óleos vegetais e o biodiesel foram apresentados como alternativas energéticas e fonte de renda em localidades isoladas.

apresentou o Projeto de Lei nº 6983/2002, obrigando a implantação do B5 de éster etílico de óleos vegetais (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2021a). No que diz respeito a rota de produção escolhida, essa proposição estava em consonância com a defendida no Probiodiesel, mas foi arquivada em razão do fim da legislatura.

Com a posse de um novo governo, membros do SEPTTE/MCT viram a possibilidade de levar adiante a implementação de uma política pública para o biodiesel por meio do Congresso Nacional. O tema foi então apresentado a alguns Deputados Federais da 52ª Legislatura (2003-2007), com destaque para Rubens Otoni Gomide (PT-GO), Francisco Ariosto Holanda (PSB-CE) e Mariângela de Araújo Gama Duarte (PT-SP). Esses deputados atuaram em diferentes frentes no Congresso Nacional a favor do biodiesel (PIETRAFESA, 2013).

O deputado Rubens Otoni (PT-GO) apresentou um novo projeto de lei (PL 526/2003) regulamentando o uso do Biodiesel e instituindo a obrigatoriedade de produção e uso desse biocombustível, de maneira progressiva, na percentagem mínima de mistura de 5% de etanol e de óleos vegetais (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2021b).

O deputado conseguiu também a aprovação de um requerimento, sugerindo a implementação de um Comitê Interministerial para realização de estudos sobre os aspectos relacionados à tecnologia, produção e uso do biodiesel no Brasil, que foi encaminhado à Casa Civil da Presidência da República (PIETRAFESA, 2013).

O deputado e professor da UFC, Ariosto Holanda (PSB-CE), coordenou em novembro de 2003 o evento “Biodiesel e Inclusão Social” no Congresso Nacional, onde parlamentares e visitantes tiveram acesso aos trabalhos de pesquisa de diversos ICTs envolvidos com o assunto. Importante ressaltar que este foi o primeiro tema a ser discutido em profundidade pelo Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica da Câmara dos Deputados no intuito de analisar a possibilidade de criação de uma política de governo de incentivo ao biodiesel e a inclusão social da agricultura familiar. Como resultado, o deputado apresentou um novo projeto de lei (PL 3368/2004), tornando obrigatório o acréscimo de no mínimo 2% de biodiesel ao óleo diesel vendido no Brasil, mas sem estabelecer uma rota tecnológica e matérias-primas (CÂMARA DOS DEPUTADOS, [s.d.]; LIMA, 2004).

Os dois projetos de lei supracitados foram arquivados em função da Medida Provisória 214/2004, convertida em lei nº 11.097, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.

Já a deputada e professora universitária Mariângela Duarte (PT-SP) encaminhou para a Casa Civil uma sugestão para criar uma política de governo de incentivo ao biodiesel e a inclusão social da agricultura familiar após reunião da Comissão de Ciência e Tecnologia,

Comunicação e Informática da Câmara dos Deputados, que contou com a participação de membros do MCT (PIETRAFESA, 2013).

Os pleitos dos deputados Rubens Otoni (PT-GO) e Mariângela Duarte (PT-SP) somados aos resultados dos programas Probiodiesel (MCT) e Combustível Verde – Biodiesel (MME) levaram a criação de um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI-Biodiesel) pela Presidência da República em 2 julho de 2003 para apresentar estudos acerca da viabilidade tecnológicas, produtivas e de consumo do biodiesel como fonte alternativa e propor as ações necessárias para efetivar seu uso, considerando as vertentes econômica, ambiental e social. A criação desse grupo marcou o início da formulação do PNPB.

O GTI-Biodiesel foi coordenado pela Casa Civil da Presidência da República e contou com a participação de 11 ministérios, entre os quais MCT, responsável pela coordenação do subgrupo de trabalho relacionado aos aspectos tecnológicos do biodiesel. Além disso, o GTI-Biodiesel, contou também com a participação de diferentes entidades dos setores público e privado envolvidas com a temática do biodiesel nas sete audiências públicas realizadas. As entidades convidadas para apresentar os pontos de vista da academia foram: COPPE/UFRJ, USP, UNB, EMBRAPA, Tecnologias Bioenergéticas (Tecbio) e a SCTI/BA. Técnicos da ANP e ANFAVEA também foram ouvidos sobre assuntos relacionados aos aspectos tecnológicos (PIETRAFESA, 2013; PIETRAFESA; SANTOS, 2014).

O relatório final apresentado pelo GTI-Biodiesel pedia a incorporação imediata do biodiesel à agenda de governo e destacava as potencialidades da inserção desse biocombustível na matriz energética nacional sob vários aspectos: contribuir favoravelmente para a geração de emprego por meio da inclusão da agricultura familiar; atenuar disparidades regionais; contribuir para redução da dependência do petróleo importado; fortalecer o componente renovável de nossa matriz energética de transporte, melhorar as condições ambientais e reduzir custos na área de saúde. O relatório sugeria um conjunto de recomendações com atribuição de responsabilidade entre os ministérios. Coube ao MCT:

- A realização de testes de B100 em motores veiculares e estacionários;
- Estabelecer convênio com países produtores de biodiesel - Alemanha, França, USA e Argentina – para troca de experiências e aprofundamento de conhecimentos sobre aspecto tecnológico
- Identificar, mapear, articular e fomentar a competência nacional em pesquisa e desenvolvimento, evitando duplicação de esforços e acelerando o domínio de rotas tecnológicas para a produção e uso do biodiesel.

Como relatado, houve um esforço do MCT em realizar programas de testes, bem como de identificar, mapear, articular e fomentar P&D com biodiesel. Assim, das três demandas sob responsabilidade do MCT, o estabelecimento de parcerias com países produtores de biodiesel ainda não havia ocorrido.

Outra sugestão do GTI-Biodiesel foi a criação de uma Comissão Executiva Interministerial (CEI) e de um Grupo Gestor⁶¹, que foi atendida em 23 de dezembro de 2003 por meio de um decreto presidencial não numerado. A CEI (Figura 24) ficaria responsável pela elaboração, implementação e monitoramento do programa, propondo os atos normativos e definindo as ações de governo e diretrizes de política públicas, enquanto o Grupo Gestor, coordenado pelo MME, ficaria responsável pela gestão operacional e administrativa das ações propostas pela CEI (ABREU; VIEIRA; RAMOS, 2006).

Figura 24 - Órgãos integrantes do PNPB



Fonte: Abreu; Vieira; Ramos (2006)

Com a criação do Grupo Gestor, ocorreu a separação entre a estrutura de regulação e promoção da produção de biodiesel, que ficaria a cargo do MME e a estrutura de pesquisa, sob responsabilidade do MCT. Para Pedroti (2011), era esperado um certo desconforto por parte do MCT em deixar de coordenar esta política pública que vinha sendo gestada desde o

⁶¹ O Grupo Gestor contou com representantes de seis ministérios e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), ANP Petrobras e Embrapa.

Probiodiesel, mas, ao analisar as diretrizes do PNPB, observa-se que essa participação não foi diminuída e o MCT passou a ter um papel estratégico em uma política pública considerada relevante pela Presidência da República.

Além do GTI-Biodiesel, o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República⁶² elaborou com auxílio de especialistas de diferentes ICTs brasileiras, uma análise técnica sobre a produção e uso do biodiesel com o propósito de auxiliar o chefe do executivo na elaboração de uma política pública para esse biocombustível (NAE, 2005).

O CGEE realizou outro estudo para a construção de uma agenda de P&D e a identificação de um conjunto de tópicos tecnológicos prioritários para os investimentos em energia no Brasil para os próximos 20 anos. O estudo contou com a participação de 204 especialistas na área de energia, planejamento e prospecção tecnológica de 105 ICTs e empresas do setor. O tópico ‘desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel’ foi apontado com alta prioridade para investimentos, especialmente quando foi levado em conta os efeitos na geração de empregos e contribuições ao desenvolvimento regional que esse biocombustível poderia proporcionar (CGEE, 2004b).

Diante dos estudos apresentados, o Governo Federal encaminhou Medida Provisória nº 214 de 13/09/2004 para o Congresso Nacional, que incorporou as sugestões da PL 3368 de 14/04/2004, encaminhada pelo Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica da Câmara dos Deputados, dando o formato final ao PNPB. Em 08 de dezembro de 2004, o PNPB foi lançado oficialmente com forte ênfase nas possibilidades de geração de benefícios sociais no Norte e Nordeste do país e em 13 de janeiro de 2005, o biodiesel foi inserido na matriz energética brasileira por meio da Lei nº 11.097 (AZEVEDO, 2010).

O PNPB foi sacramentado após o governo ter herdado uma iniciativa de caráter puramente tecnológico gestada no governo anterior, tendo como missão evitar erros verificados no Proálcool como a monocultura latifundiária concentrada em poucos estados e apoiada em mão de obra mal remunerada e submetida a condições precárias de trabalho, além de estruturar o mercado e a cadeia de produção do biodiesel e incluir a agricultura familiar⁶³ nessa cadeia (PEDROTI, 2013). Previa-se a inclusão de 200 mil agricultores familiares e investimentos em

⁶² Trata-se de um órgão de assessoria presidencial, orientado para identificar oportunidades e vocações nacionais, gerar cenários prospectivos e tratar temas estratégicos para o país.

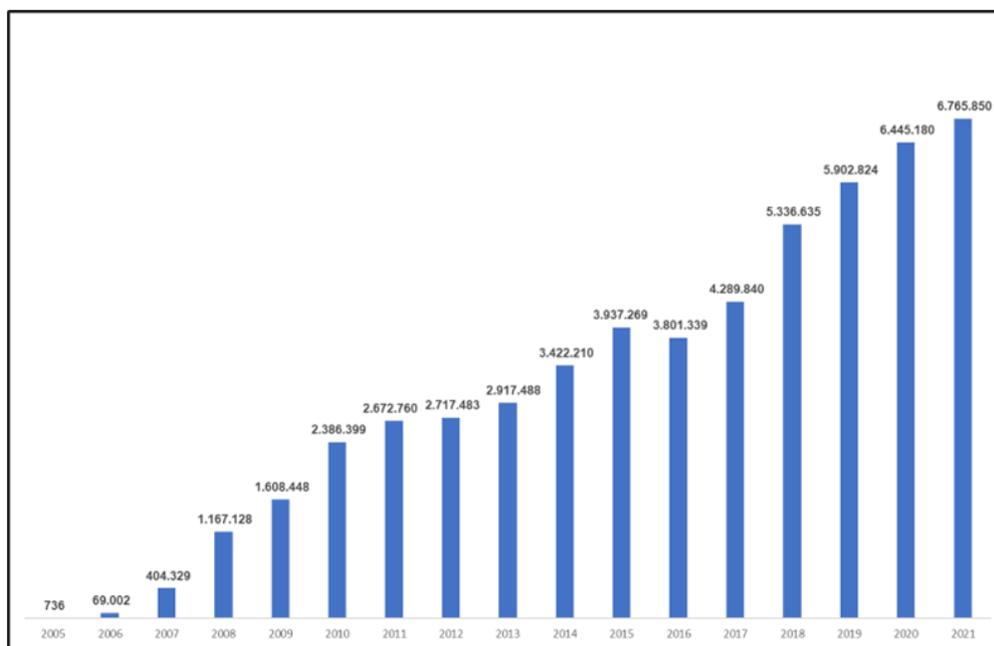
⁶³ A meta era incluir 200 mil agricultores no mercado de biodiesel, mas nunca foi alcançada. Em 2019, havia cerca de 85 mil agricultores no programa, onde 89% encontravam-se no Rio Grande do Sul, estado produtor de soja e com a agricultura familiar mais tecnificada e integrada a complexos agroindustriais. Apenas 5% dos agricultores estavam no Nordeste, região que recebeu atenção especial do PNPB (SILVA, 2020).

tecnologia e assistência técnica com foco na diversificação de oleaginosas e no aumento da produção (SILVA, 2020).

Em março de 2005, vinte meses após a criação do GTI-Biodiesel, a primeira usina⁶⁴ para produção comercial de biodiesel foi inaugurada, fazendo com que o biodiesel deixasse a fase de estudos de viabilidade e entrasse na fase comercial autorizativa com aval da indústria automobilística que manteve a garantia dos motores. Em 2021, o país contava com 53 usinas espalhadas nas cinco regiões (ANP, 2022a).

Em 10 anos, a produção nacional de biodiesel ultrapassou a de países com programas estruturados há mais tempo, como Alemanha e França. Com capacidade de produção estimada em 10 bilhões de litros, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de biodiesel com 6,77 bilhões de litros produzidos em 2021 (ANP, 2022b; REN21, 2022). O Gráfico 4 apresenta a evolução da produção de biodiesel no país de 2005 a 2021.

Gráfico 4 - Produção de biodiesel no Brasil de 2005 a 2021(em metros cúbicos)



Fonte: elaborado pelo autor com dados da ANP (2022b)

O PNPB possui três princípios estruturantes: (i) sustentabilidade ambiental com a redução do consumo de diesel e dos custos relacionados ao combate dos chamados males da poluição na área de saúde; (ii) viabilidade econômica com redução da dependência do petróleo

⁶⁴ Trata-se da Soyminas, usina localizada em Cássia (MG) com capacidade inicial de produção de 4,4 milhões de litros ao ano. Ela também foi a primeira usina a obter o Selo Combustível Social e uma das primeiras a solicitar o cancelamento de sua autorização para produzir biodiesel junto à ANP em (TAVARES, 2011)

importado e a garantia de preços competitivos, qualidade e suprimento e; (iii) geração de emprego e redução das disparidades regionais via inclusão social de agricultores familiares no programa.

Todos os princípios que sustentam o programa estão alicerçados sobre uma base tecnológica, cujo conhecimento produzido contribui, a princípio, para: (i) implementação de projetos sustentáveis de produção de biodiesel, com foco na inclusão social; (ii) produção de biodiesel partir de diferentes oleaginosas e em diversas regiões e; (ii) superação de gargalos que vão surgindo ao longo do tempo e que poderiam comprometer a competitividade e sustentabilidade do PNPB (MENEZES, 2016).

Entre as metas vinculadas a P&D tecnológico do PNPB, sob a coordenação do MCT, estão o Programa de Testes e Ensaio em Motores (veiculares e estacionários) para validação da utilização de biodiesel em diferentes percentuais de mistura, a criação da Rede de Caracterização e Controle de Qualidade de Biodiesel⁶⁵ de modo a atender as especificações da ANP e a (re)estruturação⁶⁶ da RBTB, principal instrumento do ministério para convergir os esforços da comunidade científica nacional no desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à cadeia de produção do biodiesel.

Na esteira das políticas públicas que envolvem diretamente ações voltadas a P&D com biodiesel estão as iniciativas do MAPA: aumento da participação da Embrapa no PNPB, criação do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) e da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel⁶⁷ (CSOB), ambos lançados no final de 2005.

O PNA 2006-2011 objetivou orientar as ações públicas e privadas na proposta de P&D&I e transferência de tecnologia que contribuíssem para a produção sustentável da agricultura, de energia e para o uso racional desse insumo renovável. O plano possuía três diretrizes principais: (i) desenvolvimento de tecnologia agrícola (sistemas de produção sustentável); (ii) desenvolvimento de tecnologia industrial (processos de conversão eficientes) e; (iii) estudos transversais (ambientais, socioeconômicos, mercados, políticas públicas e outros). Por diretriz do PNA, foi criado o Centro Nacional de Pesquisa de Agroenergia (CNPAGE) da Embrapa ou Embrapa Agroenergia, uma unidade voltada para a pesquisa, desenvolvimento e inovação em temas e assuntos da agroenergia (MAPA, 2006).

⁶⁵ Criada em 2005 e com investimento de R\$16 milhões, essa rede era formada por laboratórios e contou com o envolvimento de mais de 90 instituições e 300 pesquisadores, muitos dos quais colaboravam também na RBTB. Ae em investimentos (MCT, 2010).

⁶⁶ Como houve uma tentativa de estruturar uma rede de biodiesel no Probiobiodiesel, o autor adotou o termo (re)estruturação por achar mais pertinente.

⁶⁷A CSOB foi oficialmente criada pela Portaria n° 39, de 31 de maio de 2006.

Desde o lançamento do PNA e do PNPB, esses programas vêm pautando em maior ou menor grau as ações de P&D por parte de agentes públicos e privados com o propósito transferir conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e para o uso racional da energia renovável, visando à competitividade do agronegócio brasileiro e dar suporte às políticas públicas (CEIB, 2006).

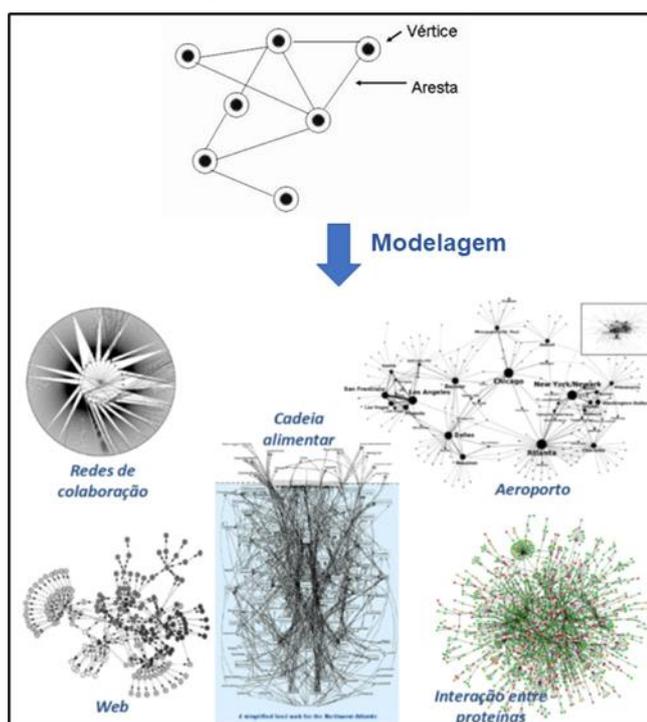
Já a CSOB é um foro de interlocução criado para identificar oportunidades de desenvolvimento da cadeia produtiva da soja e outras plantas oleaginosas, articulando agentes públicos e privados, definindo ações prioritárias de interesse comum, visando a produção de biodiesel. Ela é constituída por 45 instituições dos diversos segmentos entre os quais a Embrapa e o MCT (CSOB, 2019).

Finalmente, o PNPB se desenvolveu ao longo de diferentes políticas industriais adotadas no país e que vigoraram de 2004 a 2014. O entrelaçamento do aspecto tecnológico do biodiesel com essas políticas é discutido no Capítulo de Análise e Discussão na subseção referente ao desenvolvimento da RBTB, abrindo a discussões sobre a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na superação de gargalos tecnológicos que impactam na competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil.

2.3 REDES

Existe uma infinidade de sistemas reais que possuem relações dinâmicas não lineares entre seus componentes. Essas relações ocorrem em vários níveis de organização e escala, sendo possível modelá-las por meio de redes, um grafo (Figura 25) cujos vértices identificam os elementos do sistema e as arestas representam a presença de uma relação entre esses elementos (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016; KADUSHIN, 2012; TABASSUM et al., 2018; TURNBULL et al., 2018; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Figura 25 - Exemplos de redes

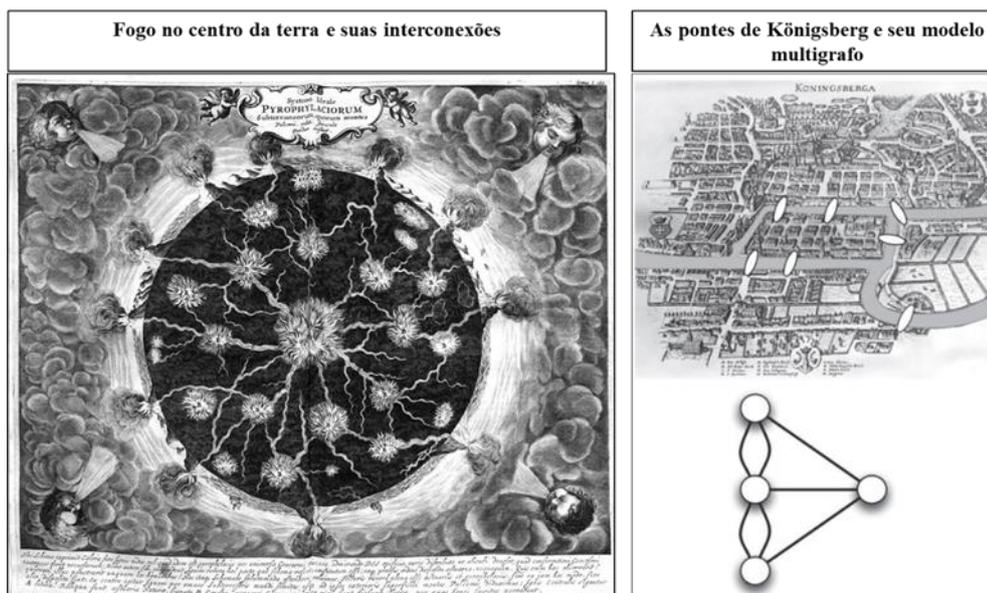


Fonte: Elaborado pelo autor com base em imagens extraídas do Google Imagens (<https://images.google.com.br/>)

A definição de rede é ampla e flexível, o que permite uma representação conceitual convincente das interações em uma ampla variedade de sistemas (Figura 28), revelação de padrões emergentes e dinâmicas que não seriam facilmente percebidos por meio do método tradicional de investigação de objetos independentes (MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020; STROGATZ, 2001; TABASSUM et al., 2018).

Sua história remonta séculos atrás, com a publicação do livro *Mundus Subterraneus* de Athanasius Kircher em 1665. Nessa obra, um mapa mostra as conexões entre vulcões e fontes de calor subterrâneas por meio de uma intrincada rede de canais e fissuras (Figura 29). Trata-se da primeira tentativa de modelar uma rede, uma inovação representativa, já que os mapas produzidos naquela época mostravam apenas as cidades, sem abordar as ligações entre elas (CAVALCANTE, 2011; GLASSIE, 2012).

Figura 26 - Representações de redes de Athanasius Kircher e Euler



Fontes: Wikimedia Commons (2021) e Caldarelli; Catanzaro (2012)

No entanto, foi somente no século XVIII que o estudo formal das redes começou a se desenvolver com Leonhard Euler, que resolveu o famoso problema das pontes de Königsberg. Euler transformou o problema em um desafio matemático (Figura 26), originando assim a Teoria dos Grafos (GRIBKOVSKAIA; HALSKAU; LAPORTE, 2007; LOPES; TÁBOAS, 2015).

O diagrama das Pontes de Königsberg criado por Euler se tornou o primeiro exemplo de um grafo e foi fundamental para o desenvolvimento da teoria dos grafos⁶⁸ como uma ferramenta para a análise de redes⁶⁹ (CALDARELLI; CATANZARO, 2012; NETTO; JURKIEWICZ, 2017).

Ao longo do século XX, a teoria dos grafos evoluiu impulsionada pelos estudos de análise de redes sociais (BORGATTI; EVERETT; JOHNSON, 2013) e pelas pesquisas em otimização de recursos organizacionais, durante a Segunda Guerra Mundial, atualmente chamada de pesquisa operacional (NETTO, 2011).

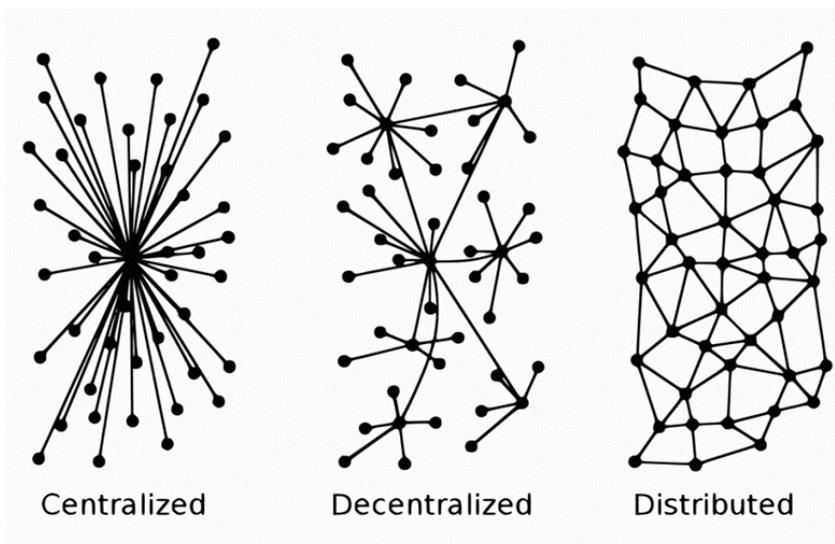
⁶⁸ A Teoria dos Grafos é, em última análise, o estudo das relações (WATE-MIZUNO, 2014). Com um conjunto de vértices e arestas, pode-se abstrair qualquer coisa, desde layouts de cidades a dados de computador. Dessa maneira, a teoria dos grafos torna-se uma ferramenta útil para quantificar e simplificar as muitas partes de um sistema e fornecer respostas para muitos problemas.

⁶⁹ Não por acaso, os termos grafo e rede são frequentemente usados como sinônimo na literatura científica (MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020), mas há uma tênue diferença entre eles. Enquanto uma rede é a representação relacional de um sistema real, um grafo é o objeto matemático analisado (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016).

A partir da segunda metade do século XX, um conjunto de pesquisadores realizou contribuições significativas que ajudaram a desenvolver a “ciência ou teoria das redes”. Entre esses pesquisadores, destacam-se o engenheiro polonês Paul Baran, os matemáticos húngaro e polonês Paul Erdős e Edgar Gilbert, o psicólogo social americano Stanley Milgram e os físicos romeno e coreano Albert-László Barabási e Réka Albert (MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020).

Baran foi um dos pioneiros na pesquisa sobre comunicação em rede e teve um papel fundamental no desenvolvimento da teoria das redes distribuídas ao propor o conceito de redes em malha ou mesh networks (Figura 27), que tornava a estrutura de uma rede de comunicação descentralizada, robusta e resistente a falhas. Com isso, Baran influenciou o desenvolvimento das redes de comunicação e da própria internet, além de contribuir para o estudo de redes complexas (KNOKE, 2014).

Figura 27 - Os modelos de redes de Baran



Fonte: Recuero (2017)

Erdős e Gilbert estudaram a existência de redes aleatórias e propuseram um modelo matemático para descrevê-las. Esse modelo, conhecido como o modelo Erdős-Gilbert, considera que as conexões entre os nós de uma rede ocorrem de forma aleatória, sem seguir critérios específicos. Essa aleatoriedade resulta em uma distribuição de graus dos nós próxima de uma distribuição normal (KNOKE, 2014).

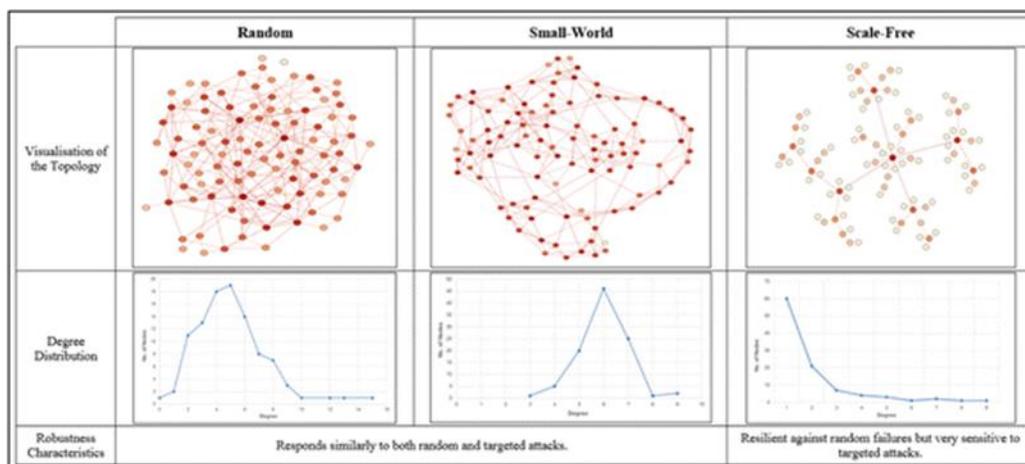
Já Milgram desenvolveu a teoria das redes de mundo pequeno, após a realização do "experimento dos seis graus de separação", explorou a ideia de que existem laços curtos de conexão entre pessoas em uma sociedade, permitindo que qualquer indivíduo esteja a apenas

alguns contatos de distância de qualquer outro indivíduo. Nas redes de mundo pequeno, a distribuição de grau dos nós geralmente segue uma distribuição de lei de potência, ou seja, a maioria dos nós em uma rede possui um pequeno número de conexões, enquanto alguns poucos possuem um número muito grande de conexões (MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020).

Por fim, Barabási e Albert, em 1999, propuseram a teoria das redes livres de escala⁷⁰ para descrever as redes onde alguns nós têm muitas conexões e a maioria dos nós tem apenas algumas conexões. Nesta teoria, novos nós tendem a se conectar aos nós mais populares, o que leva à formação de hubs ou nós altamente conectados. Isso resulta em uma distribuição de graus que segue uma lei de potência, em vez de uma distribuição normal (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016).

Esses pesquisadores contribuíram para o estabelecimento e avanço do campo da teoria das redes complexas, caracterizadas por apresentarem propriedades não triviais e padrões emergentes que não podem ser explicados apenas pela soma das características de seus componentes individuais (vértices e arestas), sendo necessário o estudo das interações e a estrutura da rede como um todo para compreender seu comportamento coletivo (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016; NEWMAN, 2018). A Figura 28 mostra uma comparação entre as redes aleatórias, de mundo pequeno e sem escala.

Figura 28 - Comparação das redes aleatórias, de mundo pequeno e sem escala



Fonte: Perera; Bell; Bliemer, (2017)

⁷⁰ Eles publicaram o artigo "*Emergence of Scaling in Random Networks* apresentando o conceito de redes livres de escala e propondo um modelo para descreve a formação de redes com distribuição de grau heterogênea. Esse artigo teve um impacto significativo em várias áreas, incluindo ciência da computação, biologia, sociologia e física (MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020).

Nas últimas décadas, a ideia de conectividade ganhou destaque na cultura pós-moderna devido às rápidas transformações socioeconômicas, políticas e culturais, tornando as redes⁷¹ um termo comum no vocabulário cotidiano e um ponto central de discussão. Com a disponibilidade crescente de dados e avanços nos métodos de análise, a "ciência das redes" evoluiu como campo de estudo que investiga as propriedades e padrões de conexão em sistemas complexos, como redes sociais e muitas outras (BARABÁSI, 2012; NEWMAN, 2018). Suas principais características são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Características da “ciência das redes”

Característica	Descrição
Natureza Interdisciplinar	Oferece uma linguagem por meio da qual diferentes disciplinas podem interagir perfeitamente umas com as outras.
Natureza Orientada a Dados	Foco nos dados coletados, tratados e interpretados para oferecer <i>insights</i> sobre as propriedades e comportamento do sistema.
Natureza Quantitativa	Uso de conceitos matemáticos e estatísticos.
Natureza Computacional	Forte dependência de recursos computacionais para mineração e gerenciamento de banco de dados e ferramentas de software para análise das redes.

Fonte: (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016)

Pode-se dizer que a ciência das redes permeia todas as áreas do conhecimento, sendo utilizada para modelar e entender uma variedade de problemas (FIENBERG, 2012; MENCZER; FORTUNATO; DAVIS, 2020; STROGATZ, 2001).

2.3.1 Abordagem de ARS

A ARS tem sua origem na abordagem estrutural da sociologia, uma vertente que focou sua atenção na investigação da vida social através do estudo das relações (SCOTT, 2011). Ela consiste em investigar as estruturas sociais por meio do uso de redes e da teoria dos grafos, visando sistematizar e analisar as informações sobre as relações estabelecidas entre as entidades sociais (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2018; SILVA; JUNIOR, 2012; TABASSUM et al., 2018).

Assim, diferentemente dos métodos tradicionais de investigação de objetos independentes, a ARS foca nos relacionamentos entre as entidades sociais, permitindo com isso

⁷¹ Não confundir as redes com mídias sociais e aplicativos digitais, pois as redes são muito mais abrangentes em sua natureza (HIGGINS, 2018).

examinar como essas conexões influenciam o comportamento, a disseminação de informações e a formação de grupos dentro de uma determinada estrutura social (BORGATTI; EVERETT; JOHNSON, 2013; SILVA; JUNIOR, 2012; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Embora a criação dessa abordagem não possa ser atribuída a um único criador, Jacob L. Moreno é frequentemente reconhecido como um dos pioneiros e principais impulsionadores da ARS. Ele desenvolveu a Sociometria, uma técnica que visa mapear e analisar as relações sociais e as preferências interpessoais dentro de um grupo. Essa técnica utiliza sociogramas⁷² para representar graficamente as conexões e interações entre os indivíduos, mas sem incluir a representação dos sentimentos subjetivos das pessoas (BORGATTI; EVERETT; JOHNSON, 2013).

A Sociometria contribuiu decisivamente para que a ARS se consolidasse como uma das abordagens de estudo dos grupos sociais ao possibilitar uma análise sistemática desses grupos a partir de suas respectivas estruturas e com o uso de medidas específicas para estas. Foi a partir dela que a primeira grande onda de estudos de redes teve início nos EUA (KNOKE, 2014; SCOTT; CARRINGTON, 2011; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Além disso, Jacob Moreno influenciou outros importantes trabalhos, como os de Elton Mayo e Lloyd Warner que tiveram um papel decisivo no surgimento da teoria das relações humanas na Administração e contribuíram significativamente para a consolidação dos estudos das relações sociais e suas características de rede nas ciências sociais (SCOTT; CARRINGTON, 2011). O Quadro 14 apresenta outros pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento da ARS.

Quadro 14 - Exemplos de pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento da ARS

Nome	Teoria Desenvolvida
Jacob Moreno	Sociometria e análise das redes sociais
Harrison White	Contribuições teóricas sobre a estruturação das redes sociais.
Mark Granovetter	Demonstrou que os laços fracos (weak ties) são fundamentais para a disseminação de informações e oportunidades em uma rede social.
Ronald Burt	Desenvolveu a teoria do capital social estrutural, enfatizando a importância das posições estruturais individuais em uma rede.

Fonte: adaptado de Higgins (2018); Mizuchi (2006)

Esses e outros pesquisadores ajudaram a moldar a ARS como um campo de estudo, definindo também suas propriedades, a saber: (i) envolve a intuição de que a ligação entre os atores é importante; (ii) é baseada em dados empíricos para registrar as relações entre atores; (iii) utiliza representações visuais para mostrar tais ligações; e (iv) faz uso de modelos

⁷² O sociograma é precursor das atuais ferramentas de desenho topológico de redes disponíveis em diversos pacotes.

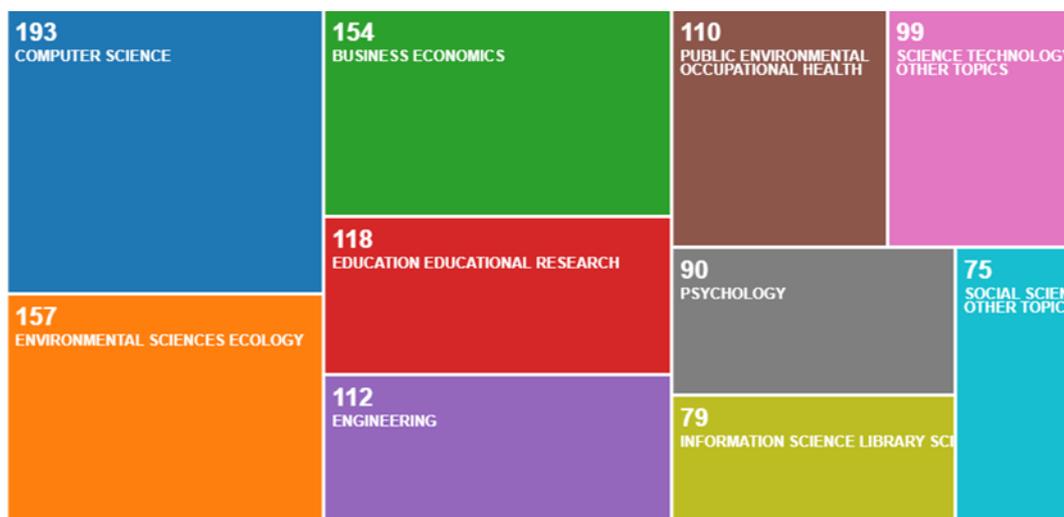
matemáticos e computacionais para descrever e explicar os padrões encontrados nas redes (FREEMAN, 2004; SCOTT; CARRINGTON, 2011).

Com base nessas propriedades, a ARS permite examinar como essas conexões influenciam o comportamento, a disseminação de informações e a formação de grupos dentro de uma determinada estrutura social (BORGATTI; EVERETT; JOHNSON, 2013; SILVA; JUNIOR, 2012). Ao analisar as relações entre entidades sociais que formam a rede de estudo, a ARS oferece uma visão holística da interconectividade e das características estruturais da rede (SCOTT, 2011).

A ARS tem sido uma ferramenta importante para pesquisadores, pois a visualização gerada da rede ajuda a descrever melhor as questões sociais, organizacionais, políticas, legais, regulatórias e outras (ALHAJJ, 2014). Ela pode ser aplicada a fenômenos em larga escala, pois os mesmos conceitos aplicados a pequenos grupos podem ser utilizados nas análises de organizações, nações, sistemas internacionais e outros (KADUSHIN, 2012; NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2018).

Atualmente, diferentes áreas estão fazendo uso da ARS, como mostra o mapa de área (Figura 29), gerado a partir da busca pelo termo “*social network analysis*” em títulos de artigos indexados na *Web of Science*.

Figura 29 - Aplicação da ARS em diferentes áreas



Fonte: *Web of Science* (2022)

No caso da engenharia, em especial da Engenharia da Industrial, a ARS vem sendo aplicada em estudos relacionados à gestão de projetos, análise de cadeias de suprimentos, colaboração e comunicação organizacional, dentre outros temas relevantes, permitindo analisar as relações sociais dentro das organizações e como elas impactam os processos e o desempenho organizacional.

Outra importante aplicação da ARS reside na investigação de redes de colaboração científica formadas por pesquisadores e instituições em diversas áreas do conhecimento com o objetivo de compreender a complexidade científica por meio do estudo das relações e interações entre entidades sociais e avaliar os padrões de colaboração em P&D. O estudo dessas redes vem revelando que a produtividade científica está relacionada com a troca de informações entre seus membros ou compartilhadas com pesquisadores externos e, às vezes, de áreas distintas.

ARS tem ajudado a desvendar a complexidade científica ao oferecer uma abordagem analítica que permite investigar e compreender os padrões de conexões e interações entre os atores em uma rede, proporcionando uma visão mais completa e holística dos fenômenos.

Exemplos de pesquisas realizadas no Brasil que utilizaram a abordagem de ARS para levantar colaborações e parcerias científicas e tecnológicas na área de saúde podem ser encontradas em (FONSECA E FONSECA, 2015) e mostram como as redes de coautorias são um poderoso instrumento para entender e avaliar os padrões de colaboração científica. O Quadro 15 traz uma síntese desse tipo de redes.

Quadro 15 - Exemplos de pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento da ARS

Pesquisa	Conclusões
Redes de coautoria de pesquisadores brasileiros em doenças tropicais negligenciadas	Identificação de instituições-chave para a colaboração científica e gestão do programa
Redes de coautoria em artigos e invenção em patentes de pesquisadores brasileiros na área de Biotecnologia	Relação entre produção científica e tecnológica, com interação significativa entre ambas
Redes de publicações e patentes na área da tuberculose no Brasil	Participação ativa das universidades, falta de cooperação entre universidades e empresas
Redes de coautoria e invenção relacionadas a vacinas contra o HPV e dengue	Rede de coautoria densa e interligada, rede de invenção escassa e baixa inserção dos pesquisadores brasileiros em redes globais
Colaboração científica em biotecnologia na Região Nordeste do Brasil	Colaboração intrainstitucional predominante, baixa diversidade institucional e pouca participação de empresas

Fonte: adaptado de Fonseca e Fonseca, 2015

2.3.2 Elementos morfológicos de uma rede

Como mencionado na seção anterior, a ARS é uma abordagem que se dedica ao estudo das redes sociais e suas características estruturais (SCOTT, 2011). Seguindo essa perspectiva, qualquer conjunto de atores, sejam eles indivíduos, organizações, empresas ou nações, que

estabeleçam relações entre si pode ser considerado uma rede social e, portanto, passível de análise por meio da metodologia de ARS (SILVA; JUNIOR, 2012).

No entanto, para construir uma compreensão útil de uma rede, é importante definir alguns conceitos utilizados nas análises, como seus elementos morfológicos (Quadro 16), ou seja, que são as características estruturais que descrevem a forma e configuração da rede (SILVA; JUNIOR, 2012).

Quadro 16 - Elementos morfológicos de uma rede

Elemento	Descrição
Nós ou atores	São as entidades individuais que compõem a rede, como pessoas, instituições, organizações, etc. Os nós são a unidade básica da rede e podem ser identificados como pontos de conexão e interação.
Ligações ou relações	São as conexões estabelecidas entre os nós da rede, representando as interações e relacionamentos entre eles. Essas ligações podem variar em intensidade e natureza, podendo incluir colaboração, troca de informações, cooperação, entre outros. As ligações podem ser: <ul style="list-style-type: none"> • Ligações Direcionadas, onde a conexão entre dois nós possui uma direção específica; • Ligações Não-direcionadas, onde a conexão entre dois nós não possui uma direção específica; • Ligações Ponderadas, onde a conexão entre dois nós possui um valor numérico associado; • Ligações Multiplexas, onde os nós estão conectados por múltiplas ligações que representam diferentes tipos de relação.
Posição	Cada nó na rede ocupa uma posição que leva em consideração sua centralidade, influência e acesso a recursos. A posição de um nó na rede influencia seu papel e importância dentro da estrutura, podendo afetar seu alcance, visibilidade e capacidade de influenciar outros nós.
Fluxos	Representa o movimento de informações, recursos, influência ou qualquer outra forma de intercâmbio entre os nós da rede. Os fluxos podem ocorrer por meio das ligações entre os nós e podem ter diferentes direções e intensidades.

Fonte: RECUERO (2017) SCOTT; CARRINGTON, 2011; SILVA; JUNIOR (2012)

A análise desses elementos morfológicos permite obter informações de como a rede está organizada e configurada. Um exemplo pode ser visto no Quadro 17 que utilizou os elementos de uma rede de coautoria em pesquisa com biodiesel.

Quadro 17 - Exemplo dos conceitos relacionados aos aspectos morfológicos das redes

Nós	Posições	Ligações	Fluxos
Pesquisador A	Autor	Coautores, colaboradores, orientandos	Fluxo de conhecimento, ideias
Pesquisador B	Coautor	Autores, colaboradores, orientandos	Fluxo de conhecimento, contribuições
Instituição A	Instituição de pesquisa	Pesquisadores, colaboradores	Fluxo de recursos, infraestrutura
Instituição B	Instituição de pesquisa	Pesquisadores, colaboradores	Fluxo de recursos, infraestrutura

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, é importante ressaltar que todo projeto de ARS deve iniciar com o estudo de três elementos principais: entidade básica, forma e conteúdo das relações e nível de análise dos dados (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Nas redes analisadas neste trabalho, as entidades básicas são representadas por pesquisadores, grupos de pesquisadores e ICTs envolvidos em estudos sobre biodiesel. A forma e conteúdo das relações são caracterizadas pelas colaborações estabelecidas entre essas entidades, principalmente por meio da coautoria de artigos científicos, o que representa as parcerias estabelecidas para projetos de P&D em biodiesel. O nível de análise dar-se-á a partir dos dados coletados de artigos científicos publicados por esses pesquisadores, envolvendo a temática biodiesel.

2.3.3 Medidas quantitativas utilizadas na ARS

Como visto, a ARS utiliza grafos em sociogramas para gerar representações visuais dos atores e seus laços. Essa técnica gera uma série de indicadores que podem ser calculados por meio de algoritmos específicos para identificar e descrever características estruturais importantes e o funcionamento das redes sociais (WASSERMAN; FAUST, 1994)..

Esses indicadores fornecem informações de como a rede está organizada e como os atores interagem entre si. Os principais indicadores utilizados nesta tese estão descritos no Quadro 18.

Quadro 18 - Exemplo dos conceitos relacionados aos aspectos morfológicos das redes

Indicador	Descrição	Exemplo
Centralidade de Grau (<i>Degree Centrality</i>)	Mede o número de ligações diretas de um nó na rede, identificando os autores, grupos ou instituições com maior número de colaborações. Trata-se de uma medida que mostra a importância relativa de cada nó na rede com base nas suas conexões diretas. Em termos matemáticos, a Centralidade de Grau de um nó "i" em uma rede com "N" nós, pode ser calculada por meio da seguinte fórmula: Centralidade de Grau(i) = (Número de ligações diretas do nó i) / (N - 1)	Um autor que tenha publicado artigos científicos em parceria com diversos outros autores sobre estudos relacionados ao biodiesel.
Centralidade de Intermediação (<i>Betweenness Centrality</i>)	Medida utilizada para identificar os nós que atuam como "pontes" ou "intermediários" na rede, conectando diferentes grupos ou comunidades. Quanto maior a Centralidade de Intermediação de um nó, maior é sua	Uma instituição de pesquisa que colabora com diferentes grupos de pesquisa em várias regiões do país para desenvolver projetos de biodiesel.

	<p>importância como um intermediário na comunicação e fluxo de informações entre outros nós.</p> <p>Esse indicador pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:</p> <p>Centralidade de Intermediação(i) = $\sum (\sigma(j, k) / \sigma(j, k i))$</p> <p>onde:</p> <p>$\sigma(j, k)$ é o número total de caminhos mais curtos entre os nós j e k na rede.</p> <p>$\sigma(j, k i)$ é o número de caminhos mais curtos entre os nós j e k que passam pelo nó i.</p>	
Centralidade de Proximidade (<i>Closeness Centrality</i>)	<p>Mede o quão próximo um nó está de todos os outros nós da rede. Nós com maior centralidade de proximidade são aqueles que estão mais próximos de todos os outros nós, permitindo um fluxo eficiente de informações e recursos.</p> <p>Em termos matemáticos, a Centralidade de Proximidade de um nó "i" em uma rede com "N" nós é:</p> <p>Centralidade de Proximidade(i) = $(N - 1) / \sum(\text{distância mínima entre o nó i e todos os outros nós})$</p>	Um grupo de pesquisadores que têm conexões próximas com outros grupos de pesquisa na área do biodiesel, permitindo a troca rápida de conhecimentos e recursos.
Coefficiente de Agrupamento (<i>Clustering</i>)	Avalia a coesão dos nós em uma rede, quantificando a tendência desses nós se conectarem entre si e formar agrupamentos ou comunidades.	Um conjunto de autores que colaboram frequentemente entre si em pesquisas sobre biodiesel, formando um grupo coeso de colaboração.
Densidade da Rede	<p>Mede a proporção de conexões existentes em relação ao total de conexões possíveis na rede, indicando a intensidade das colaborações na rede. A medida de densidade máxima de um grafo é 1.</p> <p>Em termos matemáticos, esse indicador leva em consideração o número de ligações presentes na rede em relação ao número total de nós, como mostra a equação abaixo.</p> <p>Densidade = $(2 * \text{Número de ligações}) / (\text{Número total de nós} * (\text{Número total de nós} - 1))$</p>	Uma rede de pesquisa com biodiesel que possui muitas conexões entre diferentes autores, indicando uma alta densidade e intensa colaboração na área.
Centralidade de Eigenvector	Mede a importância de um nó da rede com base em suas conexões diretas e na importância dos nós aos quais está conectado. Esse indicador leva em consideração a ideia de que a importância de um nó está relacionada à importância dos nós com os quais ele está conectado.	Na rede de coautoria em biodiesel, um autor com alta centralidade de Eigenvector é aquele que está conectado a outros autores de grande influência no campo.
Fechamento (<i>Closure</i>)	Mede a tendência dos nós em formar conexões entre si, criando agrupamentos ou comunidades mais fechadas. Essa medida reflete o grau de coesão e interconexão dos nós em uma rede.	O fechamento na coautoria em biodiesel indica a presença de grupos de pesquisa bem integrados, em que os autores colaboram frequentemente entre si.
Diâmetro da Rede	Mede a distância máxima entre dois nós na rede, ou seja, o maior número de arestas que precisam ser percorridas para se conectar dois nós distintos. Essa medida indica a extensão da rede e a distância máxima entre seus nós.	O diâmetro da rede na coautoria em biodiesel revela a eficiência das comunicações e a velocidade de propagação de informações entre os autores.
Componentes Conectados	<p>Conta o número de grupos de nós interligados entre si, formando sub-redes distintas que são totalmente alcançáveis a partir de qualquer nó dentro desses componentes.</p> <p>Cada componente conectado como uma unidade independente dentro da rede, com suas próprias características e padrões de conexão.</p> <p>Assim, identificar e contar o número de componentes conectados em uma rede é importante para compreender sua estrutura global.</p>	Na coautoria em biodiesel, os componentes conectados representam grupos de autores ou instituições que colaboram de forma mais intensa entre si.

Modularidade	<p>Mede o grau em que os nós dentro de um mesmo grupo têm mais ligações entre si do que com os nós de outros grupos, identificando a presença de comunidades bem definidas.</p> <p>Em termos matemáticos, a fórmula para calcular a modularidade de uma rede é:</p> <p>Modularidade = (Número real de arestas dentro dos grupos - Número esperado de arestas dentro dos grupos) / (Número total de arestas na rede)</p>	<p>A modularidade na coautoria em biodiesel revela a existência de comunidades de autores que colaboram dentro desses grupos de forma mais intensa do que com autores de outros grupos.</p>
--------------	---	---

Fonte: adaptado de Barabási; Pósfai (2016); Higgins (2018); Marsden (2015); Wasserman; Faust (1994)

Os cálculos desses indicadores podem ser penosos, sendo necessário o uso de softwares que possuem algoritmos específicos que levem em consideração as propriedades estruturais da rede, especialmente, as interações entre os nós (MARSDEN, 2015). *Softwares* como *Pajek* e *UCINet* oferecem uma variedade de recursos para calcular centralidade, comunidades, componentes conectados, dentre outros, enquanto o *Gephi* pode ser utilizado para visualização e análise de redes (NEWMAN, 2018).

Os indicadores de redes também podem ser combinados com outros indicadores para obter uma visão mais abrangente de um determinado fenômeno, permitindo assim uma análise multidimensional e uma compreensão mais completa das redes sociais (GRÁCIO et al., 2020).

Para a condução de pesquisas que visam analisar a colaboração científica e o impacto das redes de pesquisa em determinadas áreas do conhecimento, recomenda-se a combinação da abordagem ARS com indicadores bibliométricos (GRÁCIO et al., 2020).

Essa combinação permite uma compreensão mais acurada dos resultados da pesquisa científica em redes colaborativas, pois os indicadores bibliométricos fornecem informações sobre o desempenho acadêmico, a visibilidade e a influência dos atores e suas contribuições para a produção científica, enquanto os indicadores de ARS revelam a estrutura das redes de colaboração, os padrões de coautoria, as comunidades científicas e a conectividade entre os atores. (GRÁCIO et al., 2020).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta tese pode ser caracterizada como uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo com uso de uma abordagem qualitativa e quantitativa. Para se chegar a esta caracterização, tomou-se como base a classificação de pesquisa proposta por (DIEHL; TATIM, 2006), que leva em consideração a utilização dos resultados, a natureza do método, seus objetivos e os procedimentos técnicos adotados.

Quanto à utilização dos resultados, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois a análise da evolução da RBTB na produção de P&D relacionados ao biodiesel fornece dicas e informações que poderão ser utilizadas para orientar políticas, estratégias e ações voltadas para o desenvolvimento tecnológico e a inovação no setor de biodiesel no Brasil.

Com relação à natureza do método, a pesquisa fez uso de métodos qualitativos e quantitativos. A combinação desses métodos permite uma abordagem abrangente e robusta para caracterizar a evolução da RBTB, identificar colaborações, lacunas e oportunidades, além de avaliar o alinhamento com as políticas governamentais.

Por buscar explorar, descrever e compreender a evolução da RBTB na produção de P&D relacionados ao biodiesel, esta pesquisa assumiu um caráter exploratório e descritivo, pois descreveu e mapeou as atividades de P&D relacionadas ao biodiesel no Brasil, analisando a produção científica, as colaborações entre instituições, os temas de pesquisa emergentes e a interação entre universidades e indústrias. Ela forneceu também uma visão abrangente e detalhada sobre o estado atual da pesquisa em biodiesel, suas tendências e o alinhamento com as políticas governamentais.

Com relação aos procedimentos técnicos adotados, estes foram escolhidos em função dos objetivos específicos (Quadro 19) e cada um deles aborda uma parte do problema, no intuito de responder à questão de pesquisa.

Quadro 19 - Procedimentos técnicos adotados para cada objetivo específico

Objetivos Específicos	Procedimentos Técnicos
a) Descrever a trajetória do desenvolvimento tecnológico do biodiesel e como as políticas industriais e de C&T influenciaram esse desenvolvimento no Brasil.	Revisão bibliográfica, pesquisa documental
b) Analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na promoção de avanços tecnológicos para o desenvolvimento do biodiesel no Brasil.	Coleta de dados de publicações científicas em bases de dados. Aplicação da ARS e da teoria das redes complexas.
c) Identificar tópicos emergentes de pesquisas com biodiesel no Brasil e comparar se estes estão alinhados	Cruzamento dos dados obtidos da análise de coocorrência das palavras-chaves com as

com as prioridades estabelecidas no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis para o biodiesel.	diretrizes para o biodiesel do Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis.
d) Analisar a interação e colaborações entre ICTs, empresas e demais atores nas redes de P&D de biodiesel no Brasil	Aplicação da ARS de artigos e patentes

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto à estruturação da tese, o modelo adotado foi o de coletânea de artigos. A escolha desse formato é vantajosa por vários motivos. Primeiramente, ela permite explorar diferentes aspectos do tema em artigos separados, abordando cada um dos objetivos específicos da pesquisa. Isso possibilita uma análise mais detalhada de cada aspecto, bem como a utilização de diferentes metodologias e abordagens.

Além disso, a estratégia de coletânea de artigos possibilita uma maior divulgação e visibilidade dos resultados da pesquisa, pois foram submetidos e publicados em revistas científicas bem avaliadas na Qualis/CAPES, o que aumenta as chances dessas publicações atingirem diferentes públicos. Isso contribui para a disseminação do conhecimento gerado pela pesquisa, bem como para o fortalecimento do currículo acadêmico do pesquisador e orientadores.

Foram publicados quatro artigos que serviram como piloto para a definição das estratégias de pesquisa para a análise geral da RBTB, mas três foram utilizados nesta tese, a saber: (i) Estudos métricos da informação em pesquisas com gordura animal para produção de biodiesel no Brasil entre 2008 e 2019 no âmbito da *Web of Science*; (ii) *Second-generation biodiesel in Brazil: An analysis of researches on animal fat through the social and complex Networks* e; (iii) *Research on biodiesel in the National Institute of Science and Technology for Energy and Environment: An analysis through scientometry, and complex and social networks*. Todos esses artigos estão disponíveis nos Apêndices A, B e C, respectivamente.

3.1 DESENHO DE ESTUDO PARA ANÁLISE DA RBTB

O desenho metodológico que foi utilizado para analisar as redes de colaboração científica que compõem a RBTB seguiu o fluxo de trabalho proposto por Zupic; Čater (2015) para mapeamento científico.

Este método possui cinco passos: (i) definir a questão de pesquisa e escolher os métodos adequados para respondê-la; (ii) selecionar uma base de dados, filtrar o conjunto de documentos principais e exportar os dados relevantes; (iii) escolher os softwares apropriados (bibliométricos, estatísticos ou de ARS); (iv) decidir o método de visualização para apresentação dos resultados e; (v) interpretar os resultados obtidos.

Este método foi empregado com êxito na metodologia do artigo "*Research on biodiesel in the National Institute of Science and Technology for Energy and Environment: An analysis through scientometry, and complex and social networks*".

3.1.1 Passo 1: a questão de pesquisa e os métodos adequados para respondê-la

No capítulo introdutório, foi definida a seguinte questão de pesquisa: “Como as redes de colaboração científica que formam a RBTB estão estruturadas e organizadas para promover soluções que ajudem a superar os gargalos técnico-científicos que impactam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil?”

Ao projetar esse estudo, a questão mencionada guiou todo o processo de prospecção e análise dos dados, que permitiu o mapeamento científico da RBTB. Para responde-la, métodos bibliométricos e a abordagem de ARS foram utilizados.

A bibliometria possui uma ampla aplicabilidade em diferentes áreas do conhecimento, tornando-se um método complementar relevante para a abordagem de ARS (ZUPIC; ČATER, 2015). Seus indicadores para mapeamento científico fornecem informações sobre a produção, impacto, colaboração e estrutura temática dos artigos científicos (GRÁCIO et al., 2020). Diante disso, a bibliometria foi selecionada como o método apropriado para analisar e construir indicadores relacionados ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil.

Os indicadores bibliométricos adotados foram os mesmos utilizados no artigo “Estudos métricos da informação em pesquisas com gordura animal para produção de biodiesel no Brasil entre 2008 e 2019 no âmbito da Web of Science”, como mostra o Quadro 20.

Quadro 20 - Indicadores bibliométricos adotados

Indicador	Informação do Texto
Produção científica	Número total de artigos publicados sobre o tema.

Análise temporal	Avaliação da evolução da produção científica ao longo do tempo, identificando tendências e áreas de maior desenvolvimento.
Divulgação do conhecimento	Levantamento do conjunto dos principais periódicos para divulgação do conhecimento.
Áreas de pesquisa	Levantamento das principais áreas de pesquisas nas quais os artigos foram indexados
Financiamento	Identificação dos principais financiadores das pesquisas.
Coautoria	Identificação das instituições e pesquisadores mais frequentes nas colaborações científicas.
Palavras-chave	Identificação das palavras-chave mais frequentes nos artigos, revelando os principais temas e áreas de pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas análises das redes de coautoria de autores, ICTs e países, os indicadores adotados foram os mesmos utilizados nos artigos “*Research on Biodiesel in the National Institute of Science and Technology for Energy and Environment: An Analysis through Scientometry, and Complex and Social Networks*” e “*Second-generation Biodiesel in Brazil: An Analysis of Researches on Animal Fat through the Social and Complex Networks*”. O Quadro 21 apresenta uma síntese desses indicadores.

Quadro 21 - Indicadores bibliométricos adotados

Indicador	Descrição
Redes de coautoria	Análise das redes de colaboração entre autores, instituições e países, identificando os principais atores e a intensidade das colaborações, representando-as.
Centralidade de grau	Medida que identifica os autores ou instituições mais conectadas na rede com base no número de colaborações.
Centralidade de Intermediação	Medida que identifica os autores ou instituições que atuam como intermediários na rede, conectando diferentes grupos.
Centralidade de Proximidade	Medida da proximidade de um nó aos outros nós na rede, com base no comprimento dos caminhos mais curtos entre ele e os outros nós.
Coefficiente de aglomeração	Medida que indica o grau de agrupamento ou coesão entre os autores ou instituições na rede.
Análise de comunidades	Identificação de grupos de autores ou instituições altamente conectados e que compartilham interesses em comum.
Outros indicadores de rede	Grau médio, diâmetro, densidade, modularidade, coeficiente de aglomeração médio, comprimento caminho médio e componentes conectados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com esses indicadores, foi possível realizar uma análise detalhada das redes de colaboração envolvidas com o desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil, identificando padrões, influências e parcerias estratégicas na área.

Como última ação desse primeiro passo, foram estabelecidos os critérios de inclusão para a seleção dos artigos. Optou-se por trabalhar somente com artigos de pesquisas originais, publicados entre 01/01/2004 e 31/12/2023. Os metadados desses documentos deveriam estar em inglês. Além disso, os artigos deveriam ser coautorados e um dos autores precisaria estar afiliado a uma ICT brasileira.

Os critérios de seleção utilizados foram essenciais para garantir que os artigos selecionados estivessem alinhados com os objetivos da pesquisa e permitiram uma delimitação clara do escopo da pesquisa.

3.1.2 Passo 2: seleção da base de dados, filtragem dos documentos e exportação dos dados

Uma vez definidos os critérios de inclusão para a seleção da amostra, foram utilizadas as bases de dados bibliográfica *Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded)*, a *Emerging Sources Citation Index (ESCI)* e a *Social Sciences Citation Index (SSCI)*, que fazem parte da coleção principal da *Web of Science (WoS)*⁷³, uma das plataformas de pesquisa mais abrangentes e influentes no campo da ciência. Além dessas, também foram utilizadas a *Scopus*⁷⁴ e a *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*⁷⁵.

A escolha da *SCI-Expanded* fundamentou-se nos seguintes motivos: (i) cobre várias áreas do conhecimento relacionadas ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel, (ii) é conhecida por sua reputação e rigor na seleção dos periódicos, o que aumenta a probabilidade de encontrar artigos de alta qualidade e relevância e; (iii) registra um conjunto de métricas de impacto que podem fornecer uma visão sobre a influência e o reconhecimento dos estudos (LEYDESDORFF; CARLEY; RAFOLS, 2013).

A *ESCI* e a *SSCI* foram utilizadas de forma complementar. A primeira permite o acesso a periódicos emergentes, permitindo o acompanhamento de novas áreas de pesquisa. A segunda contempla a área das ciências sociais, que aborda aspectos relevantes para a pesquisa.

As outras bases incluídas foram a *Scopus* e a *SciELO*. A *Scopus* foi incluída por ser a maior base de dados multidisciplinar de resumos e citações de literatura revisada por pares, além de ter uma ampla representação da produção científica na América Latina. Já a *SciELO* foi incluída por ser uma base de acesso aberto que abrange uma coleção multidisciplinar de

⁷³ Até junho de 2023, a *WOS* era mantida pela *Clarivate Analytics*, uma empresa de análise de dados e informações sediada nos Estados Unidos. Base de dados privada.

⁷⁴ A *Scopus* também é uma base de dados privada, sendo um dos serviços da *RELX Group plc* (Elsevier).

⁷⁵ Surgiu a partir de um projeto de pesquisa da FAPESP, em parceria com o Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde (BIREME) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Base de dados pública.

periódicos científicos brasileiros, incluindo as áreas de engenharia, química, energia, sustentabilidade, etc.

Uma vez definidas as bases de dados, passou-se para a prospecção e exportação dos metadados dos artigos. Para isso, foi utilizado o termo “biodiesel”, junto com diferentes variações, como: "bio diesel", "bio-diesel", "biodieseis", "biodieseles", "biodiesels", "bio diesels" e "bio-diesels". O objetivo foi garantir a prospecção do maior número possível de artigos, mesmo que houvesse variações na forma como o termo estava escrito ou grafado.

Os termos foram organizados em *strings* específicas para cada base. Na *WoS*: TS=(biodiesel or "bio diesel" or "bio-diesel" or biodieseis or biodieseles or biodiesels or "bio diesels" or "bio-diesels") AND CU=(Brazil). Na *Scopus*: TITLE-ABS-KEY (biodiesel OR "bio diesel" OR "bio-diesel" OR biodieseis OR biodieseles OR biodiesels OR "bio diesels" OR "bio-diesels") AND AFFILCOUNTRY (Brazil). Como a *SciELO* está inserida dentro da *WoS*, repetiu-se a primeira *string*.

As buscas nas bases resultaram na prospecção bruta de 9.625 artigos relacionados à produção e uso de biodiesel no Brasil. Na *Wos*, foram encontrados 4.724 artigos, na *Scopus*, 4.266 artigos e na *SciELO*, 635 artigos. Todos os registros com os metadados dos artigos foram exportados em formato *.csv* (*Comma-Separated Values*).

3.1.3 Passo 3: análise de dados

Esse passo teve início com o pré-processamento dos dados, sendo esta etapa um dos passos mais importantes para criação e análise de redes científicas, pois os dados coletados nas bases de dados bibliográficas geralmente contêm erros (COBO et al., 2011).

Partindo dessa premissa, os 9.625 registros coletados nas três bases foram analisados no *MS Excel* para remoção das duplicatas e seleção daqueles que se enquadravam nos critérios de inclusão descritos no Passo 1. Chegou-se então a uma amostra de 3.788 artigos de pesquisa original, sendo: 3.389 artigos da *WoS*, 350 artigos da *Scopus* e 49 artigos da *SciELO*.

Trata-se de uma amostra robusta e representativa da produção científica brasileira sobre biodiesel, o que permitiu uma análise aprofundada das redes de colaboração científica que formam a RBTB.

Após a seleção da amostra de 3788 artigos, os dados foram exportados para o *OpenRefine* (<https://openrefine.org>), uma ferramenta de código aberto para análise e limpeza

de dados. Nesta etapa, foram realizadas diversas atividades de normalização, limpeza e correção de erros para garantir a qualidade dos dados.

Em primeiro lugar, foram identificadas e corrigidas inconsistências nos campos de autores e instituições, como variações na grafia dos nomes e erros de digitação. Em seguida, foram padronizados os nomes das instituições, autores e palavras-chave, utilizando técnicas de clusterização baseadas em distância, facetamento e refinamento⁷⁶. Essas técnicas foram cruciais para contornar um dos maiores desafios para organizar os registros da amostra: a desambiguação de nomes.

A clusterização agrupa registros com base na proximidade dos valores. As técnicas utilizadas são baseadas em algoritmos de similaridade, que identificam e agrupam nomes semelhantes, mesmo que haja pequenas variações na escrita ou na ordem. Já o facetamento foi utilizado para visualizar os clusters e verificar se ainda havia agrupamentos que poderiam ser combinados de forma mais precisa. Por fim, foi realizado um refinamento manual, combinando os nomes, conforme necessário para obter agrupamentos mais precisos.

Um exemplo da aplicação dessas técnicas pode ser dado pelo nome da pesquisadora Simoni Margareti Plentz Meneghetti. Durante a etapa de padronização, o nome dela foi encontrado de diferentes formas nos registros: MENEGHETTI, S. M. P.; Meneghetti, Simoni M. P.; Meneghetti, Simoni M. Plentz; Meneghetti, S.M.P.; Meneghetti, Simoni M.P.; Plentz Meneghetti, Simoni M.; MENEGHETTI, SIMONI MARGARETI PLENTZ; Simoni M. P. Meneguetti; MENEGUETTI, SIMONI M. P.; PLENTZ MENEGHETTI, SIMONI; MENEGHETTI, SIMONI; M. PLENTZ MENEGHETTI, SIMONI; PLENTZ MENEGHETTI, SIMONI MARGARETI; MARGARETI PLENTZ MENEGHETTI, SIMONI; M. P. MENEGHETTI, SIMONI. Por meio das três técnicas, foi possível agrupar e padronizar essas variações para um único nome, garantindo assim a precisão dos dados.

Contudo, a forma como alguns autores representaram seus nomes nas publicações dificultou sua correta identificação, tendo que ser excluídos, mas isso não comprometeu o resultado da pesquisa.

Em relação às palavras-chave, foram utilizadas técnicas de clusterização para padronizar e agrupar os termos semelhantes, como plurais e sinônimos e, algumas palavras foram categorizadas. Para isso, foi utilizado um dicionário de termos de biodiesel (DAHIYA, 2020).

⁷⁶ O ID - ORCID (<https://orcid.org/>) e o número de registro único para autores da *WoS* foram utilizados para auxiliar na desambiguação e deduplicação dos nomes dos autores.

Uma vez finalizado todo o processo de limpeza e padronização, um novo arquivo *.csv* foi gerado, seguindo um modelo adaptado da estrutura adotada pelo *Institute for Scientific Information* (ISI).

A maioria dos campos presentes no formato ISI foi mantida, resultando na seguinte ordem de colunas: ID (código de identificação do registro), PY (ano de publicação), TI (título do artigo), AF (nome completo do autor), C1 (instituição dos autores e endereço da mesma), SO (nome da revista), DOI (identificação do artigo), DE (palavra-chave do autor), AB (resumo), FN (financiamento) e RS (áreas de pesquisas). Essa organização permitiu a compatibilidade do arquivo dos 3.788 registros com softwares de análise bibliométrica que utilizam o formato ISI, como o *VOSviewer*.

Esse software foi desenvolvido especificamente para construção e visualização de redes de coautoria, coocorrência, citação, cocitação e acoplamento bibliográfico. O software utiliza a técnica de posicionamento VOS para gerar redes bidimensionais, onde os nós da rede são posicionados de tal forma que a distância entre qualquer par de nós reflete seu grau de similaridade. Além disso, o *VOSviewer* possui uma técnica avançada de layout que permite a detecção de comunidades e pode ser aperfeiçoada por meio de parâmetros disponíveis, permitindo a redução de dados para selecionar as informações relevantes e aceitando dicionário de sinônimos ou tesouro (VAN ECK; WALTMAN, 2010, 2014),

Os arquivos *.txt* gerados com os resultados obtidos no *VOSviewer* foram exportados para o *Gephi* (<https://gephi.org>), um software de visualização e análise de redes, que permite explorar e analisar grandes conjuntos de dados e oferece recursos avançados para visualização interativa, detecção de comunidades, cálculos de métricas de rede e análise estatística. Nesta tese, ele foi utilizado para os cálculos das métricas das redes obtidas. Também foi utilizado o software *Pajek* (<http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek>) para calcular as propriedades das redes.

3.1.4 Passo 4: criação das redes (visualização)

O *VOSviewer* foi utilizado na criação dos mapas de coautoria e coocorrência. Esses mapas ajudaram a revelar a densidade das colaborações, identificar pesquisadores e ICTs estratégicas e mostrar a evolução da RBTB ao longo do tempo. Como mencionado anteriormente, os resultados obtidos neste software foram combinados com o *Gephi*, obtendo

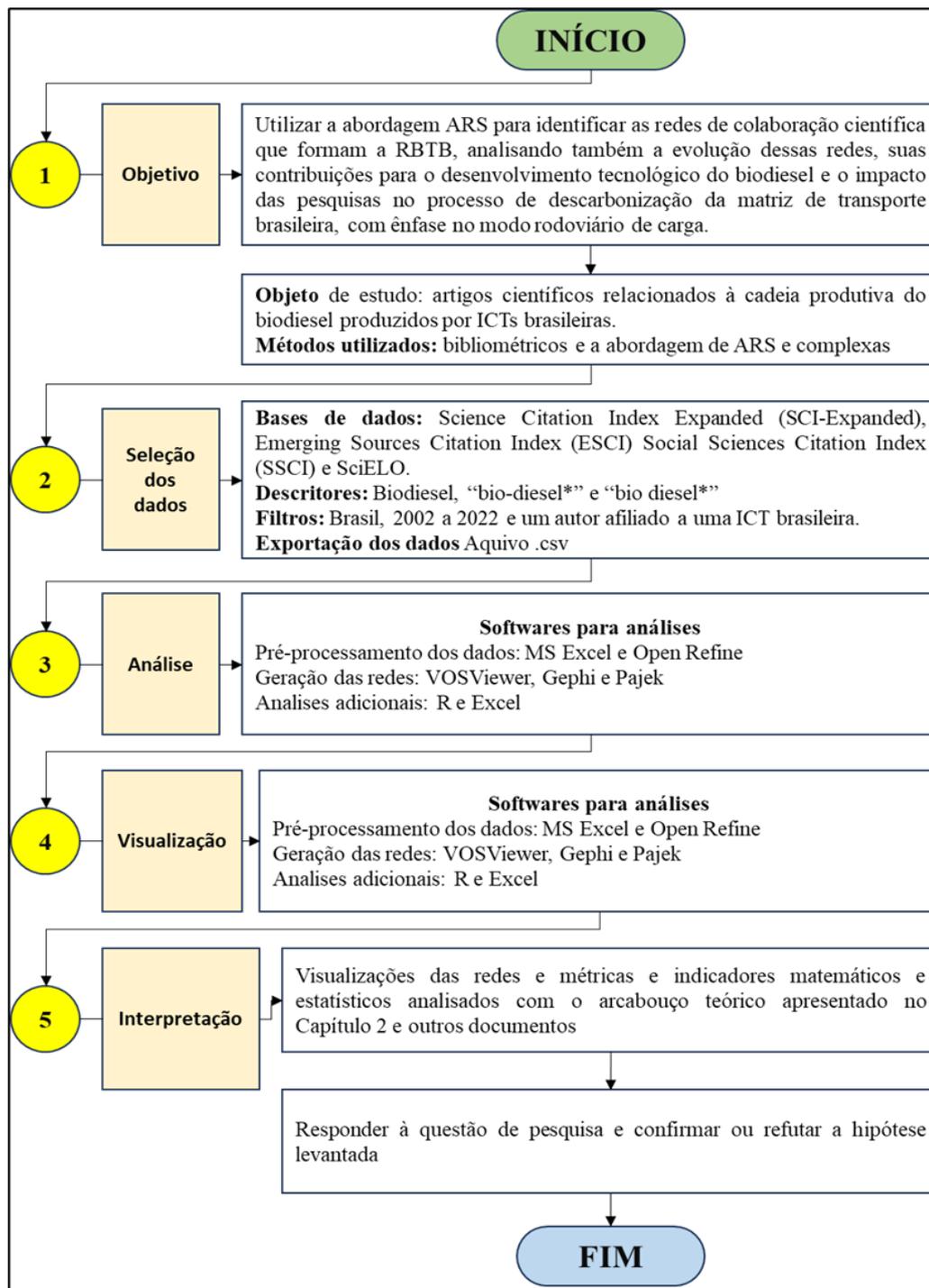
assim a melhor visualização da estrutura de colaboração científica na RBTB e sua evolução ao longo do tempo.

3.1.5 Passo 5: Interpretação

Todo material obtido com o uso dos softwares foi analisado em conjunto com o arcabouço teórico apresentado no Capítulo 2 e documentos relevantes para tese, como o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis e a Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel. Essa análise permitiu identificar as principais tendências e padrões de colaboração científica na área de biodiesel no Brasil, bem como responder os objetivos geral e específico, bem como a questão de pesquisa.

O Figura 30 apresenta uma síntese de todos os cinco passos para mapeamento científico adaptados de (ZUPIC; ČATER, 2015) que formaram o desenho metodológico desta pesquisa e que foram seguidos de forma sistemática.

Figura 30 - Fluxo de trabalho proposto para análise das redes de colaboração científica que compõem a RBTB



Fonte elaborado pelo autor a partir de dados de Zupic; Čater (2015)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1 O PNPB NO CONTEXTO DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS E A RBTB

Como visto na subseção 2.2.5, a primeira tentativa de estruturar uma política pública e uma rede de pesquisa voltadas para P&D, transferência de tecnologia e inovação do biodiesel ocorreu em 2002 com o Probiodiesel, mas se materializou no Governo Lula.

Com a chegada do novo governo ao poder, um novo modelo de desenvolvimento pautado na manutenção da estabilidade econômica, na redução da pobreza, da desigualdade social e na retomada do crescimento do país foi implementado (PEDROTI, 2013), resultando em várias ações estratégicas como o PNPB e a PITCE.

4.1.1 O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto da PITCE (2004 a 2007)

A PITCE marcou a retomada da política industrial após um hiato de 20 anos e ocorreu num momento em que o país ocupava a 14ª posição no ranking das maiores economias do mundo. Com forte viés neoschumpeteriano⁷⁷, a PITCE rompeu com um modelo de política industrial orientada para o aumento da planta produtiva nacional e adotou a inovação como elemento central para levar o país ao aumento da eficiência econômica e ao almejado emparelhamento tecnológico (*catching-up*) com países desenvolvidos (BRASIL, 2003; SALERNO; DAHER, 2006; STEIN; HERRLEIN JÚNIOR, 2016; TONI, 2015).

Isso fica claro nos objetivos traçados para a PITCE: ampliar a eficiência da estrutura produtiva, estimular a capacidade de inovação, expandir as exportações e produzir bem-estar para a sociedade por meio da criação de empregos e elevação da renda (TANURE; PORSSE; DOMINGUES, 2021; TONI, 2015).

⁷⁷ Termo derivado do nome do economista austríaco Joseph Alois Schumpeter (1883-1950), Schumpeter foi um dos primeiros economistas a considerar as inovações tecnológicas como um motor para o desenvolvimento capitalista. Informações adicionais sobre os Instrumentos de uma política industrial sob a ótica neoschumpeteriana podem ser encontradas em (STEIN; HERRLEIN JÚNIOR, 2016)

No âmbito da PITCE, foi aprovada a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) e a Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005), que viabilizaram incentivos de P&D semelhantes aos utilizados pelos países avançados, como: subvenção econômica para cobertura de despesas de custeio de projetos PD&I de produtos e processos de alto risco tecnológico nas empresas (FINEP); subsídios para a fixação de pesquisadores nas empresas (CNPq) e; programas de financiamento à inovação de capital empreendedor (FINEP e BNDES). Além disso, essas leis ofereceram um arcabouço mais propício à interação universidade-empresa (ARBIX, 2017).

No geral, a PITCE foi altamente seletiva ao eleger setores industriais considerados estratégicos - tecnologias de informação e comunicação, semicondutores, fármacos e software, e visionária ao estimular o incremento em atividades denominadas de portadoras de futuro - biotecnologia, nanotecnologia, energia renovável e biocombustíveis (álcool, biodiesel) e outras. No caso das atividades portadoras de futuro, elas poderiam gerar oportunidades industriais promissoras e com altas taxas de inovação no futuro, mas investimentos em pesquisa eram necessários (BRASIL, 2003; TANURE; PORSSE; DOMINGUES, 2021).

O MCT, que acabara de lançar a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCT&I⁷⁸ para o período de 2003 a 2006, assumiu a responsabilidade pela promoção da inovação nos marcos das diretrizes da PITCE. Para esse propósito, novos formatos de financiamento foram utilizados por suas agências de fomento, especialmente a FINEP, uma das executoras da PITCE. Entre 2006-2008, a FINEP disponibilizou R\$510 milhões, sendo R\$300 milhões para projetos de empresas nacionais para o desenvolvimento de produtos e processos nos temas contemplados pela PITCE (LAPLANE; CASSIOLATTO; LASTRES, 2007).

Além do apoio financeiro, o MCT ficou responsável pelo suporte às áreas portadoras de futuro e monitoramento de atividades de P&D que pudessem levar a criação de programas prioritários de governo a serem implantados no futuro (MCT, 2006). Essas ações mostram o papel estratégico que o Estado assume como agente indutor para a promoção de novos mercados e da importância do investimento em PD&I.

Entre os programas prioritários das áreas portadoras de futuro sob responsabilidade do MCT no PPA 2004-2007, estava a ação 10RJ do programa “Ciência e Tecnologia para Inclusão

⁷⁸ O PNCT&I veio para modernizar o SNCTI, expandir a base científica e tecnológica nacional e construir um ambiente inovativo favorável no país. Contou com a participação de outros ministérios na sua elaboração, sendo este uma característica neoschumpeteriana na gestão de políticas científicas, tecnológicas e de inovação (STEIN; HERRLEIN JÚNIOR, 2016). O PNCT&I foi estruturada em um eixo horizontal voltado à expansão, consolidação e Integração do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e três eixos verticais, a saber: política industrial, tecnológica e de comércio exterior, objetivos estratégicos nacionais e ciência, tecnologia e inovação para a inclusão e o desenvolvimento social (LAPLANE; CASSIOLATTO; LASTRES, 2007).

Social”, voltada ao fomento à P&D de projetos para viabilizar a produção e o uso de biodiesel no valor de R\$15 milhões (BRASIL, 2020).

Essa ação visava a difusão do módulo de desenvolvimento tecnológico nos Estados para que estes criassem suas bases de conhecimento de acordo com suas respectivas vocações, o que foi feito com a aprovação de projetos de P&D junto à Finep. A ação visava também a (re)estruturação e operação da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel (RBTB) com a participação de ICTs de todo o país (CEIB, 2006; MENEZES, 2016).

Na concepção do PNPB, os ICTs possuíam um papel fundamental ao gerar a tecnologia necessária para superação de gargalos existentes na cadeia produtiva desse biocombustível. Dessa forma, a RBTB foi (re)estruturada e estimulou a criação de diversos grupos de pesquisa com a missão de conduzir projetos de ordem científica e/ou tecnológicas que levassem a registros de patentes, trabalhos acadêmicos dedicados ao biodiesel e uma maior interação entre a academia e o setor produtivo, evitando a repetição de esforços e otimizando a aplicação de recursos.

Os esforços para essa (re)estruturação começaram com uma série de convênios firmados entre o SETEC/MCT e os governos estaduais nos anos de 2003 e 2004, o que permitiu o mapeamento da competência instalada no país - pessoas envolvidas na área e pesquisas desenvolvidas - servindo como base para a composição posterior da RBTB.

No primeiro ano, foram firmados convênios com as FAPs dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Piauí, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, além da UnB⁷⁹. No ano seguinte, foram fechadas parcerias com as FAPs dos Estados do Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e São Paulo. Os Estados de Roraima, Rondônia, Tocantins, Distrito Federal e Santa Catarina permaneceram de fora da teia de convênios nesta etapa (CEIB, 2006; RODRIGUES, 2008).

Ainda em 2004, o SETEC/MCT lançou o projeto “Implantação e Consolidação da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel”, executado pela Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica e Inovação (ABIPTI) com objetivo de estruturar um plano de ação para mitigar os principais gargalos tecnológicos do programa (MENEZES; MEDEIROS; NERI, 2006; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). O projeto foi financiado por meio de uma Encomenda Finep - Ação Transversal 2004 no valor total de R\$499,9 mil. Outros R\$628 mil foram pagos

⁷⁹ A UNB participou do programa por meio de um projeto específico desenvolvido em conjunto com a Embrapa envolvendo craqueamento.

à ABIPTI, por meio de convênio firmado com o MCT no final de 2005 (AZEVEDO, 2010; FINEP, 2004a).

A participação da ABIPTI na implementação da RBTB se justifica, pois ela reunia à época do lançamento do PNPB, cerca de 168 associados entre entidades públicas e privadas de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico, distribuídas nas cinco regiões e 27 unidades da Federação. Grande parte dos associados desenvolviam pesquisas - direta ou indiretamente - relacionadas com a cadeia de produção de biodiesel, isso sem falar das instituições que tinham interesse em desenvolver atividades relacionadas ao tema. Essa participação durou até dezembro de 2007, sendo substituída por um comitê técnico científico do próprio MCT (GUSMÃO, 2005; MENEZES; MEDEIROS; NERI, 2006).

A primeira ação da ABIPTI foi a participação no “2º Workshop Brasil-Alemanha sobre Biodiesel”, realizado em Berlim, na Alemanha, no final de novembro de 2004 com o objetivo de atualizar seus técnicos no que diz respeito ao estado da arte sobre biodiesel, realizar visitas técnicas às indústrias produtoras de biocombustível e estabelecer contatos com instituições alemãs. A próxima etapa foi envolver todas as entidades associadas, interessadas e ligadas ao tema para discutir mecanismos e ações de consolidação e fortalecimento da futura rede de pesquisa (MEDEIROS; ALENCAR, 2004).

A RBTB foi oficialmente lançada durante sua 1ª Reunião Geral entre os dias 29 e 30 de março de 2005⁸⁰, em Brasília (DF) com a participação de mais de 50 ICTs e representantes do Poder Público Federal e de 20 Estados. Estes últimos, apresentaram projetos que serviram de base para o desenvolvimento da rede no decorrer de 2005 (CEIB, 2006).

Foi nesta reunião que a RBTB ganhou seus contornos operacionais e se tornou a ponta visível das obrigações do MCT no contexto maior do PNPB, tendo como objetivos:

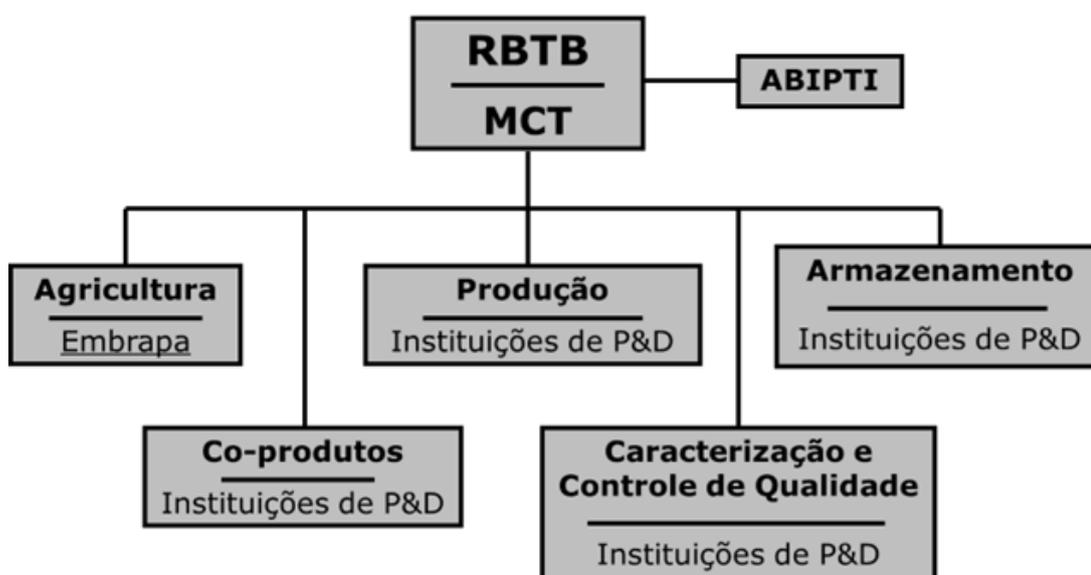
- A consolidação de um sistema gerencial de articulação dos diversos atores envolvidos na pesquisa, no desenvolvimento e na produção de biodiesel, permitindo assim a convergência de esforços e otimização de investimentos públicos;
- A identificação e eliminação de gargalos tecnológicos que venham a surgir durante a evolução do PNPB, o que será feito por meio de constante pesquisa e desenvolvimento tecnológico realizados no âmbito de parcerias entre instituições de P&D e o setor produtivo (MME, 2021b).

⁸⁰ Neste mesmo evento foi inaugurado o Portal do Biodiesel (www.biodiesel.gov.br) que buscava oferecer espaço ágil para troca de experiências e informações e esclarecimento de dúvidas entre institutos de pesquisa, universidades, empresas privadas, associações de agricultores, pesquisadores, técnicos, organizações não-governamentais e interessados em geral Implantação. Atualmente, esse portal foi descontinuado.

A construção do plano de ação da RBTB se deu por meio da realização de cinco seminários temáticos e reuniões de planejamento ao longo de 2005 (CEIB, 2006) e sua estrutura organizacional foi formada por cinco subredes temáticas (Figura 31) para cobrir todos os postos-chave da cadeia produtiva do biodiesel (JÚDICE, 2005).

Cada subrede ajudou na definição de critérios das encomendas e/ou editais de projetos de pesquisa desenvolvidos no interior da rede, ou seja, os próprios especialistas definiram como seriam empregados os recursos voltados às pesquisas em suas respectivas áreas.

Figura 31 - Organograma da RBTB



Fonte: Júdice (2005)

Assim como ocorreu nos estudos pioneiros do INT na década de 1920 e do Prof. Expedito Parente na década de 1970, o debate sobre o aproveitamento de matérias-primas nacionais tinha uma grande relevância na RBTB. Nesse contexto, a Embrapa, uma empresa pública de pesquisa vinculada ao MAPA, passou a coordenar as ações da subrede temática voltada à Agricultura no intuito de otimizar as matérias-primas atuais e potenciais do país para a produção de biodiesel, além do aproveitamento de seus resíduos para a obtenção de coprodutos.

Essas ações foram acentuadas com a criação da Embrapa Agroenergia em 2006, que priorizou a cadeia de produção de biodiesel como um dos temas mais relevantes de suas pesquisas para alavancar a agroenergia no país. Os trabalhos Embrapa Agroenergia foram realizados também em unidades descentralizadas da instituição como a Embrapa Cerrados, a

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, além de parcerias com outras ICTs (SOUZA JÚNIOR et al., 2017).

O Quadro 22 traz as ações relacionadas a cada uma das subredes temáticas, bem como as ICTs envolvidas na coordenação de cada uma delas durante o projeto de implementação da RBTB em 2005. Essas subredes ainda estão em vigor (MME, 2021b) e temas relacionados ao uso do biodiesel e políticas públicas e desenvolvimento sustentável são abordados de forma transversal por elas.

Quadro 22 - Subredes temáticas da RBTB

Subrede	Coordenação	Filiação	Ações
Agricultura	Décio Luiz Gazzoni	Embrapa	Sistemas de produção e obtenção de matérias primas graxas; zoneamento pedoclimático; variedades vegetais oleaginosas, gorduras animais, óleos e gorduras residuais (OGR), microorganismos e algas; economia e modelagem de sistemas; colheita, pós colheita, processamento e transformação.
Produção	Paulo Suarez Rosenira Serpa Simoni Meneghetti	UNB UESC UFAL	Estudo, desenvolvimento e otimização de tecnologias para produção de biodiesel em escala laboratorial, piloto e comercial; adequação do processo de produção de biodiesel às produções locais de matéria prima, de forma a garantir a qualidade e a economicidade dos processos.
Armazenamento	Ántônio G. de Souza Eduardo Cavalcanti Ledjane Barreto	UFPB INPI UFS	Estudos de estabilidade, formas de armazenamento do biodiesel e das misturas biodiesel/diesel; propriedades de fluxo; avaliação e desenvolvimento de aditivos; vida de prateleira; avaliação das condições ideais de acondicionamento do produto; monitoramento e controle dos processos de degradação e de corrosão de biodiesel e misturas.
Caracterização e Controle de Qualidade	Álvaro Barreto Bill Costa Nelson Antoniosi	INT TECPAR UFG	Caracterização das matérias primas, do biodiesel puro e de misturas biodiesel/diesel, assim como o desenvolvimento de metodologias para análise e controle de qualidade, materiais de referência, visando maior praticidade e economicidade.
Coprodutos	Cláudio Mota Luiz Pereira Ramos Sérgio Peres	UFRJ UFPR UPE	Estudos quanto ao destino e uso de coprodutos, resíduos e rejeitos dos processos de obtenção de matéria prima, extração do óleo e produção do biodiesel (glicerina, torta, farelo etc.), visando garantir agregação de valor e sustentabilidade à cadeia produtiva do biodiesel.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CEIB (2006); Menezes (2016); MME (2021b)

Dentre os resultados esperados no plano de ação das subredes temáticas, destacam-se:

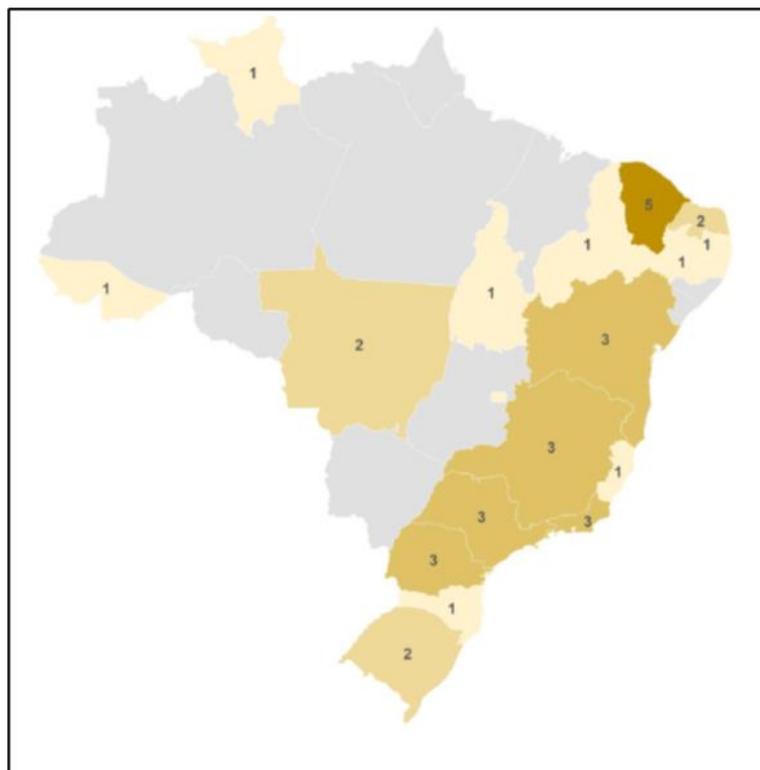
- Domínio da cultura de novas oleaginosas que possibilitasse a redução do custo de produção do biodiesel;
- Maior produtividade e economicidade das unidades de processamento, com foco em: rota etílica, produção contínua, purificação de biodiesel e teste de novos catalisadores;

- Definição de “melhores práticas” para condições de armazenamento e manutenção da estabilidade do biodiesel, incluindo a identificação ou desenvolvimento de aditivos;
- Novas aplicações da glicerina: aditivos oxigenados, uso energético e como plastificante;
- Uso energético da torta e farelo;
- Detoxicação e desalergenização da torta da mamona;
- Apoio ao desenvolvimento de normas, métodos, padrões, etc.

Para isso, R\$20 milhões do Fundos Setoriais (CT-Energia e CT-Petro) foram alocados para que as ICTs contassem com estrutura de laboratório e de recursos humanos. As plantas piloto também foram instaladas em universidades e empresas para treinar mão-de-obra para o atendimento das demandas da nascente indústria nacional de biodiesel (CEIB, 2006).

No final de 2007, havia 35 plantas pilotos com diferentes capacidades de produção instaladas em todas as regiões do país, com destaque para a Região Nordeste com 13 plantas (37,14%) (SEBRAE, 2007), o que corrobora com a ideia do interesse e da urgência que o governo tinha em alavancar a produção do biodiesel de mamona nesta região. A Figura 25 mostra a relação de plantas piloto de biodiesel em universidades e outras ICTs em 2007.

Figura 32 - Relação de plantas piloto de biodiesel em universidades 2007



Fonte: Adaptado de SEBRAE (2007)

Também como parte do projeto para consolidar a RBTB, o MCT criou o Congresso RBTB, um evento técnico-científico e sem fins lucrativos. Tratou-se do principal fórum de discussão das ações PD&I na cadeia de produção e uso de biodiesel, no intuito de criar um ciclo

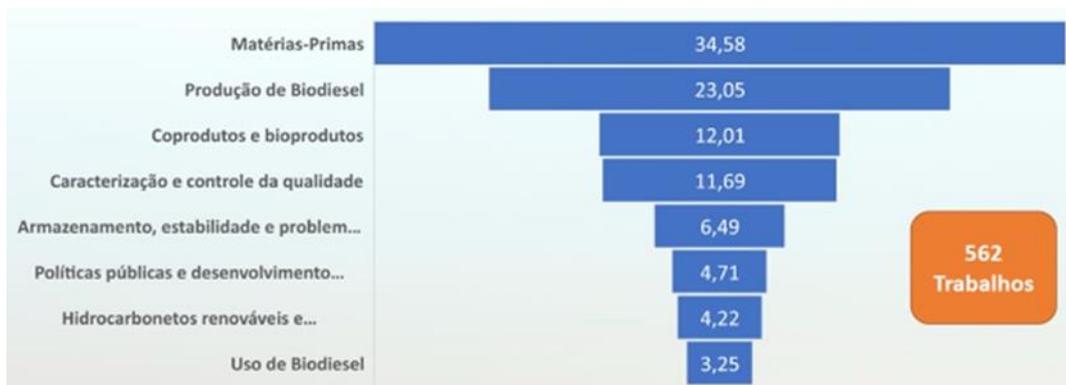
de produção de conhecimento e estabelecer uma ponte entre as ICTs, pesquisadores e o setor produtivo.

Esse evento, que está na sua 7ª edição, possui uma abordagem multidisciplinar, envolvendo diferentes áreas do conhecimento, com destaque para as engenharias (química, mecânica e produção) e química. As três primeiras edições foram realizadas em Brasília/DF (2006, 2007 e 2009), seguido por Belo Horizonte/MG (2010), Salvador/BA (2012), Natal/RN (2016) e Florianópolis/SC (2019). O aumento da periodicidade entre os encontros teve a intenção de aumentar a qualidade e valorizar a inovação no setor (RODRIGUES, 2019).

Na primeira edição, 126 trabalhos foram apresentados e esse número aumentava a cada edição (DUARTE, 2012), alcançando 562 trabalhos apresentados em oito áreas na 7ª edição, um aumento de 346%, um indicador que a RBTB permanece ativa e produzindo (LAVIOLA; MENEZES, 2019). No geral, mais de mais de 3.500 trabalhos técnicos-científicos já foram apresentados (RODRIGUES, 2019).

Com o sucesso em termos de divulgação científica e tecnológica, o Congresso da RBTB virou uma vitrine para instituições e pesquisadores dispostos a solucionar velhos problemas da cadeia produtiva do biodiesel, em especial aspectos ligados à matéria-prima que responde por mais de 70% do custo de produção desse biocombustível. Assuntos ligados a essa temática responderam por quase 35% dos trabalhos apresentados no último congresso, como mostra Figura 33.

Figura 33 - Perfil das Publicações Técnico Científicas do VII Congresso do RBTB (%)



Fonte: Laviola; Menezes (2019)

Embora considerada uma ação bem-sucedida, a RBTB passou por percalços como a saída de membros da SETEC/MCT em 2007, levando a retração da rede e ocasionando

problemas coordenação, que poderia levar à duplicidade de projetos, isolamento de resultados e falta de compartilhamento de informações estratégicas, impedindo a correção de problemas ou identificação de oportunidades (RODRIGUES, 2019).

Outro problema diz respeito à formalização da RBTB, ou seja, ela não possui uma identidade jurídica instituída por portaria ministerial como ocorreu na primeira tentativa de criar esse tipo de rede no Probiodiesel. A não formalização da RBTB fez com que ela fosse vista como uma rede social de pesquisadores, apesar de receber recursos do Estado (MARTINS, 2010).

Sua institucionalização continua sendo um dos pleitos da comunidade científica, pois poderia melhorar a coordenação e o gerenciamento das informações necessárias para tomada de decisão entre a coordenação geral da RBTB, as ICTs e o governo.

Apesar desses percalços, a RBTB avançou na sua missão de desenvolver as bases tecnológicas para a produção de biodiesel, tornando-se no ecossistema de C&T do Brasil um raro exemplo, quando não inédito, de um fórum científico organicamente vinculado a uma política pública como o PNPB (RODRIGUES, 2008; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Ao analisar os editais de chamada pública do CNPq e da Finep, observou-se que, entre 2004 e 2007 foram lançados dois editais de chamada pública MCT/Finep no valor total de R\$8 milhões direcionados exclusivamente para o biodiesel e outros dois editais de chamada pública MCT/CNPq voltados para biocombustíveis (etanol e biodiesel) no valor de R\$22 milhões (FINEP, 2022).

Enquanto o primeiro edital envolvia a formação de recursos humanos em atividades de PD&I na cadeia produtiva do etanol e do biodiesel, o segundo estava direcionado para a competitividade nacional e internacional da bioenergia com ênfase em biocombustíveis (FINEP, 2022). O Quadro 23 detalha os editais de pesquisa FINEP e CNPq voltados para biodiesel no período da PITCE.

Quadro 23 - Editais de pesquisa FINEP e CNPq voltados para biodiesel no período da PITCE

Editais	Valor (em milhões)	Linhas de pesquisa e recursos estimados (em milhões)	ICTs e número de projetos contemplados
MCT/FINEP 11/2005	R\$ 2,00	Fomento ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no âmbito do PNPB	Embrapa (1), UFLA (1), FAURG (1), FPF (1), UESC (1)
MCT/FINEP 10/2006	R\$ 6,00	Apoio a processos de obtenção de biodiesel por diferentes rotas e processo de purificação de biodiesel e seus efluentes.	APC (1), UFAL (1), UFC (1), UFMS (1), FAURG (1), UNICAP (1), UFRJ (1), ITP/SE (1), UNISC

			(1), UFPE (1), IME (1), UFMT (1), UFPR (1)
MCT/CNPq Nº 31/2007	R\$ 5,00	Apoio a realização de cursos sequenciais ou de extensão tecnológica – R\$ 2,5	18 ICTs e 19 projetos
		Apoio a projetos voltados para o desenvolvimento tecnológico – R\$ 2,5	16 ICTs e 21 projetos
MCT/CNPq Nº 39/2007	R\$ 17,00	Tecnologias de Vanguarda para a Produção de Etanol e Biodiesel – R\$ 17,00	29 ICTs e 46 projetos

Fonte: FINEP (2022)

Neste mesmo período, houve o lançamento de dois editais para Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação para os anos de 2006 e 2007, onde 10 empresas foram contempladas (FINEP, 2022). As ações direcionadas ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel foram elencadas no Quadro 24.

Quadro 24 - Projetos relacionados ao biodiesel aprovados pela Finep na modalidade de subvenção econômica

Editais	Temas priorizados para o biodiesel	Nº de projetos contemplados	Valor Finep (R\$ milhões)
01/2006	<ul style="list-style-type: none"> ● Equipamentos ou sistemas para ganho de produtividade e competitividade na produção de biodiesel via rota etílica. ● Desenvolvimento de novos processos e produtos para aproveitamento dos coprodutos (glicerina, torta, farelo etc.) obtidos na produção do biodiesel em pequena, média ou grande escala. 	2	não informado
01/2007	Tecnologias para armazenamento de biodiesel	8	R\$ 7,41

Fonte: FINEP (2022)

Por fim, devido à falta de uma política industrial por parte do governo federal no período que antecedeu a PITCE, alguns estados lançaram políticas de incentivo industrial. Um exemplo relevante foi o programa Desenvolve, implementado em 2001 pelo Estado da Bahia, que oferecia desoneração do ICMS na compra de bens, visando diversificar a indústria e a agroindústria local. Com o lançamento do PNPB, essa política foi utilizada para atrair usinas de biodiesel, no entanto, não alcançou o resultado desejado. Ademais, A base científica e tecnológica voltada ao biodiesel no Estado estava em formação com a estruturação da RBB, o que reduzia sua capacidade de influenciar os processos decisórios voltados para o

desenvolvimento econômico social (SILVA et al., 2015; SILVA; FERNANDES; SANTOS, 2011).

4.1.2 O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto da PDP

Do lançamento do PNPB à (re)estruturação da RBTB (2005-2007), os marcos legal e regulatório do biodiesel foram concluídos, a adição do B2 tornou-se obrigatória e a capacidade de produção superou a demanda doméstica. Contudo, desafios ligados à continuidade do aumento da mistura obrigatória com viabilidade econômica, inserção da agricultura familiar do Norte e Nordeste no PNPB, desenvolvimento de novas tecnologias nacionais e crescente cobrança por sustentabilidade ambiental ainda exigiam a promoção da inovação a partir da base de conhecimento acumulada pela RBTB.

Tal ação encontrou respaldo no Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007 – 2010 (PACTI), um instrumento de orientação das ações do Estado para essas atividades, que delineava programas e direcionava recursos dentro de uma abordagem sistêmica e estratégica. O PACTI foi dividido em 4 prioridades estratégicas, expressa em 21 linhas de ação e 87 programas e tinha uma forte articulação com a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), segunda política industrial do Governo Lula (MCT, 2010).

A PDP foi lançada em 2008 com metas previstas para 2010 e teve como objetivo dar sustentabilidade à expansão da economia do país, que estava vivendo um momento conjuntural positivo com expansão da produção industrial, ampliação do consumo e melhoria na distribuição de renda. A PDP manteve a intenção da PITCE de projetar ciência, tecnologia e inovação como um dos eixos estruturantes do crescimento e consolidação da liderança do país em setores que já gozavam de vantagens comparativas (e.g. bioetanol) ou necessitavam fortalecer sua competitividade (e.g. biodiesel), mantendo assim um viés neoschumpeteriano da política industrial (IEDI, 2008).

Importante ressaltar que a PDP e o PACTI foram lançados em meio à crise financeira de 2007–2008, podendo ser considerados políticas de caráter anticíclicas. Neste contexto, a execução financeira da Prioridade Estratégica III do PACTI na ordem de R\$3,0 bilhões entre 2007 e 2009, proporcionou avanços em seus 59 programas, entre os quais o Programa de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel. Esse programa recebeu investimentos de R\$67 milhões no período supracitado, o que possibilitou a consolidação da RBTB e avanços das

pesquisas para além do objetivo de aumento da produtividade biocombustível (MCT, 2010; MENEZES, 2011).

Já a PDP previa investimentos de mais de R\$231 bilhões por meio de renúncia fiscal para 25 setores industriais e de serviços. O objetivo era estimular os setores competitivos e aqueles que necessitavam fortalecer sua competitividade, o que era o caso setor de biodiesel. A meta elencada para esse setor e seus principais desafios a serem superados podem ser vistos no Quadro 25.

Quadro 25 - Meta para a indústria do biodiesel no PDP

Meta	Objetivos	Desafios	Gestão do Programa
Produção de 3,3 bilhões de litros de biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> ● ampliar a demanda do biodiesel no mercado interno ● Fortalecer a agricultura familiar ● Estimular aproveitamento de potencialidades regionais 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ampliar a mistura obrigatória do biodiesel ao diesel com viabilidade econômica ● Ampliar a produtividade da cadeia produtiva com a inserção da agricultura familiar ● Desenvolver novas tecnologias nacionais na cadeia produtiva ● Assegurar sustentabilidade socioambiental 	Casa Civil

Fonte: IEDI (2008)

Com a PDP, o biodiesel deixou de ser uma das atividades portadoras de futuro listadas na PITCE e passou a ser um setor com potencial suficiente para fortalecer a base agroindustrial brasileira com a geração de empregos e incrementar a sustentabilidade da matriz energética nacional por meio de benefícios ambientais expressivos já mencionados nesta tese. Para tanto, havia uma recomendação direta: o desenvolvimento de todas as potencialidades desse setor dependia fundamentalmente de investimentos em P&D para superar os desafios e alcançar o aumento da mistura para 5%, prevista para 2013 (IPEA, 2009).

Dessa forma, os instrumentos existentes à época para superar tais desafios e desenvolver novas tecnologias nacionais para cadeia produtiva do biodiesel eram: (i) Embrapa e outras ICTs envolvidas em pesquisas relacionadas à agrobiotecnologia para a geração de sementes; (ii) RBTB e as pesquisas desenvolvidas nas subredes, (iii) Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) com estudos de propriedade intelectual; (iv) Centro de Biotecnologia da Amazônia com desenvolvimento de produtos e protocolos e; (v)

Cenpes/Pbio/Petrobras com P&D em oleaginosas. Todas essas instituições receberiam apoio financeiro vindos da Finep para infraestrutura científico-tecnológica na ordem de R\$108 milhões, além de outros incentivos provenientes da Lei 10.973/2004 ou Lei da Inovação (COUTINHO, 2008).

Durante a vigência da PDP foi constituída a Petrobras Biocombustível (PBio) em 16 de julho de 2008 com três plantas de produção localizadas nos estados de Minas Gerais, Bahia e Ceará. A PBio tinha por finalidade a produção, logística, comercialização e P&D de biocombustíveis.

No caso da P&D voltada ao biodiesel, destaca-se a cooperação da empresa com pesquisadores da RBTB no Programa de Redes de Pesquisa, que funcionou entre 2010 e 2015 por meio de convênios firmados com o Cenpes⁸¹. As redes originadas deste programa (Quadro 26), procuraram organizar e acelerar o desenvolvimento de tecnologias para oleaginosas alternativas à soja e que atendessem também às necessidades comerciais da PBio (SAMPAIO; BONACELLI, 2018).

Quadro 26 - Meta para a indústria do biodiesel no PDP

Nome da rede	Atores envolvidos
Desenvolvimento de sistemas de produção de girassol, mamona e pinhão-manso no semiárido com foco na agricultura familiar	Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFFRJ)
Desenvolvimento tecnológico para a exploração sustentável da macaúba	Universidade Federal de Viçosa (UFV), EPAMIG, Universidade de Montes Claros (Unimontes) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Desenvolvimento de cultivares e transferência de tecnologia de produção de mamona	Instituto Agrônomo (IAC)
Desenvolvimento de cultivares de mamoneira para produção de biocombustível	Universidade Federal do Recôncavo Bahia (UFRB)
Desenvolvimento tecnológico para pinhão-manso	IAC, EPAMIG e Universidade Estadual Paulista (UNESP)
GENDIESEL – Genoma da semente de mamona e pinhão-manso	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
MAPINDIESEL – Proteômica de espécies oleaginosas para melhoramento da produção de biodiesel: mamona e pinhão-manso	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), UFC e UNICAMP
Adequação de sistemas de cultivo de oleaginosas e avaliação dos impactos econômicos, sociais, ambientais decorrentes de sua produção	Embrapa
Prospecção, domesticação e seleção de novas oleaginosas para produção de biodiesel	Embrapa

Fonte: adaptado de Sampaio; Bonacelli (2018)

⁸¹ A Cenpes tinha projetos voltados para o desenvolvimento de oleaginosas para a indústria de biodiesel e eram parte das estratégias de P&D da Petrobras em bioprodutos.

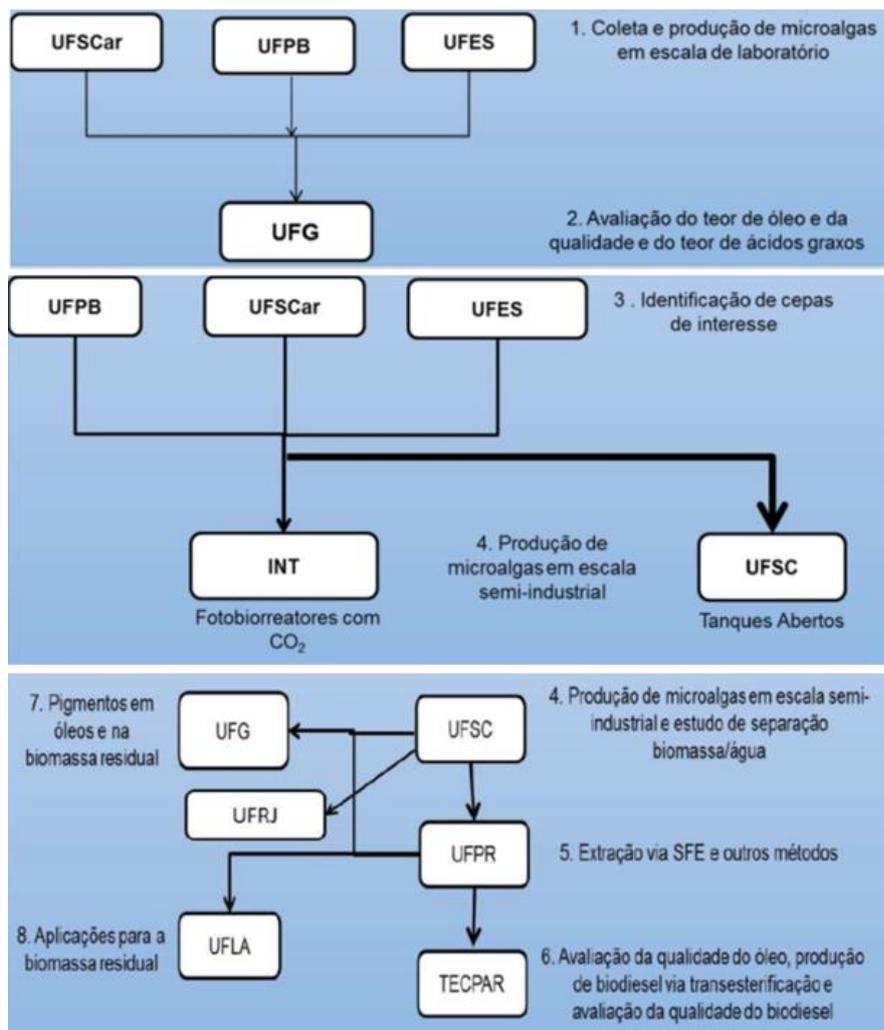
Essa ação revela também a intenção da PBio em promover arranjos de produção no Nordeste e semiárido, uma contribuição para superar o desafio “Ampliar a produtividade da cadeia produtiva com a inserção da agricultura familiar”. Contudo, o programa reiterou a dificuldade de implementação de políticas de desenvolvimento local para alavancar o PNPB nessas regiões.

Também no período de vigência da PDP, o MCT lançou duas ações que beneficiaram as pesquisas com biodiesel: o Programa de Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) e a Rede Microalgas para a Produção de Biodiesel, ambos os projetos contaram com o apoio da RBTB e de investimentos da FINEP/MCT.

A Rede Microalgas foi formada com o objetivo de desenvolver estudos científicos e tecnológicos que permitissem conhecer e desenvolver a cadeia de produção e uso de biodiesel obtido a partir de microalgas marinhas e dulcícolas. O projeto teve início em novembro de 2010 e reuniu ICTs com atuação na área de aquicultura, como: UFSCar, UFES, UFPB, INT, UFPR, UFRJ, UFG, Tecpar e UFLA (DERNER, 2015; FRANCO et al., 2013).

A Figura 34 apresenta a articulação das ICTs e suas respectivas responsabilidades nas etapas de produção de biodiesel derivado de óleos de microalgas via transesterificação e utilização de coprodutos.

Figura 34 - ICTs participante do Programa Rede de Microalgas



Fonte: DERNER (2015)

Os projetos com microalgas também atraíram o interesse de empresas. Em 2011, a UFSCar e a Algae Biotecnologia assinaram um contrato de cooperação tecnológica para geração de biocombustíveis e bioenergia a partir de algas, com a utilização de subprodutos da indústria sucroenergética. Em 2012, a Petrobras e a UFRN inauguraram uma planta piloto para produção de biodiesel de microalgas na qual utilizava a água da produção de petróleo como fonte de nutrientes para as algas, um projeto do programa de redes temáticas criado em 2006 e coordenado pela Cenpes (BRASIL, 2014). Atualmente, o país não possui nenhuma planta para a produção de biodiesel a partir de microalgas em larga escala, apesar do interesse de atores econômicos e científicos.

Embora não fazendo parte da Rede Microalgas, outras instituições foram contempladas em editais de pesquisas do CNPq relacionados ao uso de microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel. Uma dessas instituições foi a UFBA por meio do Laboratório de Bionergia e Catálise (LABEC) do Departamento de Físico-Química do Instituto de Química.

Entre os projetos desenvolvidos por essa unidade de pesquisa estava o desenvolvimento de tecnologias limpas para a produção de biodiesel a partir de microalgas em ambientes fechados nas regiões do semiárido baiano, rico em luz e água salobra e de rejeito do processo de dessalinização (BARBOZA, 2017).

Já com relação ao Programa INCTs, este foi criado em 2008 no intuito de ocupar uma posição estratégica no Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) ao desenvolver pesquisas em áreas de fronteiras da ciência ou temas estratégicos para o desenvolvimento sustentável do país (CGEE, 2019a). Atualmente, o país conta com 104 institutos (CNPQ, 2021) com a missão de: (i) realização de pesquisas; (ii) investimento em formação de recursos humanos e; (iii) transferência de conhecimento para conhecimentos para o setor empresarial ou para o governo (ANDRADE; LOPES, 2012; BRASIL, 2008; MCTIC, 2016a).

Um dos temas estratégicos envolve os biocombustíveis, que tem como eixos norteadores: a produção de etanol, sem aumentar a área plantada de cana de açúcar; a consolidação da base tecnológica, aumento da competitividade do biodiesel e a viabilidade de novos biocombustíveis como o bioquerosene de aviação para produção em biorrefinarias integradas (CGEE, 2019).

Entre os institutos ligados à área de energia e a temática biodiesel estão o INCT Catálise e o INCT de Energia e Ambiente (INCT E&A). INCT Catálise está sediado no Departamento de Química da UFSC e atua no aprimoramento das propriedades do biodiesel de soja através do desenvolvimento de diferentes sistemas catalíticos (CNPQ, 2021).

O INCT E&A está localizado no CIEnAm/UFBA e iniciou suas atividades em 2009 com 59 pesquisadores de 39 grupos de pesquisas de 12 instituições: UFBA, UFRJ, USP, UEL, UFPR, UFSC, UFRGS, SENAI CIMATEC, UESC, UNEB, UEFS e UESB (ANDRADE; GUARIEIRO, 2011; P. VIEIRA et al., 2016). A interação com o setor industrial envolveu pequenas e grandes empresas, a exemplo da Petrobras S/A e Braskem Repsol Ypf, Aerosol Dynamics, além das incubadoras como E&A Energia e Ambiente e Solar Engenharia Sustentável (INCT EA, 2020).

As pesquisas com biodiesel realizadas no INCT E&A buscam a otimização e uso eficiente de energia, como por exemplo, a preparação, caracterização, teste e avaliação do biodiesel produzido, associado à valorização de seus coprodutos; formulação e certificação de misturas de combustíveis fósseis e biodiesel; combustão em motores e dinamômetros; avaliação do impacto das emissões de misturas de biodiesel em centros urbanos brasileiros e estudos de outras matrizes de biocombustíveis de interesse ambiental (INCT EA, 2020).

Por meio de análise de redes sociais, observou-se um alto índice de colaboração entre os pesquisadores que participaram das pesquisas com biodiesel no âmbito do INCT E&A, oriundos de 48 ICTs e empresas privadas de seis países - Brasil, Portugal, EUA, Bélgica, Colômbia e Tanzânia (FERNANDES et al., 2023).

Com relação ao Estado da Bahia, foi lançado o programa Acelera Bahia em 2008 no intuito de atrair investimentos para diversificação da matriz industrial do estado, tendo eixos estratégicos as indústrias petroquímicas, de informática, de biodiesel, de etanol e naval (SEFAZ-BA, 2008).

Contudo, o apoio a P&D do biodiesel ficou em segundo plano. Isso pode ter ocorrido devido ao avanço do domínio da tecnologia na produção desse biocombustível, sendo possível adquiri-la de empresas de engenharia sob forma de contrato *turn key* (SILVA et al., 2015).

Para se ter uma ideia, somente um único edital voltado para o tema foi lançado pela FAPESB em 2008. Entre as ações contempladas neste edital estavam: (i) desenvolvimento tecnológico e inovação para a produção de biodiesel e (ii) melhoramento genético e técnicas de plantio para as oleaginosas: pinhão manso, mamona e dendê (FAPESB, 2008). Esta última ação favorecia a agricultura familiar, maior produtora de mamona e dendê no estado, pois ajudaria na elevação do rendimento agrícola e industrial das lavouras.

Previa-se a instalação de usinas de biodiesel nas universidades públicas estaduais e em outros campi do IFBA para pesquisas que gerassem tecnologias para melhoria da cadeia de biodiesel do Estado. Contudo, essa e outras ações não lograram êxito. No geral, os recursos orçamentários previstos para o biodiesel e outras renováveis no PPA (2008-2011) foram de R\$96 milhões, mas somente R\$1,04 milhões foram efetivamente gastos (SILVA et al., 2015).

4.1.3 O desenvolvimento tecnológico do biodiesel no contexto do PBM

Em 2011, o Governo Dilma Rousseff (2011-2014) lançou o Plano Brasil Maior (PBM) com ações a serem executadas até 2014. A PBM foi uma política industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior, com o objetivo de defender⁸² e tornar mais competitiva a indústria brasileira diante do mercado internacional (BRASIL, 2011). Foi a política industrial

⁸² Neste período, os juros estavam altos e o câmbio valorizado, o que deixava as exportações brasileiras mais caras e as importações mais baratas. Esse desequilíbrio trazia dificuldades para alguns setores, reacendendo o debate sobre desindustrialização.

que tratou de forma mais específica e ambiciosa as questões relacionadas à área de energia e sua vinculação com a política de inovação (SANTOS, 2017).

O PBM foi uma continuidade das políticas industriais anteriores com forte viés neoschumpeteriano (STEIN; HERRLEIN JÚNIOR, 2016), pois continuava a defender o estímulo à inovação como forma de alavancar a competitividade da indústria nacional, bem como a maior inserção das empresas brasileiras em áreas intensivas em tecnologia (BRASIL, 2011). Para isso, o PDM se articulou com a política de CT&I do MCTI: Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2012 - 2015, que ratificou o papel da inovação para continuidade ao projeto nacional de desenvolvimento, onde a CT&I era um dos eixos estruturantes e indispensáveis para o fomento da economia verde e erradicação à pobreza (BRASIL, 2012).

O PBM foi organizado em duas dimensões: sistêmica e setorial. A dimensão sistêmica voltava-se para temas transversais à atividade econômica (e.g. inovação), enquanto a dimensão setorial foi organizada em torno de cinco diretrizes estruturantes, definidas a partir das características dos setores contemplados nesta política, sendo uma delas as cadeias de suprimento em energias (BRASIL, 2011). A inclusão desse setor na PBM diferencia essa política das anteriores e está diretamente relacionada com a exploração do pré-sal⁸³ e com a necessidade de elevar a oferta energética (STEIN; HERRLEIN JÚNIOR, 2016).

A diretriz das cadeias de suprimento em energia visava: o aproveitamento de oportunidades ambientais e de negócios na área de energia, para que o país ocupe um lugar privilegiado entre os maiores fornecedores mundiais de energia e de tecnologias, bens de capital e serviços associados. As prioridades abrangiam oportunidades identificadas em petróleo e gás e em energias renováveis - etanol, eólica, solar e carvão vegetal (BRASIL, 2011).

Diferente da PITCE e da PDP, a diretriz supracitada não citou nominalmente o biodiesel como uma das oportunidades a ser explorada. Contudo, representantes da Ubrabio e Aprobio participaram do Conselho⁸⁴ de Energias Renováveis para defender os interesses da indústria de biodiesel, que tinha como objetivos estratégicos: (i) ampliação do mercado consumidor, com foco nas exportações; (ii) adensamento produtivo e tecnológico das cadeias de valor do

⁸³ Em 2006, a Petrobras anunciou a descoberta de diversos campos de petróleo abaixo do leito do nível do mar (pré-sal) ao longo de 800 quilômetros entre os estados do Espírito Santo e Santa Catarina. O início da produção do pré-sal ocorreu em 2008 no Parque das Baleias, litoral do Espírito Santo, no norte da Bacia de Campo (AGÊNCIA BRASIL, 2008).

⁸⁴ No nível de articulação e formulação do PBM, foram criados 19 conselhos formados por representantes dos órgãos responsáveis pelas políticas que incidem sobre cada setor para elaborar suas respectivas agendas estratégicas.

biodiesel e; (iii) fortalecimento de competências críticas como a promoção da assistência técnica e extensão rural. Foi defendido a intensificação de investimentos em PD&I para desenvolvimento de oleaginosas com alto rendimento e potencialidade de uso na produção de biodiesel e novas rotas tecnológicas que aumentassem a competitividade e reduzissem custos de produção para atender o segundo objetivo (MATURANA, 2012).

O posicionamento da indústria de biodiesel encontrou respaldo na ENCTI 2012-2015 que via economia verde de baixo carbono como estratégica para o desenvolvimento do país. Para isso, era necessária a consolidação da base científico-tecnológica para fomentar a inovação nas cadeias impulsionadoras da economia brasileira: tecnologias da informação e comunicação, fármacos e complexo industrial da saúde, petróleo e gás, complexo industrial da defesa, aeroespacial e áreas relacionadas com a economia verde, a saber: energia limpa e renovável, biotecnologia, biodiversidade e mudanças climáticas (BRASIL, 2012).

No caso das áreas relacionadas com a economia verde, a ENCTI 2012-2015 elegeu programas prioritários para investimento no intuito de superar o desafio de expandir a consolidação da liderança brasileira na economia do conhecimento natural. Entre os programas, estavam aqueles voltados para os biocombustíveis, em especial, para o desenvolvimento de etanol de segunda geração (BRASIL, 2012). Não havia citação para o desenvolvimento de biocombustíveis avançados que pudessem substituir o diesel, contudo, o Edital MCTI/CNPq Nº 40/2013 tinha uma linha de pesquisa que contemplava ações para o desenvolvimento de tecnologias e matérias-primas para o diesel renovável, provavelmente a primeira ação nesse sentido no país.

Já para o biodiesel, a ENCTI 2012-2015 estabeleceu como meta a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para diversificação de fontes de matéria-prima para sua produção. Também foi apontada a necessidade da transferência de tecnologias maduras para a agricultura familiar, o que favorecia as ações voltadas para inclusão desse agente no PNPB (BRASIL, 2012). Como esses dois tópicos vinham sendo perseguidos desde a PITCE, trata-se de uma continuidade da política de P&D para esse biocombustível.

A necessidade de intensificar investimentos em PD&I para o desenvolvimento de novas oleaginosas de alto rendimento e com potencialidades de uso para a produção de biodiesel se justificava, devido à forte dependência da soja como principal matéria-prima (81% de participação) e pela perspectiva de aumento da mistura para os próximos anos, o que ajudaria na redução da capacidade ociosa da indústria, que alcançou 64% em 2012. Assim, durante a vigência da ENCTI 2012-2015, foram identificados dois editais do CNPq para seleção pública de projeto de PD&I voltados para atender demandas do setor de biodiesel (Quadro 27).

Quadro 27 - Projetos de PD&I voltados para o biodiesel no âmbito da PBM e ENCTI 2012-2015

Editais MCTI/CNPq	Valor (em milhões)	Linhas de pesquisa e recursos estimados/ linha	ICTs e número de projetos contemplados
Nº 40/2013	R\$ 25,6	Caracterização e controle da qualidade - R\$ 10 milhões	UFRJ (4), UFRGS (3), UFBA (2), UFG (2), IFBA (1), INT (1), UFSC (1), UNICAMP (1), Embrapa (1), UEM (1), UFPR (1), UFGD (1)
		Novas tecnologias de produção de biodiesel - R\$ 10 milhões	UFRJ (2), UNICAMP (1), UFRGS (1), Unesp (1), INT (1), UFPR (1), UFMG (1), UFSM (1), UFV (1), UFSC (1), USP (1), EEL (1), UEL (1), UFPB (1), UFCG (1),
		Novas tecnologias de produção de biodiesel e matérias-primas para o biodiesel/diesel renovável - R\$ 5,6 milhões	UFVJM (1), Embrapa Agroenergia (2), Embrapa (2), UFV (2), UFC (2), UFLA (1), UFT (1), Unesp (1), UFAL (1)
Nº 56/2013	R\$ 11,23	Potencial Energético das Microalgas para a Produção de Biodiesel - R\$ 5 milhões	UFPB (1), FURG (1), UFPR (1), UFBA (1), UFRJ (1), UFSC (1)
		Potencial Biotecnológico das Microalgas - Biorrefinarias de Microalgas	UFRJ (3), UFC (2), UFG (1), UPF (1), UFSM (1), FURG (1), UFPR (1), Embrapa – CNPSA (1)

Fonte: adaptado de Brasil (2012)

Na Bahia, verificou-se o lançamento do estudo “Política Industrial da Bahia: Estratégias e Proposições”, onde o tema energia foi tratado de forma transversal. Contudo, não foram identificadas ações efetivas relacionadas a P&D do biodiesel.

Por fim, os investimentos em tecnologias para o desenvolvimento de biodiesel no Brasil somaram cerca de R\$200 milhões entre 2005 e 2015, por meio de financiamento público, distribuídos em 13 editais. Além disso, o Ministério destinou mais de R\$110 milhões para o Programa de Desenvolvimento Tecnológico para o Biodiesel, em média R\$8,54 milhões por ano, entre 2001 e 2014 (MCTIC, 2016b).

No entanto, ocorreu uma distribuição desigual desses recursos em favor dos estados do Rio de Janeiro, de São Paulo e do Paraná, além do Distrito Federal. Esses estados receberam 40% dos recursos totais, levantando preocupações sobre a equidade no acesso às oportunidades de avanço tecnológico na indústria do biodiesel em outras regiões do país (RIBEIRO, 2019).

4.1.4 O desenvolvimento tecnológico do biodiesel para além das PIs

O Programa Brasil Mais Produtivo (B+P) foi lançado em 2016 com o objetivo de promover ganhos de produtividade nos processos produtivos internos de empresas de setores específicos, por meio de três eixos temáticos: manufatura enxuta, eficiência energética e digitalização e conectividade. Embora o B+P adotasse uma abordagem de política industrial verde (TANURE; PORSSE; DOMINGUES, 2021), ele não abrangia o desenvolvimento tecnológico relacionado ao biodiesel.

A Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022 selecionou onze temas em CT&I para o desenvolvimento, autonomia e soberania nacional e propôs a instauração de um paradigma de inovação colaborativa no Brasil, estimulando o estreitamento das relações entre Universidade e Empresa e a interação entre os mais diferentes componentes do SNCTI (MCTIC, 2016a).

Um dos temas selecionados foi a área de energia e visava manter a liderança brasileira em energias e combustíveis renováveis na economia. Nesse sentido, foram formuladas estratégias várias estratégias com destaque para:

- Elaboração do Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Energias Renováveis e Biocombustíveis para promoção do conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico em fontes renováveis de geração de energia elétrica, na produção e uso de biocombustíveis e no uso eficiente da energia, garantindo a segurança e o abastecimento energético, tendo em vista a importância econômica, social e ambiental para o País.
- Apoio às ações de PD&I em fontes renováveis para a produção e uso de biocombustíveis, visando: (i) fortalecer o PNPB, consolidar a base tecnológica e aumentar a competitividade do biodiesel (MCTIC, 2016a).

Embora o texto não mencione as fontes de recursos específicas para o financiamento das estratégias em destaque, é importante lembrar que a definição dessas fontes dependerá da política governamental, das prioridades estabelecidas no orçamento da união e das possibilidades de investimento disponíveis.

Em 2018, foi lançado o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis com o objetivo de promover o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico nas áreas de energias renováveis, biocombustíveis e eficiência

energética. O Plano identificou os desafios tecnológicos em diferentes cadeias produtivas de energias renováveis e biocombustíveis e propôs metas e ações de CT&I para superá-los (MCTIC, 2018).

Para a cadeia do biodiesel, os desafios são:

- diversificar as fontes de matérias-primas graxas para a produção de biodiesel;
- aumentar o uso de materiais graxos de baixa qualidade e de menor custo na produção de biodiesel, com a adoção de tecnologias alternativas à transesterificação alcalina;
- otimizar tecnologias de produção de biodiesel e de derivados graxos;
- simplificar metodologias de controle da qualidade de biodiesel;
- garantir a qualidade do biodiesel durante o transporte e armazenamento, bem como solucionar problemas associados;
- aumentar os percentuais de biodiesel nas misturas com óleo diesel, com garantia de qualidade na produção, pós-produção e uso em motores e veículos;
- agregar valor aos coprodutos provenientes da cadeia de produção e uso do

biodiesel (MCTIC, 2018).

No intuito de superar esses desafios, o plano estabeleceu metas e ações de CT&I, sendo duas delas: o incentivo a P&D&I na área de biodiesel e o fortalecimento de RBTB (MCTIC, 2018). Mas assim como a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022, nenhuma fonte de fomento foi mencionada.

Com base nas informações do plano mencionado e na análise dos cenários internos e externos do PNPB, a CSOB de Oleaginosas e Biodiesel desenvolveu uma agenda estratégica que contempla diversas ações a serem implementadas nos próximos anos. Essas ações abrangem as áreas de P&D, Transferência de Tecnologia e Políticas Públicas, com o objetivo de impulsionar o crescimento da cadeia produtiva do biodiesel até 2030 (CSOB, 2019).

No âmbito da P&D, destacam-se a ampliação e diversificação da participação de outras matérias-primas, excluindo soja e sebo, na matriz de óleos utilizados na produção de biodiesel, com o objetivo de atingir 15% até 2028. Além disso, busca-se o estabelecimento de pelo menos duas plantas-piloto, até 2023, com capacidade mínima de 10 m³/dia de biodiesel, utilizando matérias-primas graxas de baixa qualidade (CSOB, 2019).

As ações de P&D estabelecidas pela CSOB de Oleaginosas e Biodiesel demonstram o comprometimento em impulsionar a pesquisa e inovação tecnológica no setor do biodiesel. Além disso, essas ações ressaltam a importância contínua da RBTB na promoção da colaboração entre diversas instituições e na transferência de conhecimento.

Essas ações para o biodiesel no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis, assim como na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel ganharam mais impulso com a regulamentação da RenovaBio em 2018. Essa política governamental tem entre seus objetivos incentivar a realização de P&D no setor de biocombustíveis, com foco na redução das emissões de GEE, diversificação das matérias-primas utilizadas e aprimoramento dos sistemas de produção (DENNY, 2020).

As ações impulsionadas pela RenovaBio criam um ambiente propício para alavancar a RBTB uma vez que a colaboração entre instituições de pesquisa, empresas e demais *stakeholders* para o desenvolvimento e aplicação dessas inovações torna-se fundamental.

Nesse sentido, a utilização da abordagem de ARS e redes complexas pode ser fundamental para proporcionar uma compreensão mais aprofundada dos relacionamentos entre as diversas instituições que compõem a RBTB, avaliar sua evolução ou involução ao longo do tempo, entender sua dinâmica no campo de estudo relacionado ao biodiesel, identificar lacunas e oportunidades e outros.

A próxima seção volta-se para a análise das colaborações entre as ICTs que compõem a RBTB. Para tanto, foi utilizado dados prospectados de artigos publicados por autores afiliados a ICTs brasileiras, seguida da aplicação da ARS e análise de redes complexas, o que permitiu identificar os principais centros de pesquisa em biodiesel no Brasil, mapear as áreas de maior colaboração e compreender como as ICTs estão se articulando para atender as ações estratégicas propostas no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel.

4.2 EVOLUÇÃO DA RBTB DE 2004 A 2023

Após traçar a trajetória do desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil e analisar a influência das políticas industriais e de C&T nesse processo, esta seção se debruça sobre as colaborações entre as ICTs que compõem a RBTB. Para tanto, foram utilizados dados bibliométricos prospectados de artigos publicados por autores afiliados a ICTs brasileiras, em conjunto com a aplicação da ARS e a análise de redes complexas.

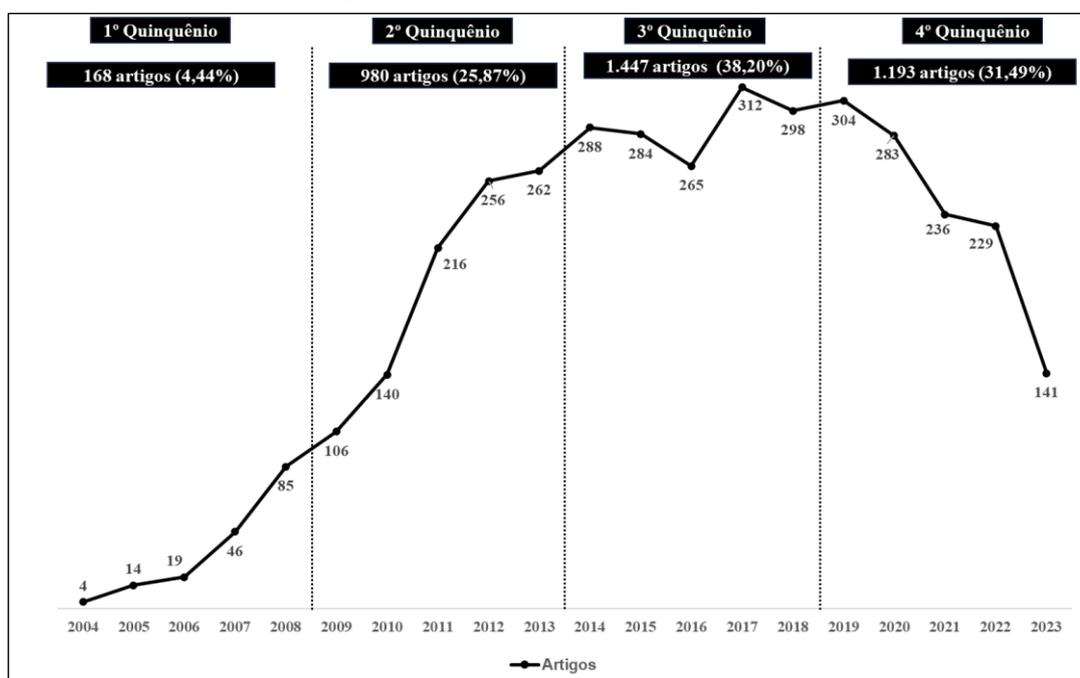
As próximas subseções se empenham-se a responder aos objetivos específicos propostos, mapeando as principais áreas de colaboração em P&D de biodiesel, identificando as instituições e autores mais atuantes, as lacunas existentes na pesquisa e as oportunidades para

novas colaborações. Através da análise das redes de colaboração, espera-se contribuir para uma melhor compreensão do papel das ICTs na inovação e na competitividade do setor de biodiesel no Brasil.

4.2.1 Produção científica de artigos de pesquisas (2004 a 2023)

O corpus da pesquisa foi constituído por 3.788 artigos de pesquisa original, coautorados por pelo menos um autor afiliado a uma ICTs nacional, publicados entre 2004⁸⁵ e 2023 e indexados nas bases de dados *WoS* (n= 3.389; 89,47%), *Scopus* (n= 350; 9,24%) e *SciELO* (n= 49; 1,29%). A média anual de publicação foi de 168 artigos. O Gráfico 5 apresenta a distribuição desses documentos no período analisado e dividido em quatro quinquênios.

Gráfico 5 - Distribuição dos artigos relacionados a biodiesel no Brasil (2004 – 2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

⁸⁵ Embora a RBTB tenha se materializado no PNPB em 2005, ações e para estruturar uma rede de pesquisa voltada para P&D em biodiesel vinha ocorrendo desde 2002 com o Probi biodiesel. Por conta disso, o ano de 2004 foi escolhido como marco inicial devido ao resultado da encomenda Finep CT-ENERG 017/2003 PROBIODIESEL - Rede Brasileira de Biodiesel, que resultou na aprovação de 10 projetos, sendo este o embrião da RBTB (FINEP, 2004b). Outro fator que influenciou na escolha foi o fato de que até 2003, o país possuía apenas 8 artigos com o termo "biodiesel" indexados nas bases.

É possível conjecturar que o número de publicações de artigos sobre biodiesel cresce à medida que aumenta a porcentagem de mistura desse biocombustível ao diesel no país. Em 2005, a mistura era de 2%, mas facultativa. A partir de 2008, ela se torna obrigatória, o que possivelmente serviu como catalisador de pesquisas para atender à demanda desse novo mercado (EPE, 2020c).

O percentual foi então evoluindo, alcançando 10% em 2018. Em abril de 2023, a mistura de biodiesel no diesel foi ampliada de 10% para 12%. O teor será elevado para 13% em abril de 2024, 14% em abril de 2025 e 15% em abril de 2026 (AGÊNCIA EPBR, 2023).

No Gráfico 5, é possível observar um crescimento acelerado no número de publicações do primeiro para o segundo quinquênio, que atingiu 980 artigos, um aumento percentual de 483% em relação ao primeiro quinquênio. Esse crescimento pode ser atribuído a uma série de investimentos do Governo Federal para criar as bases P&D em biodiesel no âmbito do PNPB, como a própria criação da RBTB, responsável por articular a pesquisa e o desenvolvimento do processo de produção do combustível renovável no Brasil.

Destacam-se, também, o apoio financeiro às ICTs por meio de editais da Finep e do CNPq para infraestrutura científico-tecnológica e a criação de programas como o INCT em 2008, que tinha institutos com linhas de pesquisa voltadas para o biodiesel. Como exemplos, os INCTs Energia e Ambiente (UFBA) e Catálise em Sistemas Moleculares e Nanoestruturados (UFSCar).

Do segundo para o terceiro quinquênio, o crescimento percentual foi menos expressivo, alcançando 47,80%. Ainda assim, é neste período que ocorre o pico no número de artigos publicados em um único ano (312 artigos em 2017) e o maior volume de publicações em relação aos demais quinquênios (1.447 artigos).

Do terceiro para o quarto quinquênio, houve uma retração de 17,5%, atingindo 1.193 artigos ou 82,5% do volume publicado no terceiro quinquênio. Mesmo com esta redução, o quarto período ainda detém a segunda maior produção entre os quinquênios e, quando comparado com o primeiro quinquênio, o acumulado no quarto período foi de 710%.

Por fim, a taxa de crescimento de 2004 a 2023 foi de 3.425%, representando um crescimento percentual sustentado de publicações ao longo de todo o período analisado. Isso corresponde a uma taxa média anual de 94,6%. Essa taxa histórica é bastante superior à variação observada no último quinquênio, mas não anula o fato de que vem ocorrendo uma desaceleração nos últimos quatro anos da série.

Essa desaceleração pode estar vinculada a diferentes causas como à crise política e econômica iniciada em 2015-2016 e a pandemia de Covid-19. Com relação à crise, seus reflexos

repercutiram sobre o SNCTI e a redução de financiamentos das atividades de pesquisa por parte das agências de fomento e operadores de CT&I. Para se ter uma ideia, os gastos com pesquisa no Brasil atingiram o auge em 2015 com 13,97 bilhões, caindo drasticamente para 5 bilhões em 2020 (valores deflacionados pelo IPCA), mesmo nível observado em 2006 (MOREL; HAUEGEN, 2017; WESTIN, 2020).

Em 2022, a produção científica brasileira teve seu pior momento desde 1996, com uma queda de 7,4% em relação ao ano anterior. A principal causa apontada para essa situação foi o declínio nos investimentos em P&D, que caíram de 1,21% do PIB em 2019 para 1,14% em 2020 (FILHO, 2023).

Já com relação à pandemia, houve uma limitação substancial do trabalho presencial em laboratórios, grupos e centros de pesquisa, a partir de 2020. Ela também inibiu parcerias em diferentes níveis (intra ou interinstitucionais; nacionais ou internacionais), interrompeu intercâmbios científicos, além de ocasionar o remanejamento de recursos e esforços das ICTs para investigações voltadas para Covid-19. Dessa forma, os cenários descritos demonstram que as pesquisas em biodiesel e outros biocombustíveis foram afetadas e correm o risco de sofrer diminuições.

4.2.2 Sistema de divulgação do conhecimento

Com relação a forma de divulgação do conhecimento produzido, o critério utilizado foi selecionar artigos publicados em periódicos indexados em uma das três bases já mencionadas entre os anos de 2004 e 2023. Dito isso, os 3.788 artigos foram publicados em 681 periódicos, perfazendo uma média geral aproximada de 6 artigos por periódico, cuja maioria estão voltados para as áreas de química, energia, agricultura e engenharia.

A Lei de Bradford (FERNANDES *et al.*, 2021) foi empregada para avaliar a distribuição dos artigos nos periódicos. Foi identificado um núcleo principal composto por 14 revistas (Quadro 28), que concentraram 1.270 artigos (33,53%), com média de 90 artigos por revista.

Quadro 28 - Principais periódicos utilizados na divulgação das pesquisas com biodiesel (2004 – 2023)

Rank	Revista	Qtd	% de 3788	Nacionalidade	Foco
1	<i>Fuel</i>	310	8,24	Internacional	Combustíveis, energia, meio ambiente

2	<i>Journal of the Brazilian Chemical Society</i>	119	3,14	Brasil	Química, ciência dos materiais, bioquímica, química analítica
3	Química Nova	109	2,90	Brasil	Química, educação em química, química analítica, química orgânica, química inorgânica, química ambiental, bioquímica, engenharia química
4	<i>Renewable Energy</i>	104	2,82	Internacional	Energias renováveis, energia solar, energia eólica, biocombustíveis
5	<i>Energy & Fuels</i>	102	2,72	Internacional	Combustíveis, energia, química de combustíveis, engenharia química, processamento de petróleo e gás natural
6	<i>Industrial Crops and Products</i>	92	2,43	Internacional	Culturas industriais, produtos agrícolas, biomassa, biocombustíveis, química verde
7	<i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i>	73	1,93	Internacional	Análise térmica, calorimetria, cinética química, termoquímica, caracterização de materiais, propriedades térmicas, reações químicas
8	<i>Bioresource Technology</i>	60	1,58	Internacional	Tecnologia de recursos biológicos, biotecnologia, bioenergia, biomassa, resíduos agrícolas e florestais, bioprodutos
9	<i>Fuel Processing Technology</i>	53	1,40	Internacional	Processamento de combustíveis, refino de petróleo, tecnologias de conversão de biomassa, processos de combustão, química de superfícies
10	Semina: Ciências Agrárias	53	1,40	Brasil	Agronomia, agricultura, ciências agrárias, engenharia agrícola, produção vegetal, fitossanidade
11	<i>Brazilian Journal of Chemical Engineering</i>	51	1,35	Brasil	Engenharia química, processos químicos, bioprocessos, reatores químicos, fenômenos de transporte, engenharia de processos, tecnologias ambientais
12	Revista Virtual de Química	49	1,29	Brasil	Química, educação em química, química computacional, química teórica, espectroscopia, modelagem molecular
13	<i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i>	45	1,19	Internacional	Bioquímica aplicada, biotecnologia, engenharia genética, microbiologia, bioinformática, bioprocessos industriais
14	<i>Biomass & Bioenergy</i>	43	1,14	Internacional	Biomassa, bioenergia, biocombustíveis, conversão de biomassa, tecnologias de bioenergia, aspectos econômicos e ambientais da bioenergia

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Dos 14 periódicos descritos no Quadro 28, 5 são brasileiros e a área de química apresenta uma clara preferência por esses títulos. Importante pontuar, que a decisão de publicar em um periódico nacional ou internacional deve ser tomada com base em diversos fatores, como tema da pesquisa, público-alvo, idioma, acessibilidade, tempo de publicação, custo de

publicação, entre outros. Também é importante pontuar que revistas nacionais podem ter um foco maior em temas relevantes para o contexto brasileiro.

A Lei de Bradford também foi aplicada nos dados do quarto período. Entre os principais achados, destaca-se a permanência da Revista *Fuel* como a principal fonte de divulgação científica. Periódicos como *Química Nova* e *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* despencaram de posição, ficando de fora do núcleo. Em contrapartida, revistas como *Renewable Energy* e *Industrial Crops and Products* ascenderam no ranking, sugerindo aumento do interesse pelos tópicos explorados por essas revistas. Outros periódicos antes ausentes, como *Biofuels-UK* e *Bioenergy Research*, passaram a integrar o núcleo principal de publicações.

4.2.3 Análise das áreas de pesquisa

Conforme apresentado anteriormente, os 3.788 artigos que compõem a amostra estão indexados nas bases de dados *WoS*, *Scopus* e *SciELO*. Dentre essas, a *WoS* abrangeu 89,47% dos documentos, denotando uma preferência dos pesquisadores em publicar em periódicos indexados por essa base.

A partir desse cenário, 3.389 artigos pertencentes à *WoS* foram utilizados com o objetivo de realizar o levantamento das categorias e áreas temáticas nas quais foram classificados. Essa opção deve-se ao fato da *WoS* empregar um sistema de categorização baseado no conteúdo textual, abrangendo cerca de 250 domínios científicos distintos (WOS, 2021).

Os artigos foram categorizados em 75 áreas temáticas, pertencentes a 3 grandes categorias: Ciências Exatas e da Terra (n=27), Ciências Biológicas e da Saúde (n=25) e Ciências Humanas e Sociais (n=23). Essas categorias englobam diversas áreas de investigação relacionadas à cadeia produtiva do biodiesel no Brasil.

A categoria de Ciências Exatas e da Terra contempla aspectos técnicos e tecnológicos. Já a categoria de Ciências Biológicas e da Saúde abrange interações importantes com agricultura e meio ambiente. Por fim, a categoria de Ciências Humanas e Sociais abarca aspectos sociais e econômicos do PNPB. Ao aplicar a Lei de Pareto (80/20) neste conjunto de dados, foi possível identificar um subconjunto onde estão concentradas a maioria das publicações (Quadro 29).

Quadro 29 - Indexação dos artigos da WoS: Principais áreas de pesquisa (2004 – 2023)

Área de Pesquisa	Qtd	%	Relação com a cadeia produtiva de biodiesel
Química	1.136	19,40%	Influencia diretamente processos á montante como transesterificação, purificação e análises de qualidade do biodiesel. Também relacionada a estudos à jusante sobre propriedades combustíveis.
Engenharia	1068	18,23%	Engloba pesquisas sobre processos de produção, bem como aplicações em motores, combustão e transportes movidos a biodiesel.
Energia e Combustíveis	921	15,72%	Investiga matérias-primas, rotas e tecnologias para produção de biodiesel, além de aplicações como substituto/aditivo para diesel.
Agricultura	512	8,74%	Analisa o cultivo de oleaginosas para produção de óleos vegetais, além do aproveitamento de resíduos agrícolas (animal e vegetal) como matéria-prima para biodiesel.
Ciências Ambientais e Ecologia	341	5,82%	Avalia impactos ambientais do uso de biodiesel no transporte, como emissões de GEE e avaliação da qualidade do ar.
Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	319	5,45%	Desenvolve tecnologias para novos processos (e.g. enzimáticos e biocatalisadores) para aprimorar a produção de biodiesel.
Ciência e Tecnologia - Outros Temas	281	4,80%	Engloba aspectos multidisciplinares da cadeia produtiva do biodiesel.
Termodinâmica	236	4,03%	Investiga propriedades físico-químicas do biodiesel, além de estudos sobre desempenho e combustão em motores.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

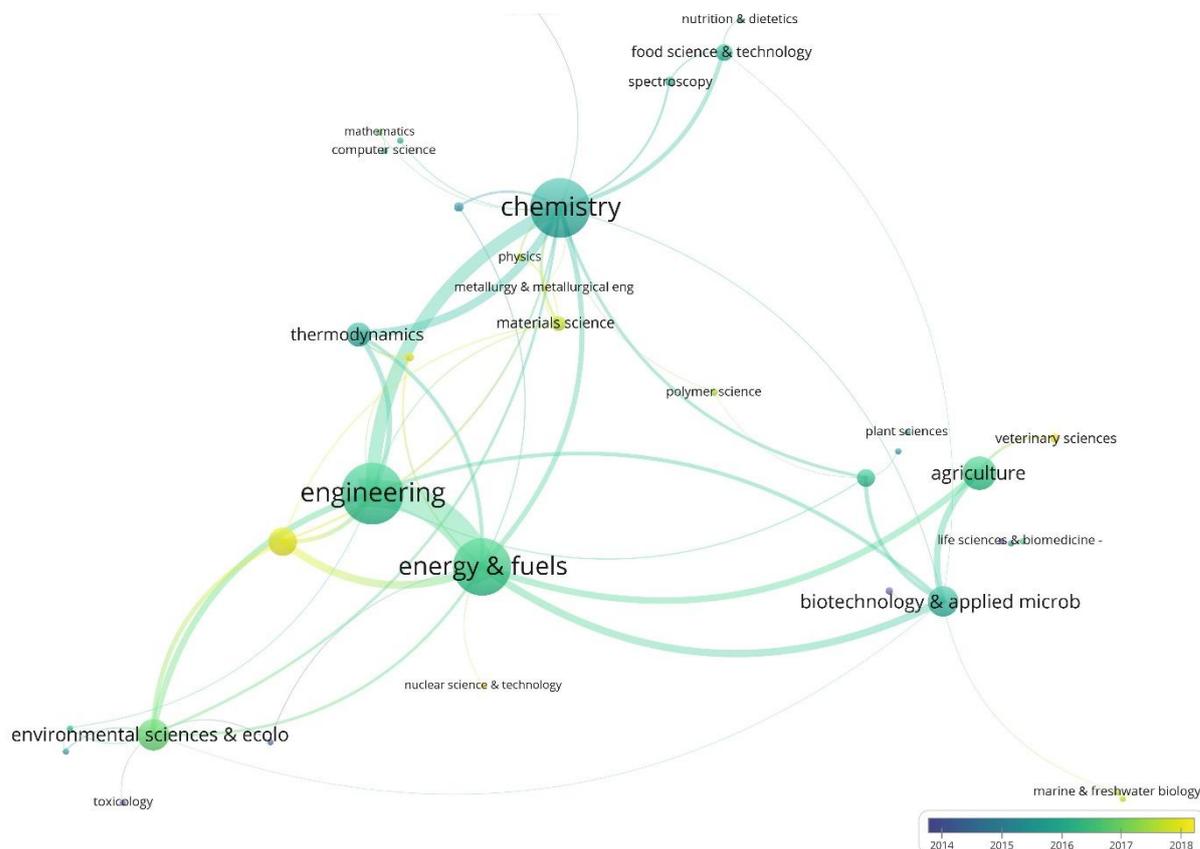
82% dos estudos sobre biodiesel concentra-se em oito grandes áreas, com destaque para Química, Engenharia e Energia e apresentam estabilidade nos últimos 20 anos, quando comparados com o último quinquênio. Esses domínios abrangem, majoritariamente, pesquisas direcionadas a etapas primárias da cadeia produtiva, envolvendo avaliação de matérias-primas e tecnologias de produção do biocombustível. Apesar dessa prevalência temática, uma lacuna crítica persiste em relação às investigações sobre o desempenho e uso final do biodiesel em motores e transportes.

É importante destacar o aumento no número de publicação indexada na área de Ciência e Tecnologia - Outros Temas no último quinquênio, o que pode contribuir para expandir abordagens multidisciplinares e transversais na pesquisa sobre biodiesel no Brasil.

A Figura 35 - **Rede das principais áreas de pesquisa relacionadas ao biodiesel no Brasil (2004 – 2023)** Figura 35 exibe a rede de interações entre as áreas de pesquisa sobre biodiesel. Para esse mapeamento, utilizou-se a visualização de coocorrência (*Co-occurrence*) pelo software *VOSviewer*, a qual considera a proximidade e interligações entre termos que aparecem conjuntamente nos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos. Dessa forma, foram analisadas as conexões e agrupamentos existentes entre os domínios científicos, com base na coaparição das áreas temáticas nas publicações.

Os nós representam as áreas de pesquisas das publicações e as ligações entre eles representam a interação das áreas numa mesma publicação. Quanto mais espessa a linha que une os nós, maior a ligação existente

Figura 35 - Rede das principais áreas de pesquisa relacionadas ao biodiesel no Brasil (2004 – 2023)



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Destacam-se na Figura 35, as áreas de Química, Engenharia e Energia e Combustíveis, que possuem posições centrais de interdisciplinaridade nuclear, ou seja, muitos links e conexões. A Química possui a maior produção científica (691 artigos), força total de interação⁸⁶ (804), com 23 conexões com outras áreas e média de publicação centrada em 2015. Essa área contempla uma ampla gama de pesquisas, incluindo propriedades físico-químicas, rotas de produção e análises de qualidade direcionadas ao biodiesel, o que reforça o posicionamento de (QUINTELLA et al., 2009) de que a química permeia toda a cadeia do biodiesel, sendo indispensável para sua viabilização econômica, ambiental e tecnológica.

A Engenharia, com 934 artigos publicados, 856 de força total de interação, conexão com outras 17 áreas e média de 2016, vem corroborando com o papel nuclear e representa estudos

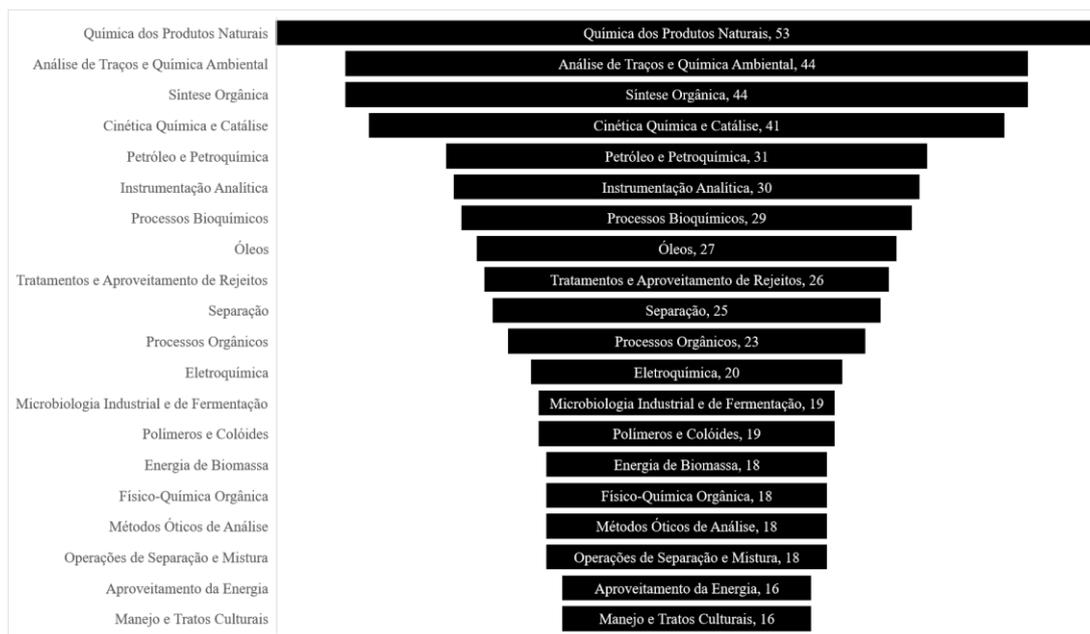
⁸⁶ Quanto maior for a pontuação da força total de interação (*total link strength*), mais interdisciplinar é a área

dos processos industriais, aplicações mecânicas em motores e análises de desempenho, fazendo com que ela interaja mais com áreas de maior aplicação técnica. Ela interage fortemente com a área de Energia e Combustíveis, que também concentra alta produção (925 artigos) e interação (773 pontos) e média centrada em 2016.

Já a Agricultura, com 222 artigos publicados e 297 interações e conexão com outras 10 áreas, ficou no mesmo cluster das áreas de biotecnologia e genética e voltou-se para investigações sobre culturas oleaginosas, aproveitamento de resíduos e impactos correlatos visando ampliar/otimizar a oferta de matérias-primas ao setor.

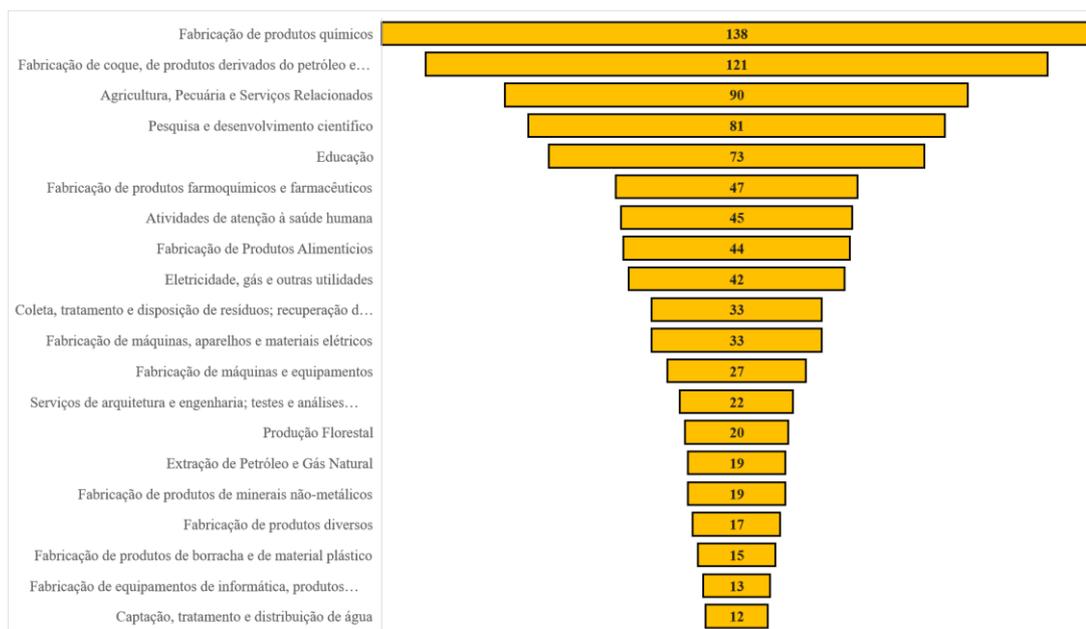
Houve um crescimento de domínios antes periféricos na rede, como Ciência e Tecnologia (2017), Meio Ambiente (2016) e Ciência de Materiais e Veterinária (2017). Isso indica o florescimento de temas antes menos explorados, o que pode levar a uma diversificação e busca por inovação em pontos ainda pouco estudados na cadeia do biodiesel. Essas novas áreas, aliadas às áreas já mencionadas, podem contribuir para a eliminação de gargalos e aumento da competitividade do setor, conforme as orientações do Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis (MCTIC, 2018) e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel (CSOB, 2019).

Finalmente, foi realizada uma busca na plataforma computacional para integração, visualização e prospecção de dados científicos BrCRIS (IBICT, 2023), objetivando levantar grupos com linhas de pesquisas que envolviam biodiesel e comparar as áreas de pesquisas nas quais os artigos foram indexados. Ao todo, foram identificados de 323 grupos de pesquisas que tinha linhas de pesquisas envolvendo biodiesel. Também foi verificado o alinhamento das áreas de conhecimento apontadas nos grupos com os objetivos do Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel.

Gráfico 6 - Áreas de conhecimento relacionado ao biodiesel dos grupos de pesquisas

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Os setores de aplicação (Gráfico 7), ou seja, setores da economia onde os resultados das pesquisas produzidas pelos grupos podem ser aplicados, foram analisados.

Gráfico 7 - Setores de aplicação das pesquisas produzidas pelos grupos de pesquisas

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

As áreas de pesquisa (Figura 35), de conhecimento (Gráfico 6) e setores de aplicação envolvidos com o biodiesel (Gráfico 7) demonstram que há um esforço científico e tecnológico,

alinhando-se dessa forma com os objetivos Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis (MCTIC, 2018) e da Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel (CSOB, 2019).

As principais áreas de pesquisa da *WoS*, como Química, Engenharia, Energia e Combustíveis, Agricultura, Biotecnologia e Microbiologia Aplicada, estão diretamente alinhadas com as áreas de conhecimento dos grupos de pesquisa, que incluem Química dos Produtos Naturais, Síntese Orgânica, Cinética Química e Catálise, Petróleo e Petroquímica, Processos Bioquímicos, Óleos e Energia de Biomassa.

Estas, por sua vez, se alinham com os setores de aplicação relacionados com a fabricação de produtos químicos, fabricação de coque e produtos derivados do petróleo e biocombustíveis, agricultura, pecuária. Com isso, essa interação ajuda a minimizar os gargalos na cadeia produtiva do biodiesel da seguinte forma:

1. Diversificar as fontes de matérias-primas graxas para a produção de biodiesel, especialmente as de baixa qualidade e de menor custo → alinhamento das áreas de Agricultura, Energia e Combustíveis, Biotecnologia e Microbiologia Aplicada para investigar novas fontes de matérias-primas, incluindo resíduos agrícolas e biomassa;
2. Otimizar tecnologias de produção de biodiesel e de derivados graxos → as áreas de Química, Engenharia, Biotecnologia e Microbiologia Aplicada contribuem para o aprimoramento das tecnologias de produção.
3. Simplificar metodologias de controle da qualidade de biodiesel → embora não haja uma área de pesquisa específica, a área de Química em conjunto com as áreas de Instrumentação Analítica e Métodos Óticos de Análise podem auxiliar nesse aspecto;
4. Garantir a qualidade do biodiesel durante o transporte e armazenamento → áreas como Tratamentos e Aproveitamento de Rejeitos e Separação podem contribuir para essa questão.
5. Aumentar os percentuais de biodiesel nas misturas com óleo diesel, com garantia de qualidade na produção, pós-produção e uso em motores e veículos → As áreas de Engenharia e Termodinâmica, juntamente com áreas de conhecimento em Aproveitamento da Energia e Operações de Separação e Mistura, e setores como Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos, podem auxiliar nesse aspecto.
6. Agregar valor aos coprodutos provenientes da cadeia de produção e uso do biodiesel → as áreas como Química, Engenharia e Ciência e Tecnologia - Outros Temas, juntamente com áreas de conhecimento, como Tratamentos e Aproveitamento de Rejeitos, e setores

como Fabricação de Produtos Químicos, Farmoquímicos e Alimentícios, podem contribuir para a valorização dos coprodutos.

Em resumo, as interrelações apontadas aqui entre as áreas de pesquisa, conhecimento e setores de aplicação mostram um alinhamento na tentativa de superar gargalos na cadeia produtiva do biodiesel no Brasil.

4.2.4 Financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil

No Brasil, o financiamento da pesquisa se dá por meio de diferentes sistemas e instituições de fomento, que estão ligadas direta ou indiretamente aos ministérios brasileiros como: CNPq, Finep, Capes, FNDCT, BNDES. Destacam-se também as agências estaduais de fomento à pesquisa, as FAPs. Além de leis de incentivo fiscal e fomento à inovação, financiamentos empresariais e institucionais (DUDZIAK, 2018).

Entre 2013 e 2022, foram investidos 3,9 bilhões em biocombustíveis no Brasil, cuja a origem vem de investimentos publicamente orientados⁸⁷ (71,50%) e públicos (28,50%). A principal instituição fomentadora é o BNDES com participação de 40,59% do montante citado. Em seguida, aparecem a FINEP (24,16%), a ANEEL (18,84%), a ANP (9,65%), o CNPq (3,45%) e FAPESP (3,32%) (EPE, 2023).

Existe uma dificuldade para obter dados estratificados sobre fomento de pesquisa relacionados ao biodiesel, mas o MCTI, que atua como braço do desenvolvimento tecnológico do PNPB, afirma que foram investidos entre R\$ 160 milhões e R\$ 200 milhões entre 2005 e 2015. A maior parte dos recursos foi disponibilizada por meio de editais de chamadas públicas do CNPq/Finep (n=13), encomendas tecnológicas para gargalos específicos (n=30) e projetos orçamentários do PPA (n=50) (MCTIC, 2016b; RIBEIRO, 2019). A RBTB ficou responsável pela implementação dos projetos financiados com esses recursos.

Diante do exposto, essa pesquisa analisou os agradecimentos por financiamento registrados no indicador FU (*Funding Acknowledgement*) da WoS, que apresenta as agências e outras instituições de fomento e número do subsídio. Foram analisados 2.459 artigos (72,56%⁸⁸)

⁸⁷ Os investimentos publicamente orientados referem-se aos investimentos privados induzido por políticas públicas. Ele é compulsório para empresas de energia e os projetos de P&D são regulados pela ANEEL e ANP (EPE, 2023).

⁸⁸ Ou 64,92% do número total de artigos (n=3.788).

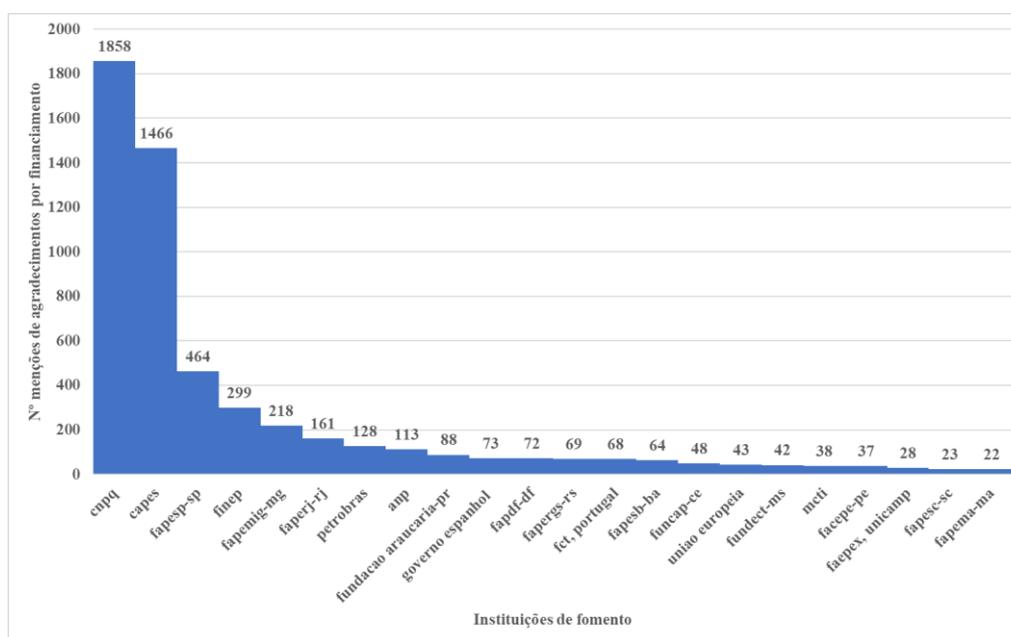
do total de 3.389 artigos indexados na *WoS*, tornando essa amostra significativa para a análise do financiamento de pesquisa com biodiesel.

Previamente, é importante enfatizar que a falta de padronização e heterogeneidade dos dados obtidos levou a construção de uma metodologia para deduplicar e desambiguar os nomes das agências e outras instituições de fomento. Foram utilizadas diferentes técnicas para determinar a similaridade entre os nomes, como *fingerpint* e vizinhos próximos. Para isso, o software livre *OpenRefine* (versão 3.7.7) e suas técnicas de cluster e edição, filtros de texto e transformações em massa foram utilizadas (OPENREFINE, 2024).

Foi observado poucas menções de financiamento nos artigos publicados entre 2004 e 2007 (n=8). Os anos que ocorreram maiores menções foram: 2017 (n=235), 2019 (n=215); 2018 (n=200) e 2020 (n=194). Essa concentração no quarto quinquênio pode estar ligada ao lançamento de portarias, determinando a obrigatoriedade de identificação da fonte de financiamento nos trabalhos publicados, como a portaria Capes nº 206, de 4 de setembro de 2018 (BRASIL, 2018b), seguida por outras agências e instituições de fomento.

Para identificar as principais agências de fomento, instituições e áreas de pesquisa contempladas, foi aplicada a Lei de Pareto (80/20) no conjunto de dados. O Gráfico 8 traz as principais agencias financiadoras e os respectivos números de menções por agradecimento recebidos por elas.

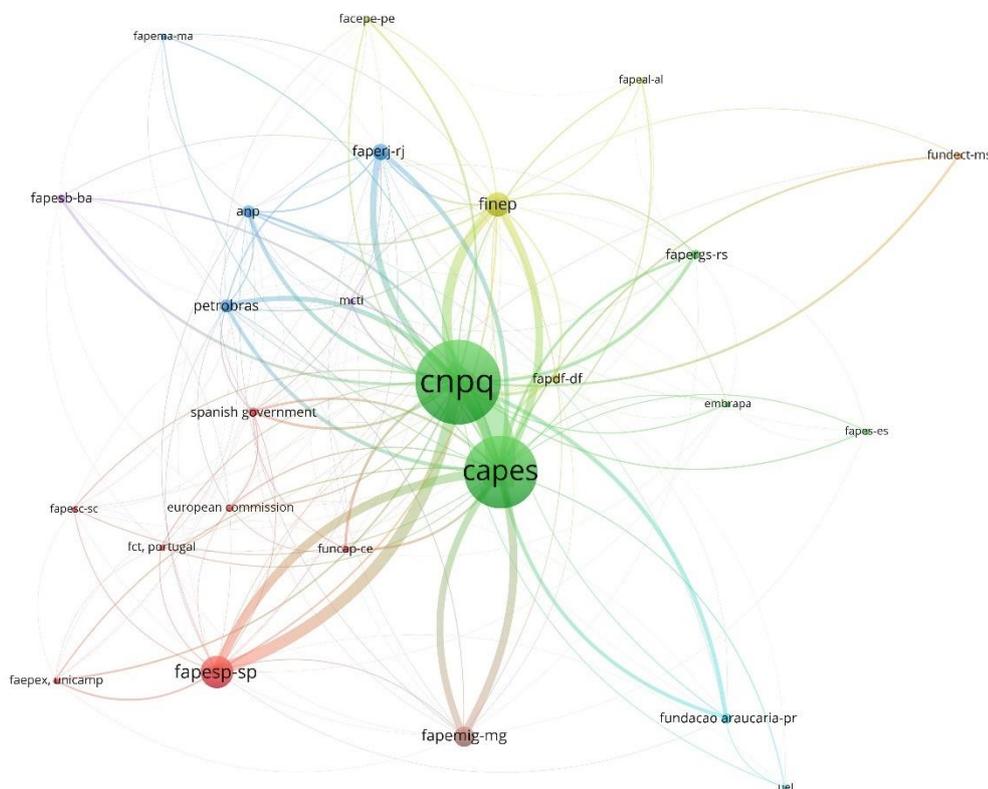
Gráfico 8 - Órgãos que mais financiaram pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

A Figura 36 apresenta as relações de concorrência dos termos com base no número de documentos nos quais eles ocorrem juntos.

Figura 36 - Rede de financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

As duas imagens deixam claro que o CNPq e a CAPES são os atores centrais para viabilizar as pesquisas em biodiesel no Brasil, concentrando cerca de 50% das menções. Elas são as instituições com maior força total de ligação, ou seja, as mais interdisciplinares e conectadas com outras instituições de fomento.

Já com relação às FAPs, foram identificadas 21 agências distribuídas por todas as regiões do país, demonstrando também seu papel central no financiamento. Destacam-se a FAPESP de São Paulo (3ª posição), a FAPEMIG de Minas Gerais (5ª posição), a FAPERJ do Rio de Janeiro (6ª posição), a Fundação Araucária do Paraná (9ª posição), a FAPDF do Distrito Federal (11ª posição) e FAPERGS do Rio Grande do Sul (12ª posição). As FAPs da região Nordeste mais bem raquetada foram a FAPESB da Bahia (14ª posição) e a Funcap do Ceará (15ª posição).

Essa participação das FAPs nos financiamentos de pesquisas com biodiesel pode ser atribuída a uma estratégia do MCTI, que adotou como uma de suas primeiras iniciativas na coordenação do braço do desenvolvimento tecnológico do biodiesel no âmbito do PNPB à estruturação de programas de desenvolvimento tecnológico em parceria com os estados.

Quanto ao financiamento por parte de instituições internacionais, destacam-se o governo da Espanha (10^a posição), a Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal (13^a posição) e Comissão Europeia (16^a posição), denotando financiamentos em pesquisas bilaterais ou multilaterais.

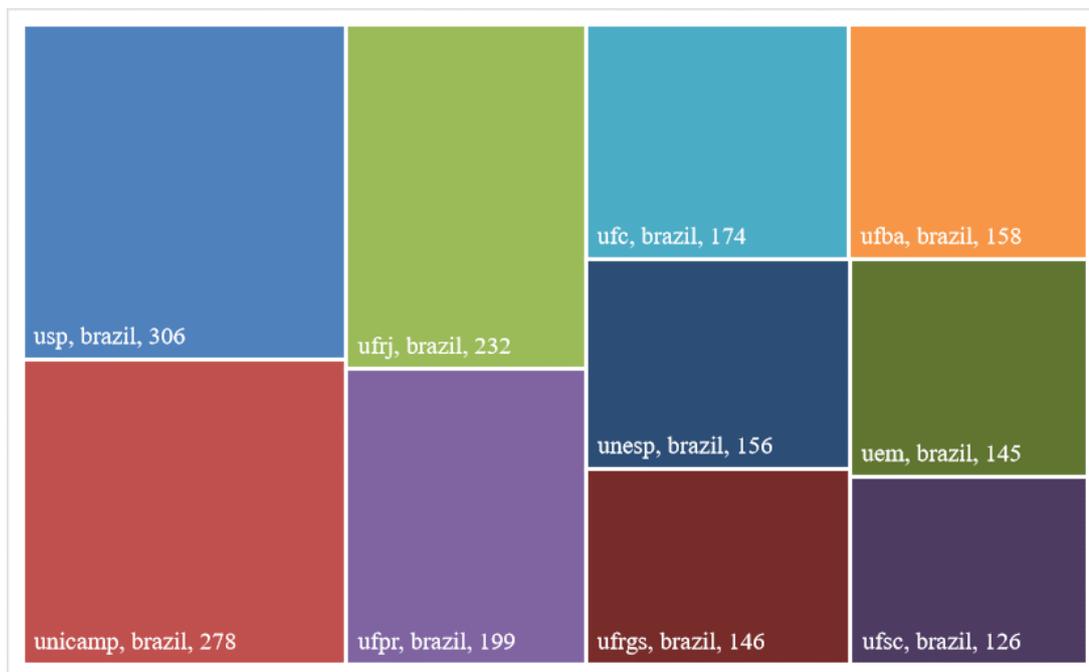
No caso das empresas, destacam-se a Finep (4^a posição), a Petrobras (7^a posição) e a ANP (8^a posição). A Finep vem financiando P&D em biodiesel por meio de recursos como o FNDCT e ações transversais e verticais dos fundos CT-ENERG, CT-PETRO, CT-AGRO e CT-INFRA. Portanto, essas menções são fruto dos resultados de pesquisas desenvolvidas com recursos provenientes desses fundos. Quanto à ANP, o número elevado de menções pode ter ocorrido devido à existência de programas P&D de financiamento publicamente regulados por essa agência, como mencionado anteriormente.

A Petrobras vem apoiando projetos de pesquisa em biodiesel como o Dendiesel (1984) e o Probiodiesel (2002). Ela tem participado ativamente do PNPB em várias áreas de pesquisa, além de cooperar com a RBTB em diversas ações, como o Programa de Redes de Pesquisa (2010-2015), no qual foram firmados convênios de cooperação com o Cenpes, seu principal centro de pesquisa.

Com relação as instituições que receberam recursos, a análise do indicador FU possibilitou a identificação de 678 ICTs. Dentre essas, 96 ICTs foram responsáveis por 80% das menções de financiamento na seção de agradecimentos dos artigos analisados. A maioria delas são públicas (n=74; 77,08%), seguidas pelas privadas (n=18; 18,75%). Neste *ranking* aparecem ICTs estrangeiras (n=4; 4,17%,).

A região Sudeste concentra 53 das 96 ICTs, seguida pelas regiões Sul (20), Nordeste (18), Centro-Oeste (8) e Norte (3). O Gráfico 9 apresenta as dez instituições com mais menção de agradecimentos por financiamento.

Gráfico 9 - ICTs que mais receberam financiamento de pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

O Gráfico 9 revela uma discrepância no financiamento de pesquisa entre as regiões Sul/Sudeste e Norte/Nordeste, que pode ser explicada por diversos fatores, como o maior dinamismo econômico, a infraestrutura científica mais consolidada, a tradição dos grupos de pesquisa em captar recursos junto às agências federais e as políticas específicas dos governos estaduais para fomentar projetos em áreas como biocombustíveis.

Quanto aos estados com maior produção de biodiesel no Brasil, apenas instituições do Rio Grande do Sul e Paraná figuram no ranking das principais beneficiadas por recursos de fomento à pesquisa (Gráfico 9). Outros estados produtores como Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul não ranquearam, denotando a ausência de correlação entre a destinação espacial dos investimentos públicos em P&D e o nível de produção estadual de biodiesel. Esse fato converge com a constatação (RIBEIRO, 2019) sobre a discrepância na distribuição regional do financiamento para pesquisas em biodiesel no país.

A seguir, foram analisadas as áreas de pesquisa que mais receberam menções de agradecimentos a financiamentos em pesquisas sobre biodiesel, um padrão já identificado anteriormente foi percebido: as três primeiras posições são ocupadas por Energia e Combustíveis e Engenharias (377 menções), Química (n=331) e Agricultura (n=164), revelando uma concentração de financiamentos voltados para estudos de aspectos tecnológicos/produtivos, propriedades químicas e matérias-primas.

Além do mais, a alta frequência de associações entre Energia, Química e Engenharias (103) e dessas três áreas com Agricultura e Biotecnologia (n=86) corrobora com a tese sobre a importância de financiamentos a projetos multidisciplinares, que integrem distintas etapas do ciclo de vida do biodiesel.

De forma geral, os investimentos em áreas-chave já mapeadas refletem um alinhamento entre a distribuição geral de pesquisas em biodiesel e a alocação de recursos por parte das agências financiadoras.

Por fim, cabe mencionar que, devido à heterogeneidade dos dados e à ausência de informações sobre o montante destinado a cada projeto financiado, a análise se ateve às menções de agradecimentos, não aos valores específicos dos aportes.

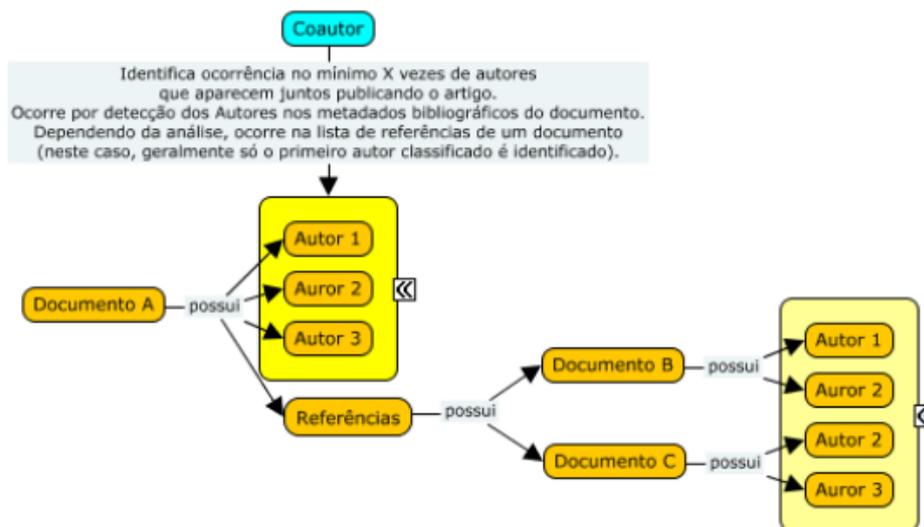
Dessa forma, o exposto serve como indicativo das principais instituições fomentadoras, ICTs e áreas de pesquisa com maior frequência de agradecimentos em estudos sobre biodiesel. Não se pode inferir, portanto, quais entidades e domínios foram contemplados com os maiores repasses financeiros em termos absolutos. Logo, embora contribua para demonstrar tendências, a abordagem adotada apresenta limitações em relação a conclusões categóricas sobre o financiamento da pesquisa nacional nesse campo.

4.2.5 Análise de colaboração

Esta seção analisa e discute as colaborações estabelecidas pelo Brasil em pesquisas com biodiesel em dois níveis: países e ICTs e pesquisadores. Para isso, utilizou-se a análise de coautoria por meio do *software VOSViewer* (VAN ECK; WALTMAN, 2010) para visualizar e examinar as redes de colaboração criadas por pesquisadores ao coautorar artigos científicos (Figura 37).

A coautoria de publicações científicas é considerada uma medida de colaboração que reflete laços sociais mais fortes do que outras formas de relacionamento, o que a torna adequada para examinar redes de colaboração científica em vez de estruturas intelectuais de campos de pesquisa (ZUPIC; ČATER, 2015).

Figura 37 - Esquema de análise de coautoria



Fonte: Gianordoli (2018)

Ao revelar a estrutura das redes, a análise de coautoria acaba fornecendo também orientações sobre tendências de pesquisa, identificação de grupos de pesquisa e mapeamento de colaborações dentro de comunidades acadêmicas específicas, além de destacar o networking na produção de conhecimento científico e a influência das redes na disseminação e no impacto das pesquisas (KUMAR, 2015).

Por fim, a análise de coautoria não apenas revela a estrutura das redes de colaboração, mas também auxilia na identificação de lacunas de pesquisa, na localização de potenciais colaboradores e na criação de parcerias estratégicas. Ao compreender a dinâmica das redes de coautoria em pesquisas com biodiesel, é possível orientar estratégias de pesquisa, identificar oportunidades de inovação e promover o desenvolvimento sustentável do campo.

4.2.5.1 Redes colaborativas em pesquisa com biodiesel: países

As relações de colaboração internacional do Brasil em pesquisas com biodiesel foram mapeadas com base na coautoria entre países das instituições identificadas nos artigos científicos analisados. A análise de coautoria foi realizada utilizando o método de contagem

completa⁸⁹, tendo o país como unidade de análise. Não foram estabelecidos critérios de quantidade mínima de documentos para inclusão dos países na rede.

Foram identificados 817 documentos brasileiros em coautoria com outros 64 países, o que representa 21,57% dos 3.788 artigos da amostra. Os países que o Brasil mais estabeleceu colaboração foram: Espanha (115), EUA (103), Portugal (86), Colômbia (46), France (41), Inglaterra (40), Alemanha (34), Canadá (32), Argentina (25), Índia (24) e Moçambique (24)

A análise da evolução das colaborações internacionais do Brasil em pesquisas com biodiesel revelou um crescimento significativo ao longo do tempo. No período de 2004 a 2008, apenas 8 países colaboraram com o Brasil, com destaque para Espanha, França e Estados Unidos, cada um com 4 documentos em coautoria. Entre 2009 e 2013, esse número aumentou para 34 países, sendo que 13 deles possuíam mais de 5 documentos em colaboração. Nesse período, Portugal (13 documentos), Estados Unidos (21), França (14), Argentina (13) e Espanha (13) se destacaram como os principais parceiros.

De 2014 a 2018, houve uma expansão para 47 países, liderados pelos Estados Unidos (50 documentos), Espanha (49), Portugal (28) e Colômbia (26), em termos de colaborações. Neste período, se consolida as principais parcerias atuais, envolvendo países como Estados Unidos, Portugal, Espanha, Argentina e França. Um dos possíveis estímulos para o aumento da colaboração internacional pode ter sido o lançamento as ENCTI 2012-2015 e 2016-2022. Esta última selecionou onze temas em CT&I para o desenvolvimento, autonomia e soberania nacional e formulou ações para fortalecer o PNPB, consolidar a base tecnológica e aumentar a competitividade do biodiesel (MCTIC, 2016a).

Finalmente, entre 2019 e 2023, foram identificados 54 países colaborando com o Brasil: Espanha (65 documentos), Estados Unidos (36), Portugal (33), Inglaterra (26) e Colômbia (19) sendo os destaques. Nesse último quinquênio, também se observou o estabelecimento de uma colaboração entre Brasil e China, com 7 documentos em coautoria.

A Figura 38 apresenta a rede de coautoria entre países nas pesquisas com biodiesel, centrada no Brasil (rede egocêntrica). Cada nó representa um país, e dois países foram considerados conectados se suas instituições estavam presentes como coautoras em um mesmo artigo. Quanto as arestas (ligações), somente aquelas com mais de 20 ligações são visíveis e a espessura é proporcional à força da colaboração entre dois países. A cor representa o ano médio de publicação dos documentos em coautoria. O tamanho dos nós é proporcional à sua centralidade de grau, ou seja, ao número de conexões (coautorias) que cada país possui na rede.

⁸⁹ Na contagem completa (*full counting*), cada link de coautoria, coocorrência, acoplamento bibliográfico e citação terá o mesmo peso (VAN ECK; WALTMAN, 2010)

Foram identificadas 866 ICTs, sendo que 113 (13%) responderam por 80% dos documentos publicados na área de biodiesel no Brasil. Dessas 113 ICTs, 102 são brasileiras, 4 portuguesas, 3 espanholas, 2 colombianas, 1 holandesa e 1 moçambicana. São 83 universidades (73,45%), 15 institutos federais (13,27%) e 15 institutos de pesquisa (13,27%).

Quanto à distribuição geográfica das ICTs brasileiras, a região Sudeste lidera com 35 ICTs, seguida pelas regiões Nordeste (27), Sul (23), Centro-Oeste (11) e Norte (6). É importante destacar que, aparentemente, não há uma relação direta entre a distribuição geográfica das ICTs e os estados com maior produção de biodiesel no Brasil, fato também observado por RIBEIRO (2019).

Ademais, fatores como o histórico das ICTs, sua expertise acumulada em pesquisas relacionadas a biocombustíveis, disponibilidade de recursos financeiros e orientações de políticas públicas podem ter influenciado no direcionamento de pesquisas voltadas para o biodiesel nessas instituições.

Em seguida, a Lei de Elitismo de Price, utilizada para identificar o grupo de elite em uma determinada área de pesquisa, foi aplicada. De acordo com essa lei, a raiz quadrada do número total de produtores (instituições, neste caso) é aproximadamente igual ao número de produtores que compõem o grupo de elite (FERNANDES et al., 2020). Assim, um grupo formado por 29 instituições forma a elite das ICTs com maior produção (Quadro 30).

Quadro 30 - ICTs mais ativas em pesquisa com biodiesel no Brasil (2004-2023)

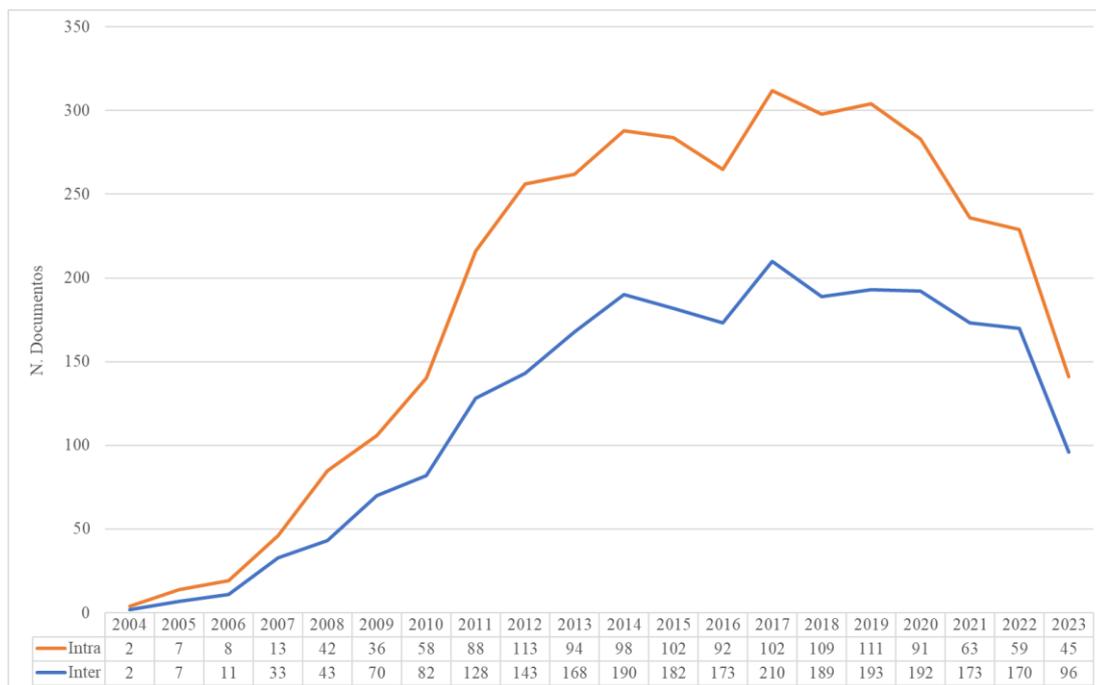
ICT	Tipo	UF	Região	Nº Documentos
USP	Universidade	SP	SE	381
Unicamp	Universidade	SP	SE	342
UFRJ	Universidade	RJ	SE	323
UFPR	Universidade	PR	S	230
UFC	Universidade	CE	NE	220
UNESP	Universidade	SP	SE	205
UFBA	Universidade	BA	NE	203
UEM	Universidade	PR	S	188
UFRGS	Universidade	RS	S	166
UFSC	Universidade	SC	S	161
UFMG	Universidade	MG	SE	155
Embrapa	Empresa Pública	DF	CO	143
UFPB	Universidade	PB	NE	122
UFV	Universidade	MG	SE	121
UFG	Universidade	GO	CO	119
UFU	Universidade	MG	SE	110
UnB	Universidade	DF	CO	106
UFPE	Universidade	PE	NE	102
UFSCar	Universidade	SP	SE	102
UFF	Universidade	RJ	SE	98
UFRN	Universidade	RN	NE	97
UEL	Universidade	PR	S	95

UFMS	Universidade	RS	S	95
UTFPR	Universidade	PR	S	92
Unioeste	Universidade	PR	S	84
UFPA	Universidade	PA	N	75
Inmetro	Agência Executiva	RJ	SE	68
UFAL	Universidade	AL	NE	67
FURG	Universidade	RS	S	64

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Com exceção da Embrapa e do Inmetro, o grupo de elite é dominado por universidades, o que representa uma mudança em relação a programas de fomento anteriores, como o Oveg, o Prodieisel e o Dendiesel, coordenados pela STI/MIC, que priorizou institutos de pesquisa. Por outro lado, o MCTI buscou a criação de um programa inclusivo ao formar uma rede de pesquisa estruturada, envolvendo massivamente universidades e centros de pesquisas, para superar gargalos do PNPB (CCTCI, CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003). Essa estratégia pode ter contribuído para a grande adesão das universidades nesse programa, já que é um programa de caráter inclusivo.

Quanto ao tipo de colaboração, foram identificados dois tipos: colaboração intrainstitucional e colaboração interinstitucional. A primeira, com 1.333 registros (35,19% do total), ocorreu dentro da mesma instituição, envolvendo, em média 3 unidades de pesquisa, sejam departamentos, laboratórios ou grupos de pesquisa. A segunda, com 2.455 registros (64,81% do total), refere-se à cooperação entre diferentes instituições, como universidades, institutos de pesquisa, grupos de pesquisa, empresas, entre outras. No total, apenas 5 instituições não estabeleceram vínculos de colaboração intra ou interinstitucional, uma informação que reforça a ideia de trabalho em rede para o desenvolvimento tecnológico e superação de gargalos relacionados ao biodiesel no Brasil. O Gráfico 10 mostra a evolução desses dois tipos de colaboração ao longo do período analisado.

Gráfico 10 - Evolução das colaborações intrainstitucional e interinstitucional (2004-2023)

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Observa-se uma tendência geral de crescimento tanto nas colaborações intrainstitucionais quanto nas interinstitucionais relacionadas a pesquisas na área de biodiesel. De 2004 a 2007, os dois tipos de colaboração apresentaram valores relativamente baixos e mantiveram-se em patamares semelhantes. A partir de 2007, houve um aumento acentuado em ambas as colaborações, com uma taxa de crescimento de 200% para as colaborações interinstitucionais e 62,5% para as intrainstitucionais.

Esse crescimento expressivo se estendeu até o período de 2009 a 2013. Nesse período, uma série de programas foram iniciados no âmbito da PDP com o intuito de fortalecer a indústria de biodiesel. Destacam-se: Programa de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel, o Programa de Redes de Pesquisa da Petrobras, Programas INCTs e a Rede Microalgas para a Produção de Biodiesel.

Durante os anos de 2014 a 2018, as colaborações interinstitucionais se mantiveram em níveis elevados, enquanto as intrainstitucionais apresentaram um crescimento mais modesto. No entanto, a partir de 2019, houve uma tendência de declínio em ambos os tipos, sendo mais acentuada nas colaborações intrainstitucionais. Essa queda pode ter correlação com o corte de verbas para pesquisas iniciadas em 2015, como foi discutido na seção sobre financiamento.

Embora ambos os tipos de colaboração sejam relevantes, a análise subsequente focou nas colaborações interinstitucionais. Essa decisão foi tomada, devido às limitações nos

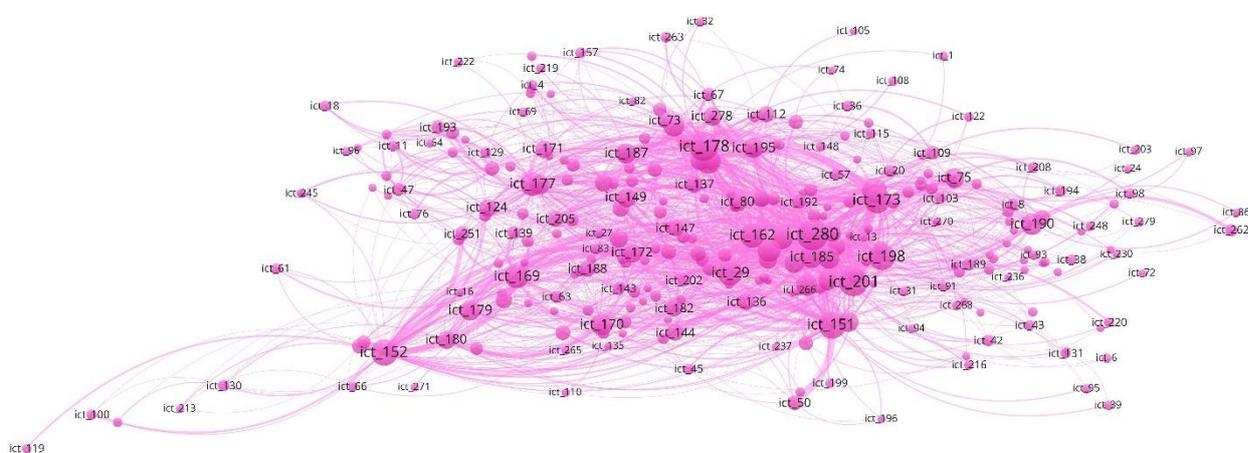
metadados referentes às colaborações intrainstitucionais, o que inviabilizam a criação e análise precisa e confiável de redes, envolvendo esse tipo de colaboração. Assim, foram criadas redes de colaborações interinstitucionais, a partir de metadados de afiliação de autores de 2544 artigos.

O parâmetro adotado para a construção dos mapas de rede levou em consideração um número mínimo de documentos por ICT, neste caso, mínimo 3 documentos. Dentre as 861 ICTs encontradas na base, 284 atendiam a essa condição. A escolha de, no mínimo, 3 documentos/ICT como critério, busca um equilíbrio entre a captura da continuidade das pesquisas com biodiesel e a representatividade das instituições.

A rede apresentada (Figura 39) cobre um período de 20 anos e representa um protótipo de redes complexas em evolução com uma estrutura topológica não trivial de conexão, podendo ser analisada de forma estática ou dinâmica, conforme BARABÁSI e PÓSFAI (2016).

Cada nó da rede representa um autor e cada linha indica uma relação de coautoria entre duas ICTs conectadas. O tamanho dos nós indica a quantidade de artigos coautorados, enquanto a distância entre dois nós oferece uma indicação de proximidade. A espessura da linha revela os “laços”, quanto mais espessa a linha, maior a força da relação entre os autores e o tamanho dos nós é proporcional à sua centralidade de grau, ou seja, ao número de conexões (coautorias) que cada ICT possui na rede.

Figura 39 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (2004-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

A rede geral de coautorias envolvendo ICTs é formada por um único componente, indicando que todos os nós estão interligados por caminhos de coautoria e apresenta um único cluster, sugerindo uma comunidade de pesquisa coesa sobre o tema do biodiesel. São 284 nós,

representando as ICTs e 1.962 arestas, denotando as relações de coautoria entre elas. A rede é bidirecional ou não dirigida, ou seja, as conexões entre os nós não possuem uma direção específica.

O diâmetro, que representa a maior distância geodésica entre quaisquer dois nós (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006) é de 4, demonstrando que a informação pode fluir de forma relativamente eficiente na rede.

Já a densidade, calculada como a razão entre o número de arestas existentes e o número máximo possível de arestas (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006) é de 0,049. Isso indica que a rede está conectada a aproximadamente 5% do total possível de conexões, indicando que ela é fracamente conectada. Por outro lado, o grau médio de 13,82 aponta que cada instituição está conectada a aproximadamente 14 outras instituições, ou seja, algumas instituições têm um número significativamente maior de conexões, elevando a média geral.

Após o levantamento e descrição dos indicadores básicos, uma análise topológica da rede foi realizada com a aplicação do método de Watts e Strogatz. Para isso, uma rede aleatória comparável à rede real foi criada utilizando o modelo de Erdős e Rényi (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006). Em seguida foram calculados e comparados os coeficientes de aglomeração e comprimentos médios das duas redes.

O coeficiente de aglomeração da rede real (0,562) é significativamente maior do que o coeficiente da rede aleatória (0,049), enquanto os comprimentos médios dos caminhos mais curtos das duas redes foram similares (rede aleatória = 2,42 e rede real = 2,385). Esses resultados sugerem a presença de uma estrutura de mundo pequeno na rede de ICTs, na qual a maioria dos nós está ligada a "vizinhos próximos", mas também existem conexões de longo alcance que permitem alcançar qualquer outro nó na rede em poucos passos. Isso torna a rede de ICTs eficiente na transmissão de informações e recursos entre seus participantes, o que demonstra a sinergia entre os membros da RBTB.

Quanto a distribuição de graus, esta ocorreu de maneira não uniforme na rede, variando 1 a 119. Essa heterogeneidade faz com que a rede de ICTs se encaixe na estrutura de rede livre de escala, cuja distribuição de graus segue uma lei de potência (NEWMAN, 2018).

Essa estrutura confere à rede uma resistência contra falhas aleatórias, porém a torna vulnerável a ataques coordenados contra os nós altamente conectados (*hubs*) (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006). Importante destacar que a rede de ICTs apresenta simultaneamente as propriedades de "mundo pequeno" e livre de escala, um indicador de que ela é uma rede eficiente na propagação de informações, com caminhos curtos entre os nós, mas

também com uma estrutura hierárquica, onde alguns *hubs* desempenham um papel central na conectividade dos nós.

Após definir as propriedades da rede real, o próximo passo foi analisar as principais ICTs classificadas de acordo com as centralidades de grau (*degree*), de proximidade (*closeness centrality*) e de intermediação (*betweenness centrality*) foram: as ict_280, ict_201 e ict_198, respectivamente a USP, Unicamp e Unesp, todas localizadas em São Paulo (Sudeste).

Por possuírem os maiores graus de centralidade, essas instituições são as mais conectadas e atuam como os principais hubs da rede, com relacionamentos ativos com outras ICTs de grau elevado e agências de fomento, como demonstrado na subseção que discutiu o financiamento da pesquisa. Elas possuem as maiores centralidade de proximidade, se posicionando estrategicamente na rede, próximas de um grande conjunto de instituições. Com alta centralidade de intermediação, essas ICTs também controlam o fluxo de informações e atuam como pontes para conectar diferentes grupos ou comunidades dentro da rede de colaborações.

O Quadro 31 apresenta as ICTs com maiores números de colaborações de coautoria e que desempenham um papel crucial na manutenção da conectividade e na propagação de informações e recursos dentro da rede de ICTs.

Quadro 31 - Principais ICTs de acordo com as métricas de centralidade (2004 – 2023)

ID	ICTs	UF	Região	Centralidade de Grau	Nº Publicações
ict_280	USP	SP	Sudeste	119	284
ict_201	Unicamp	SP	Sudeste	93	229
ict_198	Unesp	SP	Sudeste	91	156
ict_152	UFC	CE	Nordeste	79	169
ict_151	UFBA	BA	Nordeste	76	158
ict_178	UFRJ	RJ	Sudeste	76	224
ict_162	UFMG	MG	Sudeste	71	119
ict_29	Embrapa ⁹⁰	DF	Centro-Oeste	7	134
ict_184	UFSC	SC	Sul	69	139
ict_173	UFPR	PR	Sul	62	158

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Todas as dez primeiras instituições elencadas no Quadro 31 são públicas e universidades, com exceção da Embrapa. A expertise em pesquisa com biodiesel de algumas dessas ICTs data

⁹⁰ A Embrapa possui cerca de 43 centros de pesquisa, mas esta pesquisa a dividiu em dois grupos: Embrapa Agroenergia e Embrapa e sua sede em Brasília-DF foi escolhida com endereço.

do início da década de 1980, outras do início dos anos 2000, quando foi implementado o Probiodiesel e, logo depois, o PNPB.

Além de serem os principais hubs da rede, essas ICTs possuem uma grande importância nacional e regional, em pesquisa com biodiesel. A UFBA (5ª colocação), por exemplo, liderou os esforços da RBB, implementando uma planta piloto de biodiesel e consolidando parcerias com instituições locais, como: Senai Cimatec, UFRB (ICT_176), IFBA (ICT_50), Unifacs (ICT_204), UESC (ICT_145) e UESB (ICT_144).

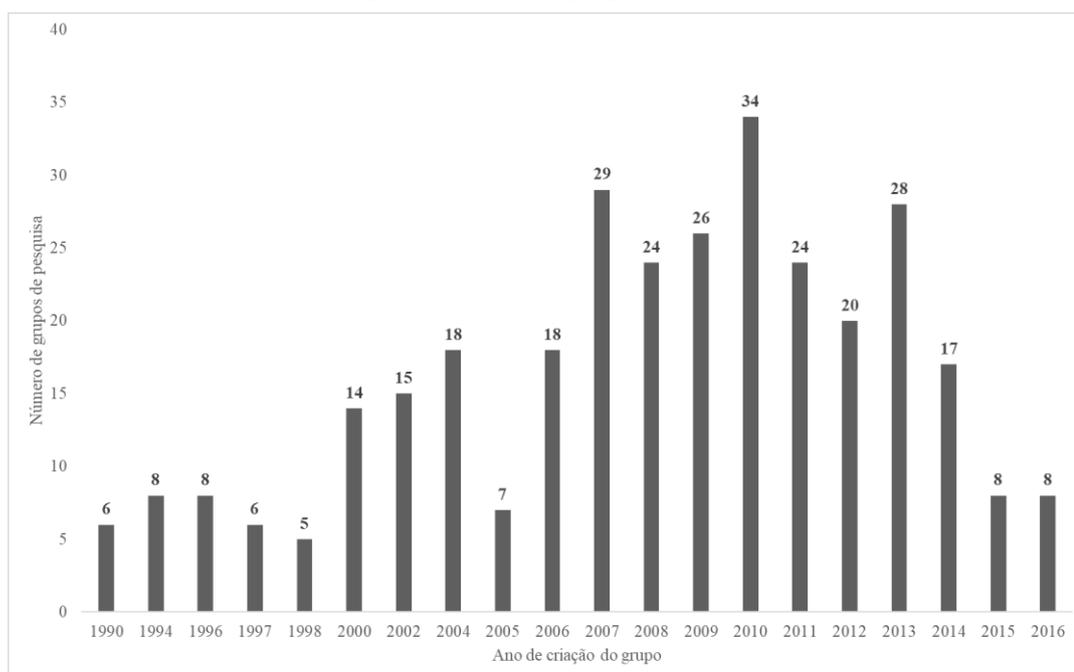
No âmbito nacional, alguns dos hubs listados no Quadro 31, coordenam um conjunto de institutos virtuais, multicêntricos e multidisciplinares P&D, denominado INCT. Ao entrar em operação em 2009, esses institutos podem ter contribuído para que a Unicamp, UFMG e UFBA alavancassem sua centralidade na rede, ao estabelecer colaborações com outras ICTs. Para se ter uma ideia, apenas o INCT E&A iniciou suas atividades reunindo 39 grupos de pesquisas de 12 instituições (FERNANDES et al., 2023). O Quadro 32 apresenta os INCTs com linhas de pesquisa relacionadas ao biodiesel.

Quadro 32 - INCTs com linhas de pesquisas relacionadas ao biodiesel

INCT	ICT	UF	Área de pesquisa relacionada ao biodiesel
INCT Tecnologias Ambientais Para a Valoração de Resíduos e Materiais Renováveis (INCT-MIDAS)	UFMG	MG	Biodiesel e bio-óleo: subprodutos e resíduos
INCT de Energia e Ambiente (INCT E&A)	UFBA	BA	Misturas etanol/biodiesel/diesel
INCT de Catálise em Sistemas Moleculares e Nanoestruturados (INCT Catálise)	Unicamp	SP	Catálise para a química sustentável que pode contribuir diretamente para a utilização de fontes alternativas de energias renováveis

Fonte: CNPQ (2021)

Outro fator que pode ter influenciado positivamente a centralidade de grau dos principais *hubs* é a existência de grupo de pesquisas com linhas de pesquisas direcionadas ao biodiesel (Gráfico 11). Para verificar isso, 323 grupos foram analisados, após uma busca realizada na plataforma computacional para integração, visualização e prospecção de dados científicos BrCRIS (IBICT, 2023).

Gráfico 11 - Distribuição de grupos com linhas de pesquisa envolvendo biodiesel

Fonte: elaborado pelo autor com dados do BrCRIS (IBICT, 2023)

Em seguida, levantou-se o número de grupos por instituições. As ICTs mais representativas (Quadro 33) abrigaram 43% dos grupos de pesquisas com linhas de pesquisas voltadas para o biodiesel.

Quadro 33 - Distribuição de grupos com linhas de pesquisa envolvendo biodiesel por ICTs

Sigla	Estado	Região	Número de Grupos
UFRJ	RJ	Sudeste	16
UNESP	SP	Sudeste	12
UTFPR	PR	Sul	10
EMBRAPA	-	-	7
UFMT	MT	Centro-Oeste	7
UFV	MG	Sudeste	7
UFC	CE	Nordeste	7
UFPR	PR	Sul	7
USP	SP	Sudeste	7
IFBA	BA	Nordeste	6
UFBA	BA	Nordeste	6
UFU	MG	Sudeste	6
UERJ	RJ	Sudeste	6
IFGO	GO	Centro-Oeste	5
IFMA	MA	Nordeste	5
UNICAMP	SP	Sudeste	5
UFRRJ	RJ	Sudeste	5
UFCG	PB	Nordeste	5
UFMG	MG	Sudeste	5
UFPE	PE	Nordeste	5

Fonte: elaborado pelo autor com dados do BrCRIS (IBICT, 2023)

A análise dos dados indica que várias ICTs com alta centralidade de grau também estão entre aquelas com maior número de grupos de pesquisa em biodiesel. Por exemplo, UNESP, UFC, UFBA e UFRJ, que estão entre os principais *hubs*, possuem 12, 7, 6 e 16 grupos de pesquisa, respectivamente.

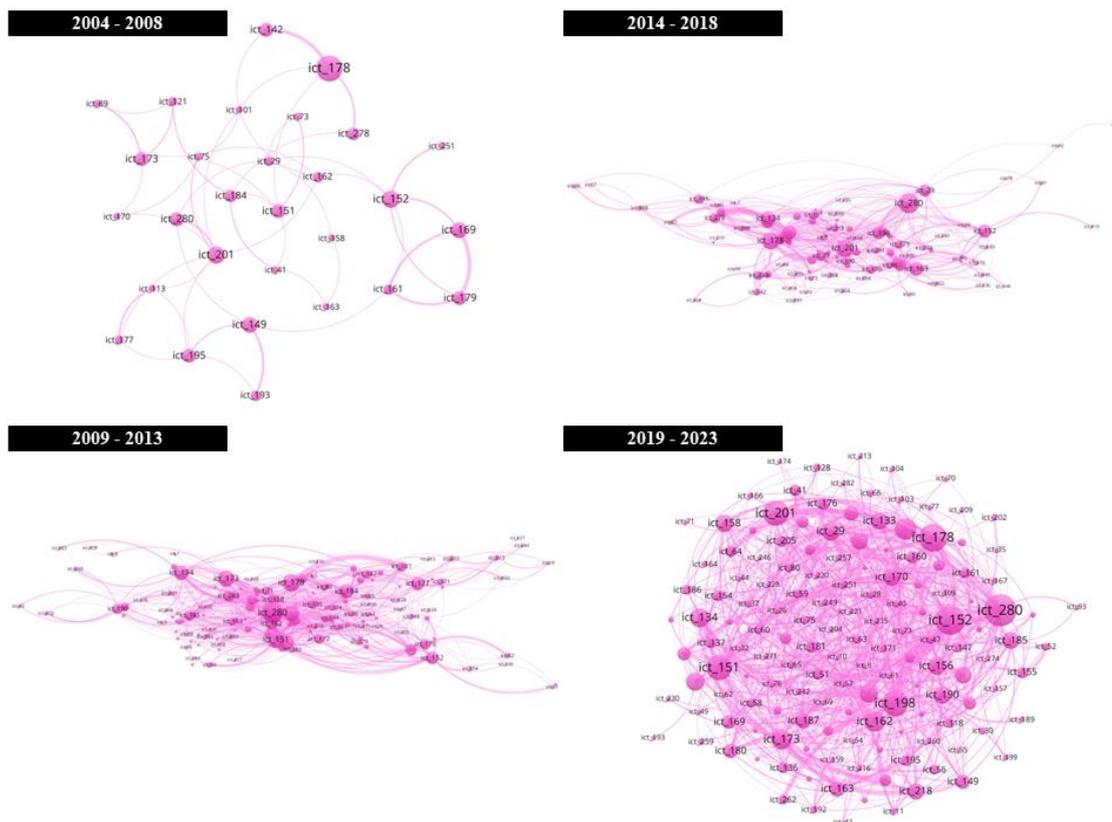
Essa sobreposição sugere a existência uma correlação positiva, que foi confirmada ao calcular o coeficiente de correlação de Pearson (FERNANDES et al., 2020) entre o número de grupos de pesquisa e a centralidade de grau das instituições que possuíam ambos os dados. Embora moderada, a correlação obtida de 0,60 indica uma correlação positiva entre o número de grupos de pesquisa e a centralidade de grau das instituições.

No entanto, como a correlação não implica necessariamente em uma relação causal, a centralidade de grau não depende exclusivamente de grupos de pesquisa, mas também de outros fatores, como a diversidade de áreas de pesquisa, colaborações com outras instituições e volume de publicações em geral. Por exemplo, a Unicamp ocupa a segunda posição em centralidade de grau, mas tem apenas 5 grupos de pesquisa em biodiesel listados.

Contudo, a existência desses grupos pode ter influenciado positivamente a centralidade de grau de várias ICTs, principalmente aquelas que combinam um alto número de grupos de pesquisa nessa área com outras atividades de pesquisa e colaborações interinstitucionais.

Uma vez finalizada a análise da rede geral (2004-2003), a análise recai sobre o desenvolvimento das ICTs de forma dinâmica. Assim, 4 redes com intervalos móveis de 5 anos foram construídas para cobrir todo o período de análise (Figura 40). Todos os parâmetros descritos no início desta subseção foram seguidos.

Figura 40 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (por quinquênio)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Observa-se que no período 2004-2008, a rede era relativamente pequena, com apenas 28 ICTs presentes. Neste período, a RBTB estava construindo seu plano de ação e sua estrutura organizacional, formada por cinco redes temáticas para cobrir todos os postos-chave da cadeia produtiva do biodiesel (JÚDICE, 2005) e muitas ICTs começavam a montar infraestruturas de pesquisa e de recursos humanos para pesquisas com biodiesel, via fundos setoriais (CEIB, 2006).

Os principais hubs nesse período eram: ict_201 (USP), ict_152 (Unicamp), ict_149 (UFRJ), ict_161 (UFPR) e ict_178 (UFSC). Esses hubs possuíam os maiores valores de força total de interação, indicando que estavam fortemente conectados a outras ICTs na rede. Outros hubs relevantes incluíam ict_169 (UFMG), ict_173 (Embrapa) e ict_121 (UNESP).

No período 2009-2013, o número de ICTs aumentou em aproximadamente 268% em relação ao número inicial, atingindo 103 instituições. Esse crescimento pode ter corrido em função dos investimentos supracitados e de outras ações, como a obrigatoriedade de utilização B2 e o lançamento do PDP, que colocou o PNPB com uma das prioridades estratégicas (IEDI, 2008; MCT, 2010; MENEZES, 2011).

Essas e outras ações, como o programa INCT (2008/2009), a criação do Programa Rede Microalgas para a Produção de Biodiesel (2009) e o Programa de Redes de Pesquisa da PB/Cenpes (2010), contribuíram para que o biodiesel deixasse de ser uma atividade portadora de futuro da PITCE, passando a ser um setor com potencial suficiente para fortalecer a base agroindustrial brasileira. Para isso, o setor dependia fundamentalmente de investimentos em P&D.

Os principais hubs nesse período foram: o ict_178 (UFSC), ict_162 (USP), ict_152 (Unicamp), ict_134 (UFRJ) e ict_169 (UFMG), já que possuem os maiores valores de força total de interação e arestas, indicando uma forte centralidade na rede. Destacam-se também os ict_107 (Embrapa), ict_280 (UFC) e ict_177 (UFBA).

Aos comparar os dois quinquênios, é possível observar algumas mudanças nos principais hubs. A USP, Unicamp, UFRJ e UFMG mantiveram-se como hubs centrais em ambos os períodos. A UFSC e a Embrapa ganharam maior centralidade, enquanto a UFC e a UFBA surgiram como novos hubs importantes no último quinquênio.

Entre 2014 a 2018, a rede continuou crescendo de forma modesta (49,5%) e alcançou 154 ICTs. Neste período, foi lançada a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022, que resultou no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis. Esse plano identificou os desafios tecnológicos para cadeia produtiva do biodiesel e propôs o fortalecimento de RBTB para superá-los (MCTIC, 2018).

Os principais hubs identificados foram o ict_187 (USP), ict_178 (UFSC), ict_162 (Unicamp), ict_134 (UFRJ) e ict_169 (UFMG). Destacam-se também a ict_173 (Embrapa), ict_280 (UFC), ict_156 (UFBA) e ict_191 (UFRN). Esta última não era tão central nos períodos anteriores.

Por fim, o período de 2019-2023 registra uma queda de 3,9% no número de instituições, retrocedendo para 148 ICTs, o que pode ter ocorrido em função do agravamento da crise política e econômica, levando a cortes orçamentários em pesquisas. Outro fator pode ter sido a pandemia da covid-19. Apesar dessa queda, a taxa de crescimento total ao longo de todos os períodos foi de 313,45%.

Os principais hubs identificados deste último período foram: ict_280 (UFC), ict_178 (UFSC), ict_152 (Unicamp), ict_116 (UFRJ) e ict_198 (USP). Outras ICTs proeminentes foram ict_170 (UFMG), ict_113 (UFBA), ict_184 (Embrapa) e ict_140 (Embrapa Agroenergia). Vale destacar que a UFC emergiu como o hub mais central nesse período, superando a USP e outras ICTs tradicionalmente mais centrais.

Ao comparar os dois últimos quinquênios, observa-se uma redistribuição da centralidade em algumas ICTs que perderam importância relativa, enquanto outras emergiram como novos centros de colaboração. USP, Unicamp, UFRJ, UFMG, UFBA e UFSC se mantiveram como hubs centrais, demonstrando a importância dessas instituições na rede. A ascensão de novas instituições é um sinal positivo de que o tema biodiesel ainda é de interesse de muitas ICTs, além de indicar a disseminação e o fortalecimento da RBTB em diferentes regiões do país. O Quadro 34 traz um comparativo das principais métricas de ARS por período.

Quadro 34 - Métricas de ARS por quinquênio

	2004-2008	2009-2013	2014-2018	2019-2023	Média
Métricas de ARS					
Nós	29	103	154	148	108,5
Arestas	50	477	809	800	534
Grau médio	1,724	4,631	5,253	5,405	4,253
Diâmetro	6	5	4	5	5
Densidade	0,123	0,091	0,069	0,074	0,089
Modularidade	0,637	0,475	0,415	0,459	0,500
Coefficiente de aglomeração médio	0,417	0,232	0,241	0,526	0,354
Comprimento caminho médio	3,032	2,353	2,391	2,407	2,546

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Os números apresentados no Quadro 34 reforça o que foi discutido, quando se refere ao crescimento da rede em termos de tamanho, com uma média de 108,5 nós e 534 arestas. Além disso, destaca o aumento constante no grau médio (média de 4,253), indicando uma maior conectividade entre as ICTs ao longo do tempo. Contudo, a densidade da rede ainda é relativamente baixa (média de 0,089), indicando que ela é pouco conectada, o que que ainda há muitas possibilidades de estabelecer de parcerias interinstitucionais para resolver gargalos da indústria de biodiesel.

Destaca-se também as métricas de modularidade e coeficiente de aglomeração médio. A primeira (média de 0,500), indica uma presença moderadamente definida de estruturas comunitárias na rede, ou seja, de um padrão em que os nós estão agrupados em comunidades com grande adensamento de conexões. Isso ocorre devido a diversos fatores, como proximidade geográfica, semelhança de interesses de pesquisa ou parcerias pré-existentes. Essa estrutura comunitária pode influenciar na forma como as informações e os recursos são compartilhados na rede, uma vez que as ICTs tendem a colaborar com outras instituições dentro da mesma comunidade do que com instituições de outras comunidades.

Já a segunda métrica (média de 0,354), aponta para uma tendência moderada de formação de aglomerados. Isso significa que as ICTs tendem a se conectar com outras

instituições que já estão conectadas entre si, formando pequenos grupos de colaboração. Essa tendência pode ser resultado de fatores como a confiança e a familiaridade entre as instituições, ou ainda a existência de projetos de pesquisa em comum.

A formação de aglomerados também pode ser um indicativo de que as ICTs estão se especializando em determinadas áreas de pesquisa, criando assim redes mais coesas e eficientes em termos de troca de informações e conhecimentos.

4.2.5.3 Análise de coautoria de autores

Tendo em vista que a análise das redes das ICTs se concentrou nas colaborações interinstitucionais, adotou-se o mesmo recorte para a criação e análise das redes de coautoria entre os autores. Essa medida buscou evitar distorções, permitir a comparabilidade dos resultados e manter o foco no objetivo principal do estudo em questão.

No total, foram identificadas 14.919 relações de coautoria nos 2.455 artigos. Quanto aos autores, foram contabilizados 7.956, sendo que 5.547 autores (69,72%) colaboraram em um único artigo, ao passo que os 2.409 autores (30,28%) remanescentes colaboraram em duas ou mais publicações. Esses dados apontam que a maioria dos autores não estabelece colaborações frequentes.

Com base na relação entre autores transitórios e prolíficos, determinou-se uma razão de 6,08 relações de coautoria distintas por artigo. Considerando que cada relação de coautoria é computada para cada par de autores em um artigo, obtém-se uma média situada entre 3 e 4 autores colaborando por artigo, valor que sugere um elevado nível de colaboração entre os autores da amostra analisada.

Também considerando a relação entre autores transitórios e prolíficos, foi verificada se a produtividade dos autores estava concentrada ou dispersa, obtendo o índice de 0,69. Esse valor aproxima-se de 1, tendendo mais para a concentração em um pequeno grupo de autores do que para a dispersão máxima. Isso evidencia que a produtividade está distribuída de forma relativamente desigual entre os autores, havendo alguns mais prolíficos que outros. Com base nesses dados, identificou-se um grupo de 529 autores (6,64%) que concentra uma quantidade expressiva de artigos, ao passo que 5.547 autores (69,72%) colaboraram em um único artigo cada.

Na sequência, aplicou-se a Lei de Elitismo de Price, que diz que a raiz quadrada do número total de autores produz aproximadamente o mesmo número de trabalhos que o restante dos autores (FERNANDES *et al.*, 2020). O propósito foi identificar o grupo de elite dentre os 529 autores mais produtivos. Assim, foram identificados 23 autores mais produtivos da amostra como mostra o Quadro 35.

Quadro 35 - Autores mais prolíficos em coautoria interinstitucional de artigos relacionados ao biodiesel

COD	AUTOR	ICT	ÁREA	Índice H (WoS)	Nº DOC.
P1	José Vladimir de Oliveira	UFSC (SC)	Eng. Química	18	59
P2	Antônio Gouveia de Souza	UFPB (PB)	Química	15	46
P3	Camila da Silva	UEM (PR)	Eng. Química	28	40
P4	Lúcio Cardozo-Filho	UEM (PR)	Eng. Química	38	39
P5	Heizir Ferreira de Castro	USP (SP)	Eng. Química	40	38
P6	Gleudson Giordano Pinto de Carvalho	UFBA (BA)	Zootecnia	22	34
P7	Antônio José de Almeida Meirelles	Unicamp (SP)	Eng. de Alimentos	43	33
P8	Paulo Anselmo Ziani Suarez	UNB (DF)	Química	23	33
P9	Douglas Queiroz Santos	UFU (MG)	Química	10	32
P10	Dionísio Borsato	UEL (PR)	Química	22	31
P11	Denise Maria Guimarães Freire	UFRJ (RJ)	Química	50	31
P12	Ronaldo Lopes Oliveira	UFBA (BA)	Zootecnia	20	31
P13	Ieda Maria Garcia dos Santos	UFPB (PB)	Química	33	30
P14	Donato Alexandre Gomes Aranda	UFRJ (RJ)	Química	29	29
P15	Waldomiro Borges Neto	UFU (MG)	Química	16	29
P16	Roberto Fernandez-Lafuente	ICP-CSIC ⁹¹ (ES)	Química	2	29
P17	Marcos Lúcio Corazza	UFPR (PR)	Eng. Química	34	28
P18	Leilson Rocha Bezerra	UFCG (PB)	Zootecnia	23	25
P19	Simoni Margareti Plentz Meneghetti	UFAL (AL)	Química	26	25
P20	Nelson Roberto Antoniosi Filho	UFG (GO)	Química	21	23
P21	Valter José Fernandes Júnior	UFRN (RN)	Química	27	23
P22	João AP Coutinho	Univ. Aveiro	Química	96	22
P23	Marcos Nogueira Eberlin	Unicamp	Química	71	21

Fonte: elaborado pelo autor com dados da WoS / Índice H de março 2024

Os 23 pesquisadores identificados como os mais prolíficos da amostra são, em sua maioria, homens (n=21) e das áreas de química (n=12) e engenharia química (n=6). A presença de pesquisadores da área de zootecnia (n=2) e engenharia de alimentos (n=1) sugere uma abordagem mais ampla, que pode envolver pesquisas voltadas para a produção de matérias-primas ou aproveitamento de coprodutos oriundos do processamento de matérias-primas para nutrição animal e alimentos.

⁹¹ Instituto de Catálise e Petroquímica é um centro de pesquisa que pertence ao Conselho Espanhol de Investigação Científica (CSIC)

Esses pesquisadores estavam afiliados a 17 ICTs, sendo 15 nacionais e 2 estrangeiras. No âmbito nacional, a distribuição desses pesquisadores ocorreu de forma variada pelo país. A região Nordeste destaca-se por abrigar 7 pesquisadores em 5 ICTs. A região Sudeste concentra também 7 pesquisadores em 4 ICTs. Em seguida, aparecem a região Sul com 5 pesquisadores em 4 instituições e a região Centro-Oeste com 2 pesquisadores de 2 instituições.

Essa dispersão geográfica desse grupo pode evidenciar uma capilaridade da produção científica de alto impacto no cenário nacional, não se restringindo a polos tradicionais de pesquisa. No entanto, é importante ressaltar que é necessária uma investigação mais aprofundada para confirmar essa tendência.

Dos 23 pesquisadores mais profícuos, 15 possuem bolsas de produtividade do CNPq, que são concedidas aos pesquisadores que se destacam entre seus pares. Destes, 13 estavam enquadrados na categoria A, que agrupa os pesquisadores de maior senioridade e liderança científica, sendo sete (P1, P4, P6, P7, P11, P12 e P18) no nível 1-A. Outros dois (P17, P23) estavam no nível 1-B, seguido por três (P13, P14 e P19) no nível 1-C, um (P3) no nível 1-D e dois (P10 e P21) na categoria 2.

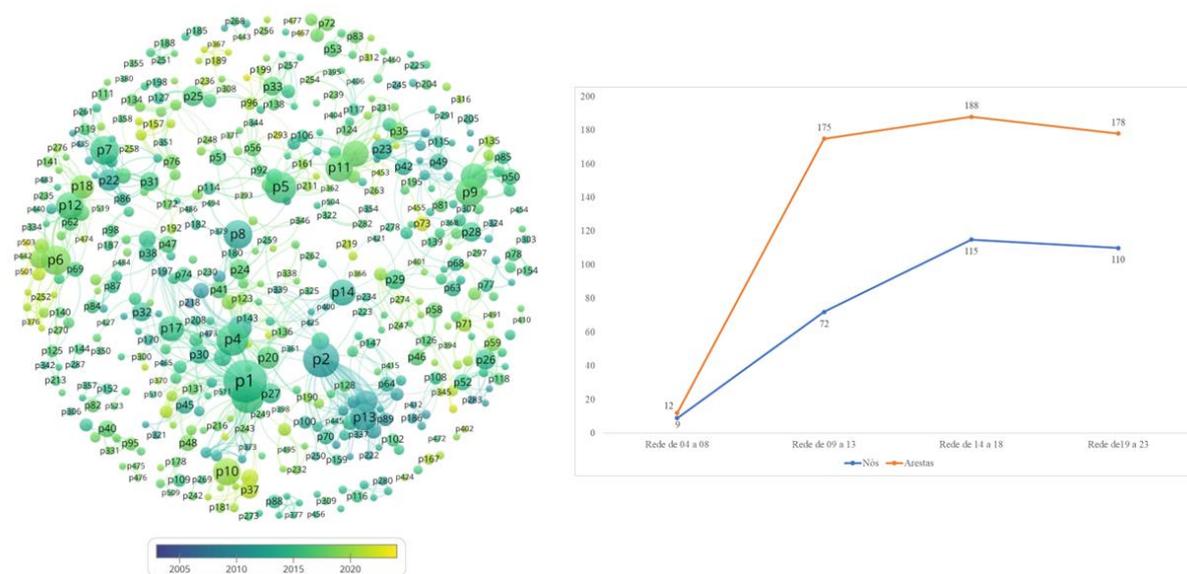
Alguns dos 23 pesquisadores são líderes de grupos de pesquisa certificados pelo CNPq e com linhas voltadas para o desenvolvimento tecnológico do biodiesel, como é o caso de P10 e P14. Foram identificados também três pesquisadores que participaram do projeto de implementação da RBTB em 2005, coordenando as subredes temáticas de produção (P8 e P19) e armazenamento (P2). Esses dados indicam que os pesquisadores mais profícuos têm um papel que vai além da produção de artigos científicos no que se refere ao processo P&D&I do biodiesel no Brasil.

Uma vez apresentados e discutidos os aspectos relacionados à produtividade dos autores, o passo seguinte consistiu em estabelecer o critério para a construção das redes de coautoria. Para tanto, definiu-se o mínimo de 5 artigos publicados por autor como linha de corte no VOSviewer para a criação das redes. Assim, foi obtida uma representação mais acurada das colaborações, evitando a inclusão de contribuições pontuais ou esporádicas que poderiam distorcer a estrutura das redes.

Dessa forma, foi criada uma rede (Figura 41) que cobre um período de 20 anos. Cada nó da rede representa um autor e cada linha indica uma relação de coautoria entre dois autores conectados. O tamanho dos nós indica a quantidade de artigos coautorados, enquanto a distância entre dois nós oferece uma indicação de proximidade. A espessura da linha revela os “laços”, ou seja, quanto mais espessa a linha, maior a força da relação entre os autores e o tamanho dos

nós é proporcional à sua centralidade de grau, ou seja, ao número de conexões (coautorias) que cada autor possui na rede.

Figura 41 - Rede geral de coautoria de autores (2004-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

A rede em formato circular é formada por 23 componentes conectados, reunindo 529 autores que estabeleceram 1878 conexões de coautoria. O maior componente reúne 484 autores (91,50%) conectados por 1840 dessas conexões (97,98%), indicando que esta comunidade de pesquisa é relativamente grande e unida por um número significativo de colaborações.

O número de nós e arestas aumentou significativamente ao longo desses 20 anos, saindo de 9 nós em 2004-2008 para 110 nós em 2019-2023, indicando um crescimento dessa comunidade de pesquisa. O mesmo aconteceu com o número de arestas, que saiu de 12 arestas em 2004-2008 para 178 arestas em 2019-2023, sugerindo mais colaborações entre os autores ao longo do tempo.

Também é importante destacar que o interesse no desenvolvimento de pesquisas em diferentes áreas da cadeia produtiva do biodiesel continua alta. Isso foi constatado ao analisar os anos médios das publicações dos autores, revelando que muitas delas são superiores a 2019 (em amarelo na rede).

O grau médio ficou em 7,1, revelando que cada autor possui, em média, 7 coautores diretos. Já a distância máxima entre dois autores quaisquer ou o diâmetro foi de 13 passos, indicando uma rede relativamente dispersa. A densidade ficou em 0,013, podendo ser

considerada baixa, pois nem todos os autores colaboram diretamente entre si, algo comum em redes científicas (BARABÁSI; PÓSFAL, 2016).

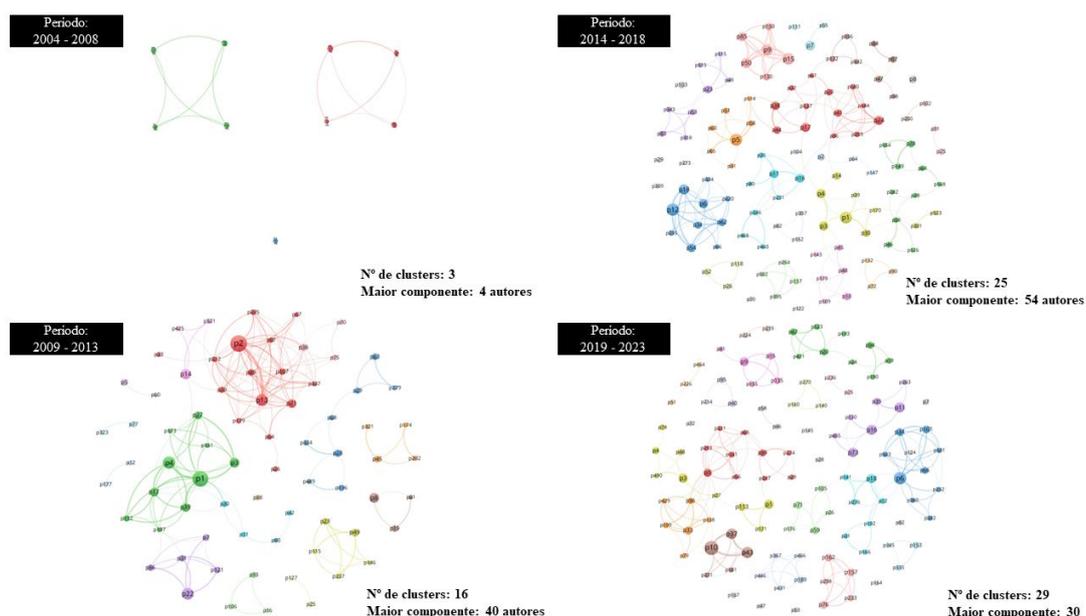
Com 48 clusters, a rede apresenta alta modularidade (0,854), mostrando que ela está dividida em comunidades ou clusters bem definidos. Já o coeficiente de aglomeração médio (0,664) sugere uma tendência moderada de formação de grupos densamente conectados.

As medidas de centralidade mostraram que alguns dos autores mais prolíficos se destacam em diferentes medidas, refletindo os diferentes papéis e posições que eles ocupam na rede de colaboração.

Em relação à centralidade de grau, dos 23 autores mais profícuos, 15 deles possuem alto grau e são hubs centrais da rede. Dentre eles, destacam-se os autores P2, P1, P20, P4 e P13, que possuem muitas conexões diretas de coautoria com outros autores, indicando que eles são altamente colaborativos e têm muitos parceiros de pesquisa. Já os autores P1, P5, P4 e P20 têm alta intermediação, atuando como pontes ao conectar diferentes grupos ou clusters na rede. Dessa forma, esses autores facilitam o fluxo de informações e colaborações entre partes da rede que estariam desconectadas.

Os autores P1, P20, P14 e P3 possuem alto grau de proximidade, ou seja, eles estão próximos de muitos outros autores na rede e podem acessar ou influenciar informações e colaborações mais rapidamente. Quanto à centralidade de autovetor, apenas os autores P13, P20 e P1 aparecem, indicando que eles estão conectados a outros autores também centrais na rede.

Para analisar a rede de coautoria de autores de forma dinâmica, 4 redes com intervalos móveis de 5 anos foram construídas, respeitando o parâmetro de, no mínimo, 5 artigos publicados por autor como linha de corte. As redes podem ser vistas na Figura 42.

Figura 42 - Redes de coautoria entre autores por quinquênio (2004-2023)

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Uma vez geradas as redes, o passo seguinte foi calcular as principais métricas para cada período como mostra o Quadro 36.

Quadro 36 - Métricas de redes de coautoria de autores por período

Métricas de ARS	Rede 2004 - 2008	Rede 2009 - 2013	Rede 2014 - 2018	Rede 2019 - 2023
Nós	9	72	115	110
Arestas	12	175	188	178
Grau médio	2.667	4.861	3.27	3.236
Diâmetro	1	9	11	11
Densidade	0.033	0.068	0.029	0.03
Modularidade	0.444	0.731	19	0.897
Coefficiente de aglomeração médio	1	0.808	0.688	24
Comprimento caminho médio	1	3.388	4.763	0.796
Componentes conectados	3	11	19	23

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos números de nós e arestas, é possível afirmar que a rede apresentou um crescimento expressivo ao longo do período analisado. Seu diâmetro saiu de 1 (2004-2008) para 11 (2019-2023), indicando que a rede se tornou mais dispersa com o tempo.

Embora o número de componentes conectados tenha aumentado de 3 em 2004-2008 para 23 na rede geral de 2004-2023, a rede se tornou mais fragmentada. Adicionalmente, o

coeficiente de aglomeração médio diminuiu de 1 em 2004-2008 para cerca de 0,796 em 2019-2023, indicando uma menor tendência de formação de grupos densamente conectados.

Outro indicador que respalda o crescimento da rede, o grau médio, mostra que houve um aumento nas conexões médias por autor no período de 2009-2013, atingindo 4,861, seguida por uma leve queda e estabilização nos períodos subsequentes.

À medida em que foi crescendo, a rede tornou-se mais esparsa, sua densidade diminuiu de 0,033 em 2004-2008 para cerca de 0,03 nos períodos mais recentes. No entanto, o crescimento permitiu a formação de clusters mais distintos, como indica o aumento da modularidade de 0,444 no 1º período para cerca de 0,897 no 4º período. Isso é respaldado pelo número de clusters, que saiu de 3 para 29 nos mesmos períodos, reforçando a ideia de uma divisão mais clara em comunidades de colaboração.

Embora a rede tenha se tornado mais fragmentada, o tamanho do maior componente aumentou de 4 autores (2004-2008) para 30 autores (2019-2023), indicando a presença de um grupo principal de colaboração mais denso dentro da estrutura geral da rede.

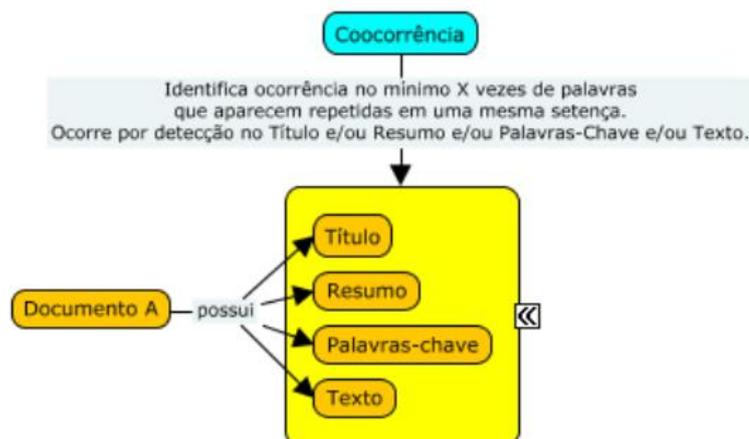
Com base nas métricas do Quadro 36, é possível afirmar que a rede de coautoria de autores (2004 a 2023) exhibe simultaneamente as propriedades de mundo pequeno e livre de escala, mesmas propriedades observadas na rede de coautoria de ICTs.

A primeira propriedade indica que a rede tende a formar *clusters* mais coesos, onde as conexões entre os membros são mais fortes. Ela também indica que o comprimento médio do caminho, ou seja, a distância máxima entre dois autores é relativamente pequena. Já a segunda propriedade indica que os componentes da rede têm uma distribuição de graus heterogênea, com a presença de *hubs* e muitos nós com um grau relativamente baixo.

4.2.6 Análise de coocorrência de palavras-chave

Esta seção analisa e discute as palavras-chave definidas pelos autores, por meio da análise de coocorrência (Figura 43). Essa técnica avalia a frequência com que certas palavras-chave aparecem juntas em publicações científicas, permitindo identificar padrões e tendências na produção científica e compreender sua evolução (ZUPIC; ČATER, 2015).

Figura 43 - ICTs parceiras nas colaborações científicas sobre biodiesel (por quinquênio)



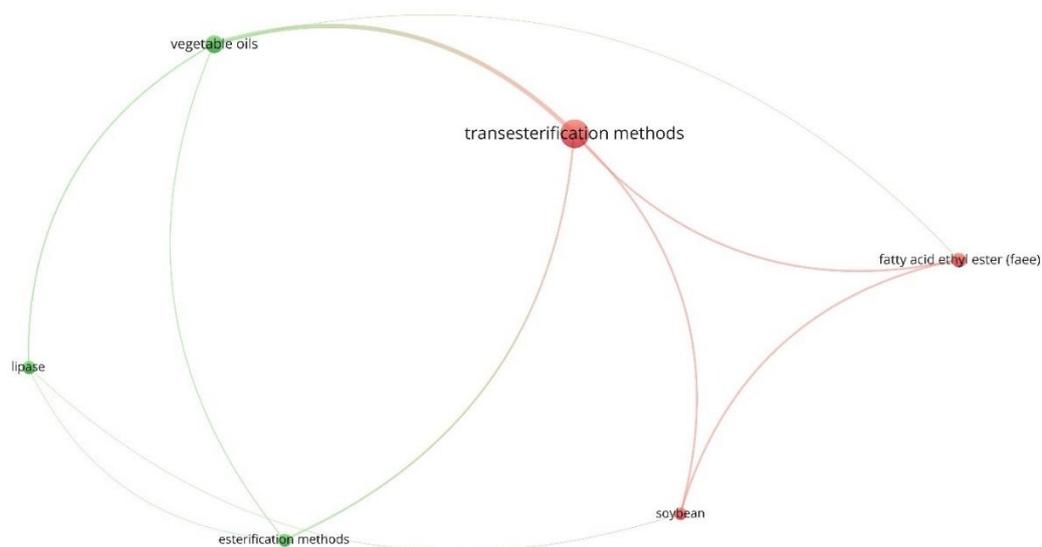
Fonte: Gianordoli (2018)

Contudo, essa técnica tem como aspecto negativo a dificuldade de análise decorrente do surgimento de palavras duplicadas, escritas de diferentes formas, plurais e outras. Para superar essa limitação, todas as palavras-chave foram normalizadas, desambiguadas, desduplicadas e lematizadas com o auxílio do *Openrefine* (OPENREFINE, 2024) e de um dicionário de termos relacionados ao biodiesel (DAHIYA, 2020). Essa etapa de pré-processamento gerou 3.851 termos, sendo que 2.585 (67,27%) só apareciam uma única vez. A média geral foi de 4 palavras por artigo.

Após a etapa de pré-processamento, a Lei de Zipf e o Ponto de Goffman (FERNANDES *et al.*, 2021) foram aplicados aos 3.851 termos gerados para identificar as palavras-chave mais relevantes e na definição do limite de palavras a serem selecionadas para a análise de coocorrência.

É importante ressaltar que a seleção das palavras-chave mais relevantes não significa descartar as demais, mas sim priorizar as que possuem maior significado e representatividade no contexto dos artigos analisados (GRÁCIO *et al.*, 2020).

Em seguida, foram adotados os parâmetros para a construção dos mapas de rede por meio do *software VOSViewer* (VAN ECK; WALTMAN, 2010). O método de contagem utilizado foi a completa e a unidade de análise foram as palavras-chave de autor. O termo biodiesel foi removido da lista de termos, uma vez que ela não fornece informações adicionais. O critério mínimo de ocorrências do termo foi 10 vezes. Por fim, foram construídas 4 redes para cobrir o período de 20 anos, sendo a primeira apresentada na Figura 44.

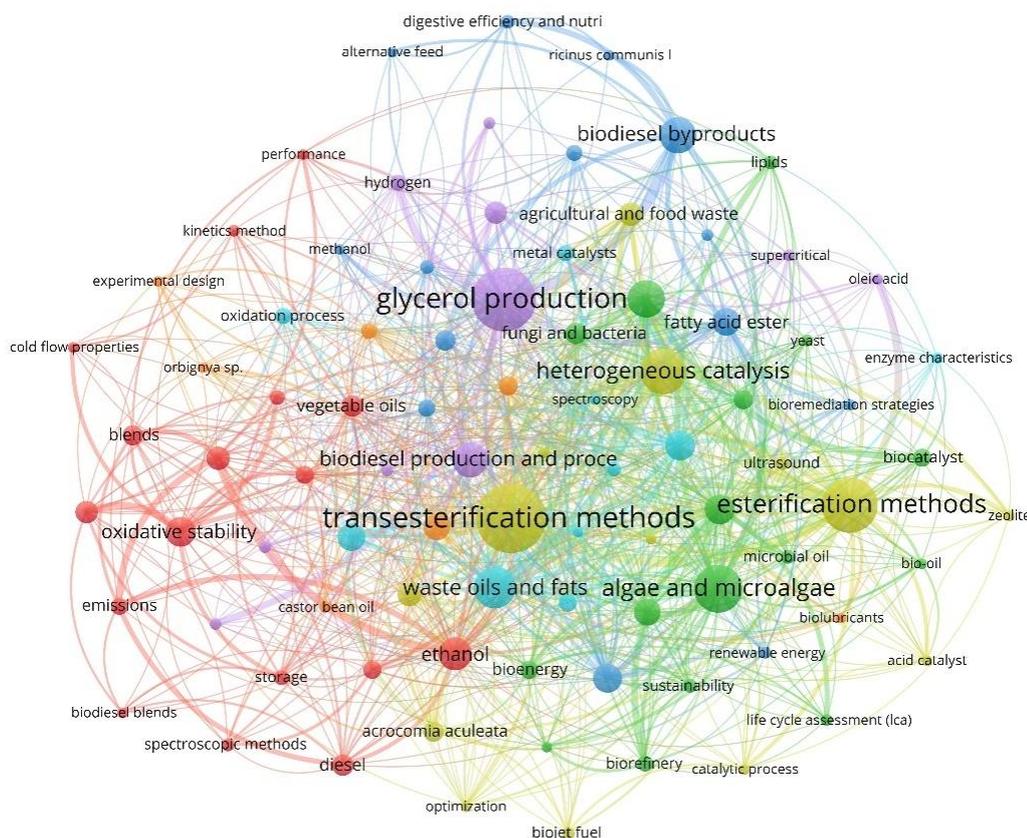
Figura 44 - Rede de palavras-chave de 2004-2008

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

No período inicial (2004-2008), os principais tópicos abordados foram métodos de esterificação, ésteres etílicos de ácidos graxos (FAEE), lipase, soja e métodos de transesterificação. Isso reflete o foco inicial nas rotas de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais, especialmente soja, utilizando processos químicos de esterificação/transesterificação. Esses termos casam com a implementação da indústria do biodiesel no Brasil com a adoção do B2 em caráter facultativo em 2005.

A partir de 2008 a mistura do B2 torna-se obrigatória, atingindo B5 em 2010, percentual que vigorou até 2013. Assim como o crescimento da indústria nacional de biodiesel, observa-se uma diversificação de tópicos, como mostra a Figura 45.

Figura 47 - Rede de palavras-chave de 2019-2023



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Os dados de 2019-2023 (Figura 47) mostram uma continuidade nos estudos com algas/microalgas, bioenergia e aproveitamento de resíduos (Clusters 1- verde e 3- azul) e uma expansão significativa em rotas e catalisadores não convencionais (Cluster 4- amarelo). Existe também um foco crescente em processos de produção/purificação (Cluster 6- laranja), com tópicos como adsorção, reatores e propriedades de fluxo. Os aspectos envolvendo aplicações, desempenho e especificações de biodiesel e emissões (Cluster 5- vermelho) também continuaram relevantes.

O período marca também um amadurecimento ainda maior das pesquisas, com a exploração de temas envolvendo novas rotas para produção de biodiesel, novas aplicações, como *biojetfuel* (biocombustível de aviação) e maior ênfase em questões de purificação e especificações.

Os termos elencados nos clusters dos diferentes períodos, especialmente os mais recentes (2019-2023), foram analisados em conjunto com os gargalos listados no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis (2018) e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel (2019). Essa análise teve como objetivo

verificar o alinhamento dos tópicos de pesquisa com os principais gargalos técnico-científicos na produção de biodiesel, como mostra o Quadro 37.

Quadro 37 - Análise dos termos versus gargalos técnico-científicos na produção de biodiesel

Gargalos	Principais palavras-chave
Diversificar as fontes de matérias-primas graxas para a produção de biodiesel	Algas/microalgas, óleo microbiano, resíduos agrícolas/alimentares, crambe, pinhão-manso, macaúba, óleo de gordura residual
Otimizar tecnologias de produção de biodiesel e de derivados graxos	Catálise ácido/base, catálise heterogênea, processos catalíticos, cinética, modelagem, reatores, purificação de biodiesel
Simplificar metodologias de controle da qualidade de biodiesel	Métodos espectroscópicos, cromatografia, RMN, estabilidade oxidativa, propriedades de fluxo a frio
Garantir a qualidade do biodiesel durante o transporte e armazenamento	Estabilidade oxidativa, corrosão, armazenamento
Aumentar os percentuais de biodiesel nas misturas com óleo diesel, com garantia de qualidade na produção, pós-produção e uso em motores e veículos	Misturas de biodiesel, desempenho de motor, emissões, qualidade/padrões
Agregar valor aos coprodutos provenientes da cadeia de produção e uso do biodiesel	Subprodutos do biodiesel, glicerol, derivados de glicerol, tratamento de resíduos, biorremediação, biorrefinaria

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos metadados dos artigos

Os tópicos de pesquisa de 2019-2023 demonstram um alinhamento significativo com os principais gargalos técnico-científicos na produção de biodiesel, sugerindo que as pesquisas seguem uma trajetória promissora para transpor os principais gargalos elencados, contribuindo assim para impulsionar a competitividade e a sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel no Brasil.

No entanto, é importante ressaltar que alguns gargalos, como o aumento dos percentuais de biodiesel nas misturas, parecem ter recebido uma atenção relativamente menor nos termos identificados, o que pode ser um nicho de pesquisa a ser otimizado, uma vez que se discute na Câmara dos Deputados a possibilidade de elevar a mistura até B25 (MACHADO, 2024).

Por fim, as 231 principais palavras-chave foram agrupadas de acordo com as áreas temáticas RBTB para identificar os tópicos que receberam mais atenção nestes 20 anos. A área que concentrou mais palavras-chave (115) foi a área de produção de biodiesel, que envolve métodos, catalisadores e processos para a produção de biodiesel.

Ganho de eficiência nessa área podem resultar em processos mais baratos, sustentáveis e com melhores rendimentos, impactando diretamente na viabilidade econômica e comercialização do biodiesel, talvez por isso, ela tenha recebido tanta atenção.

Em seguida aparece a área de matérias-primas (31 palavras-chave), que também é um fator crítico que influencia a competitividade do biodiesel em relação aos combustíveis fósseis,

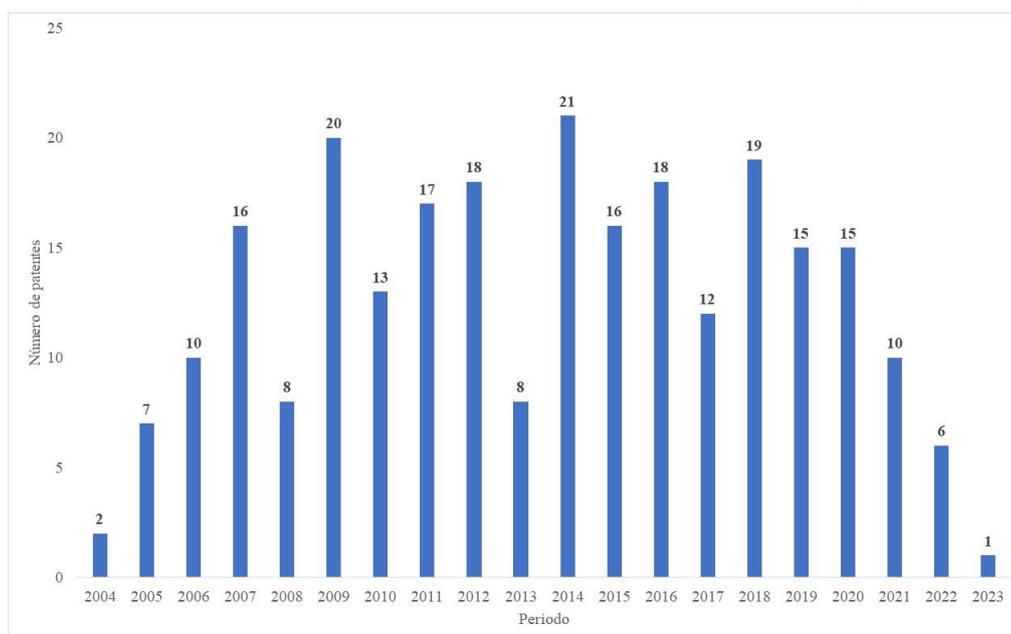
já que ela pode representar mais de 70% do custo de produção do biodiesel. Assim, pesquisas sobre novas fontes de matérias-primas, como resíduos e culturas não alimentares, podem ajudar a reduzir custos. A atenção dada nessas duas áreas sugere que elas são vistas como gargalos-chave ampliação da produção de biodiesel de forma mais eficiente e barata.

As áreas de armazenamento e caracterização (17 palavras-chave), controle de qualidade (17 palavras-chave), coprodutos (16 palavras-chave), uso de biodiesel (15 palavras-chave), políticas públicas e outros (15 palavras-chave) e hidrocarbonetos renováveis (5 palavras-chave) fecham a lista, recebendo atenção moderada.

4.2.7 Redes colaborativas em patentes de ICTs depositadas no INPI

Com o objetivo de ampliar a compreensão do cenário de P&D&I do biodiesel no Brasil, foi realizada uma análise patentária relacionada a este biocombustível. É importante ressaltar que as patentes têm sido utilizadas não apenas como garantia de propriedade intelectual, mas também como indicadores de ciência, tecnologia e inovação, e como fonte de informação tecnológica (BARROS; SOUZA, 2010). Assim, ao combinar essa análise com a investigação de redes sociais e complexas de artigos científicos, foi possível aprofundar a compreensão do progresso científico-tecnológico, identificar áreas de pesquisa em crescimento e analisar o cenário de inovação desse setor.

As patentes foram pesquisadas na base de dados pePI - Pesquisa em Propriedade Industrial do INPI (busca.inpi.gov.br/pePI/), utilizando o termo 'biodiesel' nos títulos e resumos. Em seguida, os metadados foram analisados para a seleção das patentes que estavam diretamente relacionadas ao biodiesel e depositadas por ICTs brasileiras. No total, foram selecionadas 252 patentes publicadas entre os anos de 2003 e 2004 (Gráfico 12). Todas registradas como Patente de Invenção (PI) para novas tecnologias.

Gráfico 12 - Distribuição das patentes relacionadas com biodiesel depositadas por ICTs brasileiras

Fonte: elaborado pelo autor com base em metadados do (INPI, 2023)

A distribuição das patentes ao longo do tempo revela um baixo número de depósitos em 2004 e 2005. A partir de 2006, observa-se um aumento gradual com picos em 2009, 2014 e 2016. Posteriormente, ocorre um período de estabilização, mas o número de depósitos começa a cair entre os anos de 2021 e 2023. O padrão observado no último quinquênio se assemelha ao observado na análise da produção de artigos relacionados ao mesmo tema. No entanto, estabelecer uma correlação direta entre esses dois indicadores não é apropriado, uma vez que essas formas de produção de conhecimento e inovação possuem propósitos, processos de avaliação, tempos e investimentos distintos.

Em seguida, foram levantadas as áreas técnicas às quais as patentes foram classificadas. Utilizou-se o sistema de classificação IPC, Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Foram identificadas 155 categorias e as principais estão listadas no Quadro 38.

Quadro 38 - Distribuição das patentes relacionadas com biodiesel depositadas por ICTs brasileiras

IPC	Descrição	Número de Patentes
C10L 1/02	Combustíveis líquidos a base de ésteres de ácidos carboxílicos	20
C07C 67/02	Processos de produção de ésteres orgânicos a partir de ácidos carboxílicos ou derivados	15
C07C 67/03	Processos de produção de ésteres orgânicos a partir de álcoois ou fenóis	8
C12P 7/64	Produção de combustíveis a partir de materiais orgânicos	7
B01J 19/00	Equipamentos para separação de líquidos imiscíveis	5
C10L 1/10	Combustíveis líquidos a base de óleos ou gorduras animais ou vegetais	5

C10L 1/14	Combustíveis líquidos a base de resíduos ou subprodutos de origem animal ou vegetal	4
C10L 10/00	Combustíveis líquidos a base de misturas de hidrocarbonetos	4
B01D 11/04	Equipamentos para separação por gravidade	3
B01J 21/06	Equipamentos para separação de partículas sólidas por centrifugação	3
B01J 23/10	Equipamentos para separação de partículas sólidas por filtração	3
C10L 1/18	Combustíveis líquidos a base de álcoois	3
C11C 3/10	Processos de produção de biocombustíveis a partir de materiais lignocelulósicos	3
C12N 9/20	Produção de combustíveis a partir de resíduos ou subprodutos de origem animal ou vegetal	3
C12P 7/62	Produção de combustíveis a partir de materiais orgânicos contendo nitrogênio	3

Fonte: elaborado pelo autor com base em metadados do (INPI, 2023)

As categorias IPC listadas sugerem um interesse abrangente e multidisciplinar em P&D de biodiesel no Brasil, abordando diferentes aspectos da produção, aplicação e tecnologias relacionadas.

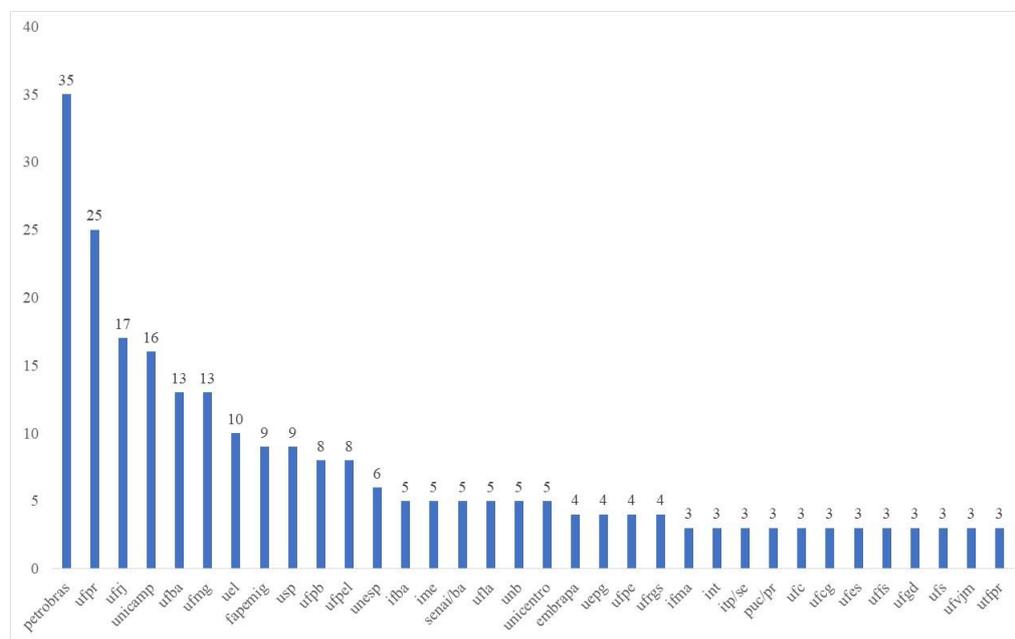
As áreas de Química e Engenharia são destaque nas pesquisas relacionadas ao biodiesel, com foco na produção e processamento de ésteres de ácidos carboxílicos e na produção de combustíveis a partir de materiais orgânicos (C10L 1/02, C07C 67/02 e C07C 67/03). Além disso, a área de Energia e Combustíveis também é relevante, abrangendo estudos sobre matérias-primas, rotas e tecnologias para produção de biodiesel, bem como suas aplicações (C12P 7/64). Há também uma tendência crescente na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para a produção de biodiesel a partir de resíduos e subprodutos de origem animal ou vegetal (C10L 1/14 e C12N 9/20).

A lista dos depositantes de patentes é composta por 84 nomes, incluindo: instituições de ensino públicas (n=61; 72,62%), instituições de ensino privadas (n=4; 4,76%), outras Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) públicas (n=12; 14,29%), e empresas privadas (n=7; 8,33%). O percentual de patentes depositadas por universidades públicas (72,62%) está próxima do percentual de patentes depositadas por universidades públicas brasileiras (76%) no INPI entre 2014 e 2019 (EBC, 2023).

No entanto, a participação das empresas privadas na lista de depositantes pode ser considerada baixa, apesar da existência da Lei de Inovação Tecnológica, que prevê uma série de benefícios para empresas que investem em P&D em parceria com instituições públicas de pesquisa (BRASIL, 2004). Essa falta de colaboração pode dificultar a superação dos desafios identificados no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel, tornando-se um obstáculo a ser superado.

O Gráfico 13 apresenta a lista das instituições que depositaram 80% das patentes selecionadas para esta pesquisa.

Gráfico 13 - Principais ICTs depositantes de patentes relacionadas com biodiesel no Brasil (2004-2023)



Fonte: elaborado pelo autor com base em metadados do (INPI, 2023)

Ainda com relação às colaborações, foram identificadas 50 patentes (19,84% do total) que possuam no campo ‘nome do depositante’ mais de uma instituição, 64 no total. Foram 42 instituições de ensino, 7 ICTs públicas, 13 empresas privadas e 2 ICTs estrangeiras. A partir desse quantitativo, foi realizada uma análise da rede colaborações interinstitucionais em patentes. O parâmetro adotado para a construção dos mapas de rede levou em consideração um número mínimo de documentos por ICT, neste caso, mínimo 1 patente.

A rede apresentada na Figura 48 cobre um período de 20 anos. Cada nó representa uma instituição e cada linha indica uma relação de coautoria em patente entre duas instituições conectadas. O tamanho dos nós indica a quantidade de artigos coautorados, enquanto a distância entre dois nós oferece uma indicação de proximidade. A espessura da linha revela a força da relação e o tamanho dos nós é proporcional à sua centralidade de grau, ou seja, ao número de conexões (coautorias) que cada instituição possui na rede.

de patentes em biodiesel por meio de colaboração interinstitucional no Brasil continua ativa no último quinquênio. Finalmente, o Quadro 39 apresenta as ICTs líderes em produção científica e tecnológica dos últimos 20 anos e sem restrição quanto ao tipo de colaboração.

Quadro 39 - Rank das principais ICTs em artigos e patentes relacionadas ao biodiesel (2004 – 2023)

ID	ICTs	Nº Artigos	ICTs	Nº Patentes
1	USP	381	PETROBRAS	35
2	Unicamp	342	UFPR	25
3	UFRJ	323	UFRJ	17
4	UFPR	230	UNICAMP	16
5	UFC	220	UFBA	13
6	UNESP	205	UFMG	13
7	UFBA	203	UEL	10
8	UEM	188	USP	9
9	UFRGS	166	UFPB	8
10	UFSC	161	UFPEL	8

Fonte: Dados do autor

A USP se destaca como a instituição líder em produção de artigos, enquanto a Petrobras lidera o ranking de patentes relacionadas ao biodiesel. Além USP, algumas ICTs também se destacam tanto na produção de artigos quanto em depósito de patentes, como a UFRJ, Unicamp, UFBA e UFMG.

Essas instituições têm sido capazes de combinar esforços em pesquisa fundamental (TRL 1 e 2) e desenvolvimento tecnológico aplicado na área de biodiesel (a partir do TRL 3), o que é essencial para traduzir conhecimentos científicos em inovações práticas e impulsionar o setor.

Com relação a localização, as ICTs estão concentradas majoritariamente nas regiões Sudeste e Sul do país, o que pode ser um reflexo da existência de polos de desenvolvimento científico e tecnológico em biodiesel nessas regiões. A UFBA é a única representante do Nordeste a figurar nesta lista, sendo sede do INCT E&A, que possui linhas de pesquisas voltadas para o biodiesel.

Outras instituições aparecem apenas em uma das listas, sugerindo que podem ser mais ativas em colaboração para produção de artigos (UFC, UNESP e UEM) ou patentes (UFPR,

UEL e UFPEL). Essas instituições representam oportunidades para o estabelecimento de parcerias e colaborações, visando a integração das atividades de P&D&I na área de biodiesel.

Finalmente, foram levantados os dados relacionados aos inventores das patentes. Foram encontrados 826 inventores, sendo que 646 inventores (78,20%) colaboraram no desenvolvimento de uma única patente. Outros 180 inventores (21,80%) colaboraram em duas ou mais patentes. Esses dados indicam que a produtividade dos inventores ficou concentrada em um pequeno grupo produtivo, algo muito próximo ao que foi visto na produção de artigos. No mais, foram estabelecidas 1.183 relações de coautoria nas 252 patentes.

Em seguida, aplicou-se a Lei de Price para identificar um grupo de elite de inventores formado por 29 inventores mais produtivos da amostra como mostra o Quadro 40.

Quadro 40 - Rank dos principais inventores das patentes relacionadas ao biodiesel (2004 – 2023)

Rank	Autor	Qtd de Patentes	Rank	Autor	Quantidade de Patentes
1	Márcio F. Portilho	12	20	Alexander R. Bastos	4
2	Denise M. G. Freire	10	21	Alexandre S. Machado	4
3	Dionisio Borsato	10	22	Bernardo G. Siqueira	4
4	Aline S. Muniz	9	23	Carlos R. K. Rabello	4
5	Ângelo R. S. Oliveira	9	24	Carlos R. Soccol	4
6	Letícia T. Chendynski	9	25	Cristina P. B. Quitete	4
7	Luiz P. Ramos	9	26	Donato A. G. Aranda	4
8	Maria A. F. César-Oliveira	9	27	Fernando A. Ferraz	4
9	Aline M. Castro	6	28	Iêda M. G. dos Santos	4
10	Claudio M. Pereira	6	29	Jaqueline G. Duarte	4
11	Cristina M. Quintella	6	30	José D. Fabris	4
12	José A. V. Vieira	6	31	José M. B. Filho	4
13	André L. Galina	5	32	Maria Ritter	4
14	Elisa D'Ávila C. Oliveira	5	33	Marilena Meira	4
15	Erika C. G. Aguiaras	5	34	Petrônio F. A. Filho	4
16	Marco A. Z. dos Santos	5	35	Raphael B. de Menezes	4
17	Paulo R. P. Rodrigues	5	36	Rodrigo V. Almeida	4
18	Rochel M. Lago	5	37	Rogério C. Rodrigues	4
19	Vitor L. Ximenes	5	38	Vanya M. D. Pasa	4

Fonte: dados da pesquisa

Dos 38 principais inventores de patentes identificados, 16 (42,11%) estavam também na lista de maiores produtores de artigos científicos sobre biodiesel no Brasil. Isso aponta para existência de uma conexão entre P&D e a inovação tecnológica no setor, já que P&D envolve a busca por novos conhecimentos e técnicas, enquanto a inovação tecnológica se refere à aplicação desses elementos na criação de novos produtos e processos.

Entre os inventores mais produtivos, destacam-se Denise Maria Guimarães Freire (P11) e Dionisio Borsato (P10), que ocupam a 2^a e a 3^a posições no ranking do Quadro 35,

respectivamente. Esses dois inventores também estão entre os principais hubs da rede de coautoria de artigos científicos sobre biodiesel.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em 2005, o governo brasileiro lançou o PNPB. Além desse programa, outras políticas públicas, como as PIs e a PNC&T, contribuíram por meio de incentivos financeiros, aquisição pública, programas de fomento e desenvolvimento tecnológico para inserção e consolidação do biodiesel na matriz energética nacional.

Como resultado, esse biocombustível saiu do uso experimental com óleo diesel A de 2% em 2004 para adoção de uma mistura obrigatória de 12% em 2023. Com um mercado estruturado (TRL9), levou o país a ocupar uma posição estratégica no mercado global de biodiesel, ficando nas primeiras posições entre os maiores produtores e consumidores mundiais desse biocombustível.

Não é só o aumento da produção de biodiesel que merece destaque. Nestes 19 anos, esse biocombustível vem se mostrando capaz de contribuir para a descarbonização do modal rodoviário de cargas dominado por caminhões, veículos responsáveis pelo consumo de 76,59% da oferta nacional de diesel e por 78% das emissões da atividade de transporte de carga (EPE, 2022; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

Previsões indicam que esse modal responda por 90,6% da demanda energética do transporte de cargas em 2029, resultando no aumento de 2,6% no consumo de diesel entre 2019 e 2029 (EPE, 2020a) e na elevação das emissões de GEE, projetadas em 224 MtCO₂e para 2030 (MME, 2021a).

Assim, diante do alto consumo de diesel, da baixa eficiência energética da frota nacional de caminhões e do aumento das emissões, o modo rodoviário de carga tornou-se um alvo prioritário no processo de descarbonização da economia brasileira. Dentre as principais estratégias, está o aumento da utilização de biodiesel, chegando ao B20 (ABIOVE; APROBIO; APROBIO, 2016) ou B25 (ANFAVEA; BCG, 2021) em 2030, pois não há alternativas energéticas que possam ser utilizadas com o diesel A ou mesmo sua substituição.

Aumentar a participação do biodiesel na matriz de transporte brasileira exigirá dos vários agentes que formam essa cadeia, a superação de uma série de desafios, elencados no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis

(MCTIC, 2018) e na Agenda de Inovação para a Cadeia de Produção do Biodiesel (CSOB, 2019).

No âmbito do desenvolvimento tecnológico do PNPB, cujo principal agente é MCTI, foram elencados uma série de gargalos técnico-científicos, como a ampliação da disponibilidade de matérias-primas de baixo custo e não alimentar, a otimização de tecnologias de produção, a melhoria da qualidade do biodiesel e a agregação de valor aos coprodutos gerados na produção de biodiesel.

O MCTI estabeleceu como estratégia central no plano mencionado, fortalecer e estimular diversas ações de P&D na RBTB. Partindo desse ponto, a tese analisou a evolução da RBTB de 2004 a 2023 por meio das análises de redes sociais e complexas, utilizando uma amostra de 3.788 artigos de pesquisas originais.

A primeira constatação da tese é que a hipótese inicial deve ser refutada. Inicialmente, pensava-se que a RBTB estaria passando por um processo de desfragmentação, mas os resultados mostraram que esse fenômeno ocorreu em um contexto específico, observado no INCT E&A da UFBA (FERNANDES et al., 2023), não se caracterizando de maneira acentuada em âmbito nacional. Ao contrário, os dados revelaram que a RBTB apresentou uma curva ascendente até 2018, demonstrando um progresso significativo. A partir de 2019, uma queda moderada na produção científica e nas colaborações foi observada, mas sem a desfragmentação imaginada.

Após refutar a hipótese, o próximo passo foi verificar se o objetivo geral - analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na superação de gargalos tecnológicos, que prejudicam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil - foi atingido. Para isso, cada um dos objetivos específicos traçados foi respondido e os resultados apresentados na sequência.

Para descrever a trajetória do desenvolvimento tecnológico do biodiesel e como as políticas industriais e de C&T influenciaram esse desenvolvimento no Brasil, foi realizada uma extensa de pesquisa bibliográfica e documental, onde se verificou que o Brasil possui uma longa curva de aprendizado no uso de biocombustíveis em motores a diesel.

As primeiras pesquisas realizadas com SVO pelo Instituto de Óleos (de 1933) foram influenciadas pela política de substituição de importações do Governo Vargas. Outras ICTs conduziram pesquisas de maneira autônoma, não havendo integração entre as instituições. Com o final da II Guerra Mundial, as pesquisas foram descontinuadas e ficaram limitadas aos primeiros níveis na escala de maturidade tecnológica (TRLs 1, 2 e 3).

As pesquisas voltaram a despertar o interesse do governo e de ICTs no final da década de 1970, em função do 2º choque do petróleo, que levou o Brasil a enfrentar uma crise de desabastecimento de diesel. Esse engajamento técnico-científico e político proporcionou avanços significativos em P&D de um 'óleo vegetal transesterificado', testado em larga escala nos projetos Oveg, o Prodiesel e o Dendiesel.

Houve também uma mudança na forma como as ICTs conduziam as pesquisas, deixando de ser ações pontuais e isoladas para se tornar ações coordenadas sob responsabilidade da STI/MIC com apoio da Finep. Assim, o nível de maturidade tecnológica alcançado no período alcançou a TRL 6. Apesar de toda potencialidade para produção em larga escala do que seria o biodiesel brasileiro, o foco do governo no II PND foi continuar priorizando o álcool combustível e o carvão como alternativas para substituição do petróleo importado.

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira no primeiro quinquênio da década de 2000, apontou para a necessidade de ampliar as pesquisas e ampliar o número de ICTs envolvidas com o PNPB. Assim, a criação da RBTB representou um marco importante, ao impulsionar as políticas de incentivo à inovação e desenvolvimento tecnológico do biodiesel. A criação da RBTB e o engajamento das ICTs permitiram que o biodiesel atingisse níveis avançados de maturidade tecnológica (TRL8 e 9), demonstrando o impacto positivo das políticas industriais e de C&T na consolidação e competitividade desse biocombustível no mercado nacional."

Para analisar a formação, estruturação e o papel das redes de colaboração científica da RBTB na promoção de avanços tecnológicos para o desenvolvimento do biodiesel no Brasil foi aplicada a abordagem de ARS e complexa no conjunto de metadados de 3.788 artigos, resultando nas análises da seguir.

A rede geral de ICTs, formada por 284 instituições e 1.962 relações de coautoria, possui uma estrutura coesa, porém heterogênea, com a presença de hubs conectando diversas instituições em torno do desenvolvimento de tecnologias para o biodiesel. Ao todo, 29 ICTs responderam por 80% da produção científica na área, com destaque para USP, Unicamp, Unesp, UFC, UFBA, UFRJ, UFMG, Embrapa, UFSC e UFPR.

Após a análise topológica da rede geral, constatou-se que ela apresentava características de redes do tipo mundo pequeno e livre de escala. Essas características, juntamente com a presença dos hubs, parecem ter sido fundamentais para direcionar esforços, facilitar a comunicação, promover a troca de conhecimentos e impulsionar os avanços científicos e tecnológicos nos 20 anos da RBTB.

No entanto, a concentração excessiva de poder nos hubs pode tornar a rede mais vulnerável a desconexões, caso essas ICTs líderes passem por cortes orçamentários ou redirecionamento dos interesses de pesquisa. Um bom exemplo foi a queda no volume de pesquisas relacionadas ao biodiesel no INCT E&A (FERNANDES et al., 2023), que afetou diretamente a produção da UFBA a partir de 2014.

Também é importante destacar o expressivo crescimento da rede, especialmente entre 2009 e 2013, impulsionado por investimentos e políticas públicas voltadas para o setor de biodiesel, como o Programa de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel, o Programa de Redes de Pesquisa da Petrobras e o Programa Rede Microalgas para a Produção de Biodiesel. Eles contribuíram significativamente para a consolidação e expansão das colaborações interinstitucionais.

Ademais, a expertise histórica de algumas ICTs na área de biocombustíveis (UFC, Unicamp, UFBA, Embrapa e outras), a presença consolidada de grupos de pesquisa especializados em várias linhas de pesquisa e a participação em importantes programas de fomento, como os INCTs de E&A e catálise, reforçaram o protagonismo e a centralidade dessas instituições dentro da rede de colaborações.

Finalmente, vale ressaltar que, apesar da estrutura de mundo pequeno facilitar a troca de informações e conhecimentos, a baixa densidade da rede (5% das conexões possíveis) sugere que ainda há um amplo espaço para o estabelecimento de novas parcerias interinstitucionais que ajudem a eliminar gargalos da indústria de biodiesel, elevar o percentual de mistura (BX), reduzir o peso desse biocombustível na formação do preço do diesel (aprox. 13%) e, principalmente, contribuir para a descarbonização da atividade de transporte rodoviário.

Nesse sentido, é necessário aumentar a robustez e adaptabilidade da rede, estimulando seu contínuo crescimento e diversificação, incorporando novos nós e promovendo uma maior conectividade entre eles. Esse processo já vem ocorrendo, conforme observado no desenvolvimento da rede nos últimos dois quinquênios analisados.

A análise da rede de pesquisadores revelou que mais de 80% da produção veio de grupo formado por 529 autores (6,64% do total). Desses, 23 autores das áreas de química e engenharia química foram os mais prolíficos. Os autores mais prolíficos possuem uma forte atuação nacional e internacional. Vários desses autores são pesquisadores das categorias mais altas do CNPq, o que indica reconhecimento por sua liderança e impacto científico. Alguns deles atuam também como líderes de grupos de pesquisa com linhas voltadas ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil.

Além dos autores brasileiros, foram identificados entre os autores mais profícuos, dois pesquisadores oriundos de países, que mais se destacaram no estabelecimento de parcerias envolvendo pesquisas com biodiesel, um pesquisador português e outro espanhol.

Assim como a rede de ICTs, a rede de coautoria geral exibiu propriedades de mundo pequeno e livre de escala, mostrando que ela tende a formar clusters mais coesos, onde as conexões entre os membros são mais fortes, ao mesmo tempo, que apresenta uma distribuição heterogênea de graus, com a presença de hubs altamente conectados e muitos nós com grau relativamente baixo.

Essa rede cresceu expressivamente ao longo do tempo em número de autores e conexões, mas se tornou esparsa e fragmentada, com um diâmetro maior. No entanto, essa fragmentação é acompanhada pela formação de clusters mais distintos e bem definidos, indicando a formação de subcomunidades especializadas dentro da rede geral.

Esse fenômeno sugere uma comunidade de pesquisa em biodiesel cada vez maior e mais colaborativa, porém com maior maturidade e diversificação das pesquisas em diferentes nichos, corroborando com a necessidade de atuação em várias frentes para eliminar gargalos da cadeia produtiva do biodiesel, como preconiza o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis.

A análise dinâmica da rede revelou que, entre 2019 e 2023, a comunidade científica continuava vibrante, apesar de uma leve queda em decorrência de vários fatores como a pandemia de Covid-19. A formação de subcomunidades cada vez mais especializadas e a continuidade de muitos dos pesquisadores mais prolíficos e influentes mostra a resiliência da RBTB, 20 anos após a sua criação.

A abordagem de ARS e complexas também foram utilizadas para identificar tópicos emergentes de pesquisas com biodiesel no Brasil e comparar se estes estão alinhados com as prioridades estabelecidas no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis.

Os principais tópicos de pesquisa identificados indicaram um alinhamento significativo com os principais gargalos técnico-científicos listados no plano mencionado. Desde 2014, tópicos relacionados como a busca por matérias-primas de baixo custo, rotas não convencionais de produção de biodiesel, controle de qualidade, tratamento de resíduos e sustentabilidade despertam o interesse da comunidade.

Isso demonstra que as pesquisas vêm buscando soluções para os principais gargalos apontados no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e

Biocombustíveis, como diversificação de fontes de matérias-primas, otimização dos processos, metodologias de controle de qualidade e valorização de coprodutos.

Já a análise do período 2019-2023, revelou um foco ainda maior em temas alinhados ao plano, como novas rotas e catalisadores, purificação, especificações de qualidade, aplicações do biodiesel e uso de resíduos, indicando uma evolução e amadurecimento das pesquisas nessas frentes, o que pode representar uma oportunidade de pesquisas futuras.

Ao comparar as palavras-chaves com as áreas temáticas da RBTB, observou-se que as áreas de produção de biodiesel e matérias-primas concentraram a maior parte delas, refletindo os esforços para viabilizar processos mais eficientes e baratos, duas questões-chave para a expansão do biodiesel no Brasil.

Em resumo, os termos sugerem que grande parte das pesquisas estão alinhadas para buscar soluções aos principais gargalos técnico-científicos na produção de biodiesel. Porém, alguns gargalos podem demandar um foco adicional de pesquisas.

Finalmente, foi analisado a interação e colaborações entre ICTs, empresas e demais atores nas redes de P&D&I de biodiesel no Brasil. Para isso, foi realizado um estudo das patentes relacionadas ao biodiesel depositadas por ICTs brasileiras no INPI, seguida a aplicação da abordagem de ARS.

As principais áreas de depósito das patentes abrangeram produção de ésteres, processos de obtenção de combustíveis a partir de materiais orgânicos e tecnologias de separação e purificação. As universidades se destacaram como as principais depositantes das patentes, enquanto a participação de empresas privadas foi baixa, mesmo com incentivos legais para colaboração com ICTs públicas. Essa falta de interação dificulta a efetiva transferência de tecnologia para o setor produtivo.

A rede de colaborações interinstitucionais de patentes possuía uma estrutura fragmentada com vários componentes isolados. No entanto, algumas instituições se destacaram como nós centrais, exercendo um papel de elo nas subredes, como a FAPEMIG, UFRJ e UFBA.

Ao comparar as redes produção científica (artigos) e tecnológica (patentes), observou-se que USP, Unicamp, UFRJ, UFBA e UFMG se destacaram em ambas, demonstrando capacidade de combinar pesquisa fundamental e desenvolvimento tecnológico aplicado. Quanto aos inventores, 42% deles figuravam entre os principais autores de artigos científicos, o que aponta para uma conexão entre P&D&I.

A análise dos resultados obtidos deixou claro que todos os objetivos específicos foram alcançados, o que significa dizer que o objetivo geral da pesquisa e a questão de pesquisa foram respondidos de forma satisfatória. A tese, portanto, foi bem-sucedida em fornecer uma

compreensão abrangente das redes de colaboração que formam a RBTB e seu papel na superação dos gargalos técnico-científicos que impactam a competitividade e sustentabilidade do biodiesel no Brasil.

No entanto, é importante apontar algumas limitações metodológicas deste estudo. Primeiramente, a base de dados utilizada contemplou apenas artigos de pesquisa originais, excluindo outros tipos de produção científica como revisões, livros e capítulos de livros. Essa delimitação pode restringir uma visão mais ampla das redes de colaboração.

Além disso, os 3.788 artigos da amostra não englobaram toda a produção sobre biodiesel no Brasil, já que exclui artigos de autoria única e adota um intervalo de tempo de 20 anos para as análises, o que pode levar a vieses amostrais. Outra limitação está relacionada à análise de patentes, que foi realizada apenas com depósitos no INPI, desconsiderando outros escritórios.

Já a análise de tópicos emergentes foi baseada nas palavras-chave dos autores dos artigos e pode ter limitações, mesmo adotando um dicionário de termos ligados ao biodiesel para desambiguação, deduplicação e lematização dos termos. O mesmo ocorreu na padronização dos nomes dos autores, pois mesmo utilizando diferentes técnicas para deduplicar e desambiguar, muitos registros não foram aproveitados, o que pode interferir, mesmo que minimamente, no quantitativo de autores ou de sua produção e sua posição na rede.

Apesar dessas limitações, a presente tese apresentou um estudo abrangente e pioneiro sobre o desenvolvimento tecnológico do biodiesel no Brasil, em especial sobre as redes de colaboração científica que foram a RBTB e o papel dos diferentes atores na superação dos desafios tecnológicos enfrentados pela indústria desse biocombustível. A aplicação da abordagem de ARS a uma extensa base de dados bibliográficos e de patentes permitiu obter um panorama detalhado e inédito dessas redes, identificando suas características estruturais, atores-chave, tópicos emergentes e alinhamento com as prioridades nacionais.

As informações obtidas são valiosas não apenas para compreender a dinâmica atual das colaborações em P&D de biodiesel, mas também para nortear políticas e estratégias futuras para ampliação da RBTB e direcionar investimentos. Assim, espera-se que esta tese estimule novas pesquisas e discussões nessa temática.

6 REFERÊNCIAS

A ESTRADA DE RODAGEM. Os oleos vegetaes e as gazolinas synthéticas. **A Estrada de Rodagem**, n. 32, p. 47, 1924.

A NOITE. Substituto para o óleo diesel. **A Noite**, p. 3, 16 out. 1942a.

A NOITE. Sostituindo o óleo diesel. **A Noite**, p. 6, 6 nov. 1942b.

A NOITE. Óleo de amendoim acionando submarinos: Instituto Nacional de Oleos esta realizando interessantes experiências com resina vegetal. **A Noite**, p. 3, 1 abr. 1943a.

A NOITE. Publicações. **A Noite**, p. 2, 26 jul. 1943b.

A NOITE. Pesquisas químicas de grande interesse econômico e biológico. **A Noite**, p. 2, 20 abr. 1948.

A NOTÍCIA. Sob as penas da lei! a proibição de exportação de banha, óleos e compostos de gordura. **A Notícia**, p. 6, 2 out. 1941.

ABIOVE; APROBIO; APROBIO. **Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo**. Disponível em: <<https://abiove.org.br/publicacoes/biodiesel-oportunidades-e-desafios-no-longo-prazo/>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ABIPTI. **Atuação dos institutos de pesquisa tecnológicas do país é fundamental para implementação do Probiodiesel**. , jun. 2004.

ABREU, F. R. E; VIEIRA, J. N. DE S.; RAMOS, S. Y. Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel Diretrizes, desafios e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, n. 3, p. 5–18, 2006.

ADVANCED BIOFUELS USA. **What Renewable Fuels Can Be Used in Compression Ignition Engines?** Frederick, MD: [s.n.]. Disponível em: <<https://advancedbiofuelsusa.info/wp-content/uploads/2020/06/BDRDv21-Final-for-Publication.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

AGÊNCIA BRASIL. **Ministério da Ciência e Tecnologia lança programa do biodiesel**. Agência Brasil. Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/node/577594>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

AGÊNCIA BRASIL. **Petrobras começa exploração da camada pré-sal**. Disponível em: <<https://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2008-12-29/petrobras-comeca-exploracao-da-camada-pre-sal>>. Acesso em: 8 ago. 2022.

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil quer chegar a 2030 com 30% de combustíveis renováveis**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2021-08/brasil-quer-chegar-2030-com-30-de-combustiveis-renovaveis>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

AGÊNCIA EPBR. **Governo publica cronograma de aumento da mistura de biodiesel**. agência epbr, 29 mar. 2023. Disponível em: <<https://epbr.com.br/governo-publica-cronograma-de-aumento-da-mistura-de-biodiesel/>>. Acesso em: 29 fev. 2024

AGÊNCIA NACIONAL. I Congresso da Associação Química do Brasil. **Diário da Manhã**, p. 8, 1 jun. 1941.

AGÊNCIA SENADO. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em:

<<https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ALHAJJ, R. S. **Encyclopedia of social network analysis and mining**. 1st edition ed. New York: Springer, 2014.

ALLEMAN, T. L. et al. **Biodiesel Handling and Use Guide**. n. Fifth Edition, p. 72, 2016.

ALMEIDA NETO, J. A. DE et al. **Projeto Bio-Combustível: processamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustíveis tipo diesel**. Proceedings do 3. Encontro de Energia no Meio Rural. **Anais...** Em: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. Campinas: 2003.

Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200046&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 maio. 2022

ANDRADE, J. B. DE; GUARIEIRO, L. L. N. Especial Dedicado ao INCT de Energia & Ambiente. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, 2011.

ANDRADE, J. B.; LOPES, W. A. Conectando ciência, tecnologia e inovação. **Parcerias Estratégicas**, v. 16, n. 32, p. 385–402, 21 ago. 2012.

ANFAVEA; BCG. **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. Disponível em: <<https://www.bcg.com/pt-br/decarbonization-path-auto-sector-br>>. Acesso em: 13 mar. 2022.

ANP. **Portaria Técnica 180 1998 da ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis BR**. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/portaria-tecnica-n-180-1998-estabelece-a-regulamentacao-para-utilizacao-de-combustiveis-liquidados-ou-gasosos-nao-especificados?origin=instituicao>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ANP. **Autorização ANP nº 12 de 24/01/2007**. Disponível em:

<https://www.normasbrasil.com.br/norma/autorizacao-12-2007_7013.html>. Acesso em: 6 jun. 2022.

ANP. **Resolução ANP Nº 45 de 25 de agosto de 2014**. Disponível em:

<<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-45-2014?origin=instituicao&q=45/2014>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ANP. **RESOLUÇÃO Nº 734, DE 28 DE JUNHO DE 2018 - Regulamenta a autorização para o exercício da atividade de produção de biocombustíveis e a autorização de operação da instalação produtora de biocombustíveis**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/materia>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

ANP. **Óleo Diesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 10 out. 2020.

ANP. **Produção Nacional**. Governamental. Disponível em:

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTIxIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtNGl0Mi1iN2VmLTExNGFmY2FkYzIxMyJ9>>. Acesso em: 6 jun. 2020a.

ANP. **Proposta de Regulamentação do Diesel Verde**. epbr, , 6 mar. 2020b. Disponível em:

<<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/analise-de-impacto-regulatorio-air/653252-proposta-de-regulamentacao-do-diesel-verde.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2021

ANP. **Biocombustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/biocombustiveis>>. Acesso em: 13 fev. 2022c.

ANP. **Composição e estruturas de formação dos preços.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/composicao-e-estruturas-de-formacao-dos-precos>>. Acesso em: 23 set. 2021.

ANP. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel.** Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBliiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>>. Acesso em: 9 ago. 2022a.

ANP. **Produção de biocombustíveis.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em: 9 ago. 2022b.

AOYAGI, W. S. A. **History of Biodiesel - with Emphasis on Soy Biodiesel (1900-2017): Extensively Annotated Bibliography and Sourcebook.** [s.l.] Soyinfo Center, 2017.

APARECIDO, S. Pesquisa: Passat anda com óleo de amendoim. **A Tribuna**, p. 48, 23 nov. 1980.

APARECIDO, S. Caminhões rodam 120 mil km utilizando só óleo de soja. **A Tribuna**, p. 33, 30 jan. 1983.

ARANDA, D.; TOKARSKI, D. **Por que o “diesel verde” da Petrobras não é verde.** **Ubrabio**, 16 set. 2020. Disponível em: <<https://ubrablo.com.br/2020/09/16/por-que-o-diesel-verde-da-petrobras-nao-e-verde/>>. Acesso em: 5 set. 2022

ARAÚJO, J. M. DE et al. **O cultivo da mamona.** Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckhw7kz02wx5eo0a2ndxymoanhtml.html>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ARBIX, G. DILEMAS DA INOVAÇÃO NO BRASIL. Em: **Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil.** 1. ed. Brasília, DF: IPEA, 2017. p. 485.

ASMIRG. **Torre de destilação e frações separadas do petróleo.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/36220/1123057/Oficio+030+2020+ASMIRG+Comite+Abastece+Brasil.pdf/808c869a-ff4c-b54b-acb2-eb15457e9fe0>>. Acesso em: 10 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ABEPRO. **A Profissão.** Disponível em: <<http://portal.abepro.org.br/a-profissao/>>. Acesso em: 5 jul. 2021.

AYADI, M. et al. History and Global Policy of Biofuels. Em: SOCCOL, C. R. et al. (Eds.). **Green Fuels Technology.** Green Energy and Technology. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 1–14.

AZEVEDO, A. M. M. DE. **Análise Top-Down e Bottom-up de um programa de inovação tecnológica na área de energia: o Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB).** Doutor em Política Científica e Tecnológica—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.

BACKHAUS, R. 125 Years of Diesel. **MTZ industrial**, v. 7, n. 2, p. 3–3, set. 2017.

BAHIA ILLUSTRADA. Figuras evidentes da nossa terra. **Bahia Illustrada**, n. 17, p. 19, 1919.

BALASUBRAMANIAN, N.; STEWARD, K. F. Biodiesel: History of an innovation to keep the world moving. **Substantia**, p. 57- 71 Pages, 22 nov. 2019.

BARABÁSI, A.-L. The network takeover. **Nature Physics**, v. 8, n. 1, p. 14–16, jan. 2012.

BARABÁSI, A.-L.; PÓSFAL, M. **Network science**. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2016.

BARBOZA, T. **Microalgas devem estar entre fontes futuras de energia limpa**. **Edgardigital - UFBA**, 16 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.edgardigital.ufba.br/?p=3025>>. Acesso em: 10 ago. 2022

BARROS, W. C. D.; SOUZA, C. G. D. Patent Documents as a Source of Technological Information in Brazil: a user study of the Program of Automatic Supply of Technological Information (PROFINT). **Information Development**, v. 26, n. 1, p. 67–78, fev. 2010.

BELIK, W. **O programa energético brasileiro e o setor externo**. Dissertação de Mestrado—São Paulo, SP: Fundação Getúlio Vargas (FGV), 1982.

BENNA, A. O carvão branco no presente e no futuro óleos vegetais. **O Jornal**, p. 4, 22 out. 1922.

BERGMANN, J. C. et al. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 411–420, maio 2013.

BIODIESEL BRASIL. **Programa de Testes**. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20090125215533/http://biodieselbrasil.com.br/programa_teste.asp>. Acesso em: 7 jun. 2022.

BIODIESEL BRASIL. **Histórico**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20160610235835/http://biodieselbrasil.com.br/historico.asp>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

BIODIESELBR. **Crédito de Carbono - MDL**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/credito-de-carbono/mdl/credito-carbono>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

BIODIESELBR. **Brasil**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/oleos-vegetais-biodiesel-brasil>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; JOHNSON, J. C. **Analyzing social networks**. Los Angeles: SAGE, 2013.

BOUÇAS, V. E.-C. **Tratores chegam à era do biocombustível**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/tratores-chegam-a-era-do-biocombustivel-04-10-05>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 41.150, de 14 de Março de 1957**. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1950-1959/decreto-41150-14-marco-1957-379904-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

BRASIL (ED.). **III Plano Nacional de Desenvolvimento - 1980/85**. Brasília: Presidência da República, 1981.

BRASIL. **LEI Nº 9.478, DE 6 DE AGOSTO DE 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm>. Acesso em: 28 mar. 2022.

BRASIL. **DIRETRIZES DE POLÍTICA INDUSTRIAL, TECNOLÓGICA E DE COMÉRCIO EXTERIOR**. , 2003. Disponível em: <<http://www.anped11.uerj.br/diretrizes.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2021

BRASIL. **LEI Nº 10.973, DE 2 DE DEZEMBRO DE 2004**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm>. Acesso em: 14 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Presidência da República. . 13 jan. 2005.

BRASIL. Portaria nº 429, de 17 de julho de 2008. Ministério da Ciência, Tecnologia. . 17 jul. 2008.

BRASIL. Lei nº 12.187. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. . 29 dez. 2009.

BRASIL. **Plano Brasil Maior 2011/2014: inovar para competir. Competir para crescer**. MDIC, , 2011.

BRASIL. **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2012–2015 e balanço das atividades estruturantes 2011**. MCTI, , 2012.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Do Clima**. Governamental. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2020.

BRASIL. Decreto Legislativo nº 140, DE 16 de agosto de 2016. Decreto Legislativo nº 140, DE 16 de agosto de 2016. . 17 ago. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.586. Lei nº 13.586, de 28 de dezembro de 2017. . 2017 a.

BRASIL. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017. . 6 jun. 2017 b.

BRASIL. DECRETO Nº 9.578, DE 22 DE NOVEMBRO DE 2018. . 22 nov. 2018 a.

BRASIL. **PPA 2004-2007**. Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/plano-plurianual-ppa/ppa-2004-2007>>. Acesso em: 8 ago. 2022.

BRASIL, B. DOS S. A. F. **Microalgas: a 3ª geração de biocombustíveis no Brasil**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/991420/1/microalgas.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

BRASIL, I. **PORTARIA Nº 206, DE 4 DE SETEMBRO DE 2018**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/materia>>. Acesso em: 1 mar. 2024b.

CADILLO-BENALCAZAR, J. J. et al. Why does the European Union produce biofuels? Examining consistency and plausibility in prevailing narratives with quantitative storytelling. **Energy Research & Social Science**, v. 71, p. 101810, 1 jan. 2021.

CALADO, A. A. **Instituto Nacional De Tecnologia : Desde 1921 Gerando Tecnologia Para O Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Instituto Nacional De Tecnologia, 2005.

CALDARELLI, G.; CATANZARO, M. **Networks: a very short introduction**. 1st ed ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 528/2021**. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2270639>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 6983/2002**. Disponível em:
<<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=56699>>. Acesso em: 4 jul. 2022a.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 526/2003**. Disponível em:
<<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=108352>>. Acesso em: 4 jul. 2022b.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **O Biodiesel e a Inclusão Social**. Disponível em:
<<https://www.camara.leg.br/internet/diretoria/caeat/Biodiesel.asp>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, COMISSÃO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto de Lei 3.550/1997. Torna obrigatória a adição de álcool etílico carburante ao óleo diesel e dá outras providências.** , 27 ago. 1997. Disponível em:
<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=969AB6DB5E5A7C8E23F1A4259182E307.node2?codteor=1130955&filename=Avulso+-PL+3550/1997+CME>

CAMPOS, I. **Biodiesel e Biomassa: duas fontes para o Brasil**. *Ambientebrasil - Ambientes*, 2003a. Disponível em:
<https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_energia/biodiesel_e_biomassa_duas_fontes_para_o_brasil.html>. Acesso em: 29 mar. 2022

CAMPOS, I. A. **Debate sobre o Projeto Biodiesel – Agricultura Familiar**. Disponível em:
<<https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/perm/cctci/notas/NT070503.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2021b.

CARNEIRO, M. B. **Relatórios do Ministério da Agricultura**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Ministério da Agricultura, 1933. Disponível em:
<<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=ZB0030&pesq=%22Instituto%20de%20%20C3%93leos%22&pasta=ano%20193&hf=memoria.bn.br&pagfis=1>>.

CARNEIRO, R. F. A produção de biodiesel na Bahia. *Conjuntura & Planejamento*, v. 1, n. 112, p. 35–43, set. 2003.

CARNEIRO, R. F.; ROCHA, P. K. Políticas públicas e energias renováveis: propostas de ações de indução à diversificação da matriz energética na Bahia. *Bahia Análise & Dados*, v. 16, n. 1, p. 23–26, 2006.

CARTER, J. **Statement of Former President Carter At Energy Security Hearing**. Disponível em:
<https://www.cartercenter.org/news/editorials_speeches/bostonglobe-energy-security-hearings.html>. Acesso em: 26 jul. 2021.

CARVALHO, J. B. DE M. Instituto de Óleos: o aproveitamento dos oleaginosos como combustível. *Jornal do Commercio*, p. 4, 26 nov. 1948.

CASTRO, M. H. M.; SCHWARTZMAN, S. **Tecnologia para a indústria: a história do Instituto Nacional de Tecnologia**. Rio de Janeiro, Brazil: Centro Edelstein, 2008.

CAVALCANTE, G. V. Ciência das Redes: Aspectos Epistemológicos. *Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação*, v. 2, n. 1, 2011.

CCTCI, CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Audiência Pública Nº 0426/03: Debate sobre o Projeto Biodiesel – Agricultura Familiar.** , 7 maio 2003. Disponível em:
<<https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/perm/cctci/notas/NT070503.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2022

CEIB, C. E. I. DO B. **A Rede**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20061207223040/http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em: 14 jul. 2021.

CEPAL; CGEE. “**Panorama dos investimentos em inovação em energia no Brasil: dados para um grande impulso energético**”, **Documentos de Projetos (LC/TS.2020/62; LC/BRS/TS.2020/4)**. Santiago: [s.n.].

CEPAL; IPEA. **Avaliação de Desempenho do Brasil Mais Produtivo**. Brasília, DF: [s.n.].

CÉSAR, A. DA S.; BATALHA, M. Biodiesel in Brazil: History and relevant policies. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, p. 1147–1153, 4 jul. 2010.

CESAR, E. **Biodiesel no tanque**. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/biodiesel-no-tanque/>>. Acesso em: 8 ago. 2021.

CETEC. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. 1. ed. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 1983.

CGEE. **Avaliação de biodiesel no Brasil**. , 2004a. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/biocombustiveis1_4363.pdf/7042bda8-0995-41c4-9aaa-cd08c389315c?version=1.0>. Acesso em: 21 nov. 2021

CGEE. **Prospecção tecnológica em energia**. Brasília, DF: CGEE, 2004b.

CGEE. **III Seminário de Avaliação dos INCT**. , 2019. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20201127163937/https://seminarioinct.cgee.org.br/programa/>>. Acesso em: 15 out. 2020

CHIARADIA, K. **Em briga por petróleo, Monteiro Lobato vê burrada imensa no país**. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2019/03/em-briga-por-petroleo-monteiro-lobato-ve-burrada-imensa-no-pais.shtml>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

CNPE. Resolução CNPE N° 7. Resolução CNPE N° 7, de 20 de abril de 2021. . 17 maio 2021.

CNPQ. **Institutos**. , 2021. Disponível em: <<http://inct.cnpq.br/institutos/>>. Acesso em: 5 jan. 2021

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Brasília, DF: CNT : SEST SENAT, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CNT. **Economia em Foco - Preço do Diesel**. Disponível em: <<https://cnt.org.br/pesquisas>>. Acesso em: 16 set. 2021.

COBO, M. J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382–1402, 2011.

COELHO, J. M. **Brasil avança no setor de biocombustíveis**. , 12 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/07/brasil-avanca-no-setor-de-biocombustiveis>>. Acesso em: 13 fev. 2022

COLEMAN, J. L. The American Whale Oil Industry or, a Look Back to the Future of the American Petroleum Industry? v. 37, n. 3, p. 13–13, 1994.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA; PARLAMENTO EUROPEU. Directiva 2003/30/CE, relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes. 123. 17 maio 2003, p. 46.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA; PARLAMENTO EUROPEU. Directiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. 123. 23 abr. 2009.

COPPE. COPPE Testa Biodiesel a Partir do Reaproveitamento de Óleo Vegetal | COPPE. Disponível em: <<https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/planeta-coppe-noticias/noticias/coppe-testa-biodiesel-a-partir-do-reaproveitamento-de-oleo-vegetal>>. Acesso em: 9 maio. 2022.

COPPE. COPPE e Governo Estadual do Rio de Janeiro testam primeiro ônibus movido a Biodiesel do País. Disponível em: <<https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/planeta-coppe-noticias/noticias/coppe-e-governo-estadual-do-rio-de-janeiro-testam-primeiro-onibus>>. Acesso em: 10 maio. 2022.

COPPE. Rio ganha primeiro ônibus brasileiro movido a biodiesel. Disponível em: <<https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/planeta-coppe-noticias/noticias/rio-ganha-primeiro-onibus-brasileiro-movido-a-biodiesel>>. Acesso em: 12 maio. 2022.

COPPE. COPPE testa e aprova uso de 20% de biodiesel em locomotivas da Vale. Disponível em: <<https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/planeta-coppe-noticias/noticias/coppe-testa-e-aprova-uso-de-20-de-biodiesel-em-locomotivas-da-vale>>. Acesso em: 10 maio. 2022.

CORREIO BRAZILIENSE. CNPq premia cientistas jovens com Cr\$ 5 milhões. **Correio Braziliense**, p. 5, 3 dez. 1982.

CORREIO BRAZILIENSE. Governo testa dendê como combustível. **Correio Braziliense**, p. 4, 11 fev. 1985.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (EDS.). **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2008.

COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 531–537, ago. 2000.

COSTA, R. **Inovação à brasileira**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/001/inovacao-brasileira>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

COUTINHO, L. G. **Inovar e investir para sustentar o crescimento**. . Em: OPORTUNIDADE PARA UMA POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO. Brasília, DFBanco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, , maio 2008. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/6621>>. Acesso em: 26 jul. 2022

CRAVEIRO, P. F. Vendo que tem. **Diario de Pernambuco**, p. 7, 19 fev. 1987.

CREMONEZ, P. A. et al. Biodiesel production in Brazil: Current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 415–428, fev. 2015.

CRUZ, C. H. DE B. **Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2016.

CRUZ, R. S. DA et al. Biodiesel: uma nova realidade energética no Brasil. **Bahia Análise & Dados**, v. 16, n. 1, p. 97–106, jun. 2006.

CSOB. **Agenda de Inovação Para a Cadeia de Produção do Biodiesel**. Brasília, DF: Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel, 2019. Disponível em: <<https://aprobio.com.br/arquivos/Agenda-Biodiesel-V2.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

DABDOUB, M. J. **Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33**. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20030222020649if_/http://www.dabdoub-labs.com.br/artigo_agencia_multi.htm>. Acesso em: 8 jun. 2022.

DAHIYA, A. (ED.). Chapter 2 - Introduction to biodiesel and glossary of terms. Em: **Bioenergy (Second Edition)**. [s.l.] Academic Press, 2020. p. 45–49.

DANIEL, I. **Petrobras iniciou testes com biodiesel B5 - Agência de Notícias Brasil-Árabe**. Disponível em: <<https://anba.com.br/petrobras-iniciou-testes-com-biodiesel-b5/>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

DE MORAES, M. A. F. D.; RODRIGUES, L.; KAPLAN, S. The Sugarcane Industry and the Use of Fuel Ethanol in Brazil: History, Challenges, and Opportunities. Em: KHANNA, M.; ZILBERMAN, D. (Eds.). **Handbook of Bioenergy Economics and Policy: Volume II**. Natural Resource Management and Policy. New York, NY: Springer New York, 2017. v. 40p. 39–63.

DENNY, D. M. T. Competitive renewables as the key to energy transition—RenovaBio: the Brazilian biofuel regulation. Em: **The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 223–242.

DERNER, R. B. **Pesquisas para o cultivo de microalgas na UFSC**. . Em: 3º SIMPÓSIO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS MICROALGAS. Natal, RN, 2015.

DIARIO DE PERNAMBUCO. Soja - ainda esperança. **Diario de Pernambuco**, p. 18, 9 dez. 1945.

DIAS, S. Novo biodiesel entra na reta de chegada ao mercado. **Revista Conecta**, p. 54–55, jun. 2008.

DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 10, p. 185–185, set. 2006.

DOE. **Straight Vegetable Oil as a Diesel Fuel?** U.S. Department of Energy (DOE), , 2021. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/straight_vegetable_oil_as_diesel_fuel.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2022

DOOLEY, J. J. **U.S. Federal Investments in Energy R&D: 1961-2008**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.osti.gov/servlets/purl/949139-983qYT/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

DOS SANTOS, G. R. **TD 2047 - Financiamento Público da Pesquisa em Energias Renováveis no Brasil: A Contribuição dos Fundos Setoriais de Inovação tecnológica**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=24742>. Acesso em: 14 jul. 2022.

DUDZIAK, E. **Levantamento mostra quem financia a pesquisa no Brasil e na USP**. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/universidade/levantamento-mostra-quem-financia-a-pesquisa-no-brasil-e-na-usp/>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

EBC. **Universidades públicas registram mais patentes que empresas no Brasil**. Disponível em: <<https://vitrinetecnologica.mec.gov.br/noticias/183-universidades-publicas-registram-mais-patentes-que-empresas-no-brasil>>. Acesso em: 14 mar. 2024.

EBN. Ceplac produzirá óleo de dendê. **Jornal do Dia**, p. 21, 10 jul. 1984.

EIA. **Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050**. Washington, DC 20585: U.S. Energy Information Administration, 24 jan. 2019. Disponível em: <www.eia.gov/aeo>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ELSHOUT, P. M. F. et al. Global relative species loss due to first-generation biofuel production for the transport sector. **GCB Bioenergy**, v. 11, n. 6, p. 763–772, jun. 2019.

EMBRAPA. **Embrapa desenvolve óleo diesel vegetal - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17934827/embrapa-desenvolve-oleo-diesel-vegetal->>. Acesso em: 10 maio. 2022.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: EPE, 2020a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2020.

EPE. **BEN Interativo**. Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>>. Acesso em: 21 jan. 2021b.

EPE. **Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: EPE, 2020c.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>>. Acesso em: 21 fev. 2022a.

EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2020: NOTA TÉCNICA** EPE/DPG/SDB/2021/03. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf>.

EPE. **BEN - Séries Históricas e Matrizes**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

EPE. **Inova-e: Painel de indicadores de investimentos em inovação em energia no Brasil**. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/inova-e/index.html>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

EPE, E. DE P. E. **Balço Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. [s.l.] Empresa de Pesquisa Energética, 2020d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2020.

EPE; IEA. **Brazilian Road Freight Transport Benchmarking**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20\[PT\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20[PT].pdf)>. Acesso em: 3 mar. 2021.

ESTADO DO PIAUHY. **Relatorios dos Presidentes dos Estados Brasileiros (PI) - 1919**. [s.l.] Estado do Piauhy, 1 jun. 1919. Disponível em: <<https://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=720470&pesq=%22C3%93leo%20vegetal%22%20diesel&pasta=ano%20191&hf=memoria.bn.br&pagfis=942>>. Acesso em: 3 jul. 2023.

EUBIA. **Biodiesel – European Biomass Industry Association**. , [s.d.]. Disponível em: <<https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biofuels/biodiesel/>>. Acesso em: 1 abr. 2022

FAAIJ, A. Modern Biomass Conversion Technologies. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, n. 2, p. 343–375, mar. 2006.

FAPERJ. **Biodiesel: assinado novo convênio para produção**. Disponível em: <<http://siteantigo.faperj.br/?id=40.2.6>>. Acesso em: 10 maio. 2022.

FAPERJ. **Relatório de Atividades 2007-2008**. Rio de Janeiro: [s.n.].

FAPESB. **EDITAL FAPESB/SECTI 08/2008: EDITAL DE APOIO A PROJETOS EM TEMAS ESTRATÉGICOS**. FAPESB, , 2008. Disponível em: <<https://www.fapesb.ba.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/EDITAL-008-2008.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2021

FARIA, I. D. et al. **A utilização de óleo vegetal refinado como combustível – aspectos legais, técnicos, econômicos, ambientais e tributários: Textos para Discussão 73**. Brasília, DF: da ConsuCentro de EstudosIstoria do Senado Federal, ago. 2010.

FERNANDES, F. M. et al. Pesquisa com Biodiesel na UFBA: uma análise a partir das teses e dissertações produzidas entre 2005-2019 com aplicação da lei de Lotka. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 30, n. 2, 15 jun. 2020.

FERNANDES, F. M. et al. Metric Studies of Information in Animal Fat Research for Biodiesel Production in Brazil between 2008 and 2019 in the Scope of Web of Science. **Revista Gestão Inovação e Tecnologias**, v. 11, n. 1, p. 5880–5892, 14 jan. 2021.

FERNANDES, F. M. et al. Research on Biodiesel in the National Institute of Science and Technology for Energy and Environment: An Analysis through Scientometry, and Complex and Social Networks. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 13, n. 3, p. 207–218, 17 maio 2023.

FGV, F. G. V.; UBRABIO, U. B. DO B. E B. **Biodiesel and its contribution to Brazilian development**. São Paulo, SP: FGV; Ubrabio, 2010. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/ubrablo.pdf>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

FIENBERG, S. E. A Brief History of Statistical Models for Network Analysis and Open Challenges. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, v. 21, n. 4, p. 825–839, 2012.

FILHO, F. **Comissão do Senado discute crise na pesquisa científica brasileira, com baixos resultados e fuga de cérebros**. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/08/24/comissao-do-senado-discute-crise-na-pesquisa-cientifica-brasileira-com-baixos-resultados-e-fuga-de-cerebros>>. Acesso em: 1 mar. 2024.

FINEP. **FINEP Relatório de Atividades 2004**. FINEP, , 2004a. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/a-finep/transparencia/relatorios/relatorios_de_atividades/ra_2004.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2021

FINEP. **FINEP Relatório de Gestão 2004**. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/a-finep/transparencia/relatorios/relatorios-de-gestao/2004/relatorio_gestao_finep_2004.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2021b.

FINEP. **Chamadas Públicas**. Disponível em: <<http://finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadaspublicas>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

FINEP. **Composição do FNDCT**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/estrutura-orcamentaria/composicao-do-fndct>>. Acesso em: 19 ago. 2022.

FONSECA E FONSECA, B. DE P. **Colaboração como estratégia para instituições de ciência e tecnologia em saúde: uma proposta de indicadores para análise organizacional**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

FONSECA, H. Marmeleiro o “petróleo” vegetal do Nordeste. **Jornal do Commercio**, p. 10, 21 maio 1978.

FONTANA, J. D. **Biodiesel : A experiência paranaense**. **Ambientebrasil - Ambientes**, 2002.

Disponível em:

<https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_energia/biodiesel_a_experiencia_paranaense.html>. Acesso em: 25 abr. 2022

FRANCO, A. L. C. et al. Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. **Química Nova**, v. 36, p. 437–448, 2013.

FRANCO, J. et al. Assumptions in the European Union biofuels policy: frictions with experiences in Germany, Brazil and Mozambique. **The Journal of Peasant Studies**, v. 37, n. 4, p. 661–698, out. 2010.

FREEMAN, L. C. **The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science**. Vancouver, BC : North Charleston, S.C: Empirical Press, 2004.

FREITAS, F. C. DE. **Uso de resíduo orgânico da produção de biodiesel direta da semente na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo**. Dissertação Mestrado—Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

FULTON, L. M. et al. The need for biofuels as part of a low carbon energy future. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 9, n. 5, p. 476–483, set. 2015.

GALLO, F. DE A. Tutorial de redes e um estudo de caso sobre “redes criminais”. **Revista USP**, n. 92, p. 74–85, 2012.

GARCIA, J. R.; COSTA, A. D. Desafios para a inserção do Estado do Paraná na cadeia produtiva do biodiesel. **Informe GEPEC**, v. 15, n. 1, p. 6–24, 30 jun. 2011.

GAZETA DE NOTICIAS. **A Fortaleza da Lage - as novas baterias e canhões e iluminação electrica**. Disponível em:

<https://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=103730_04&pesq=%22diesel%22&asta=ano%20190&hf=memoria.bn.br>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GAZETA DE NOTICIAS. Suedaneo do óleo diesel. **Gazeta de Noticias**, p. 3, 4 out. 1940.

GAZETA DE NOTICIAS. **Industrialização intensiva dos óleos vegetais**. Disponível em:

<[https://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=103730_07&PagFis=12610&Pesq=%22Instituto%20Nacional%20de%20c3%93leos%22%20diesel%20\(3\)>](https://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=103730_07&PagFis=12610&Pesq=%22Instituto%20Nacional%20de%20c3%93leos%22%20diesel%20(3)>)>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GAZETA DE NOTICIAS. Topicos - Um problema a resolver. **Gazeta de Noticias**, p. 3, 30 ago. 1942a.

GAZETA DE NOTICIAS. **Aumenta o aproveitamento de óleos vegetais como combustíveis**.

Disponível em:

<[https://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=103730_07&PagFis=7670&Pesq=%22Instituto%20Nacional%20de%20c3%93leos%22%20diesel%20\(3\)>](https://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=103730_07&PagFis=7670&Pesq=%22Instituto%20Nacional%20de%20c3%93leos%22%20diesel%20(3)>)>. Acesso em: 13 nov. 2023b.

GAZETA DE NOTICIAS. Combustível vegetal para consumo interno. **Gazeta de Noticias**, p. 10, 3 dez. 1942c.

- GAZETA MERCANTIL. **Governo federal retoma programa de biodiesel**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/governo-federal-retoma-programa-de-biodiesel_11226.html>. Acesso em: 29 abr. 2022.
- GAZZONI, D. L. **Biodiesel e as novas tecnologias**. BiodieselBR. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/gazzoni/biodiesel-novas-tecnologias-241110>>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- GEBREMARIAM, S. N. et al. Biodiesel production technologies: review. **AIMS Energy**, v. 5, n. 3, p. 425–457, 2017.
- GERPEN, J. H. V. Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. n. 31, p. 24, 2007.
- GIANORDOLI, V. **Geoinformação e setor público: uma avaliação da Produção Científica utilizando ferramentas de mapeamento da ciência**. Vitória, ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 1 ago. 2018.
- GLASSIE, J. **Athanasius, Underground**. Disponível em: <<https://publicdomainreview.org/essay/athanasius-underground/>>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- GRÁCIO, M. C. C. et al. **Tópicos da bibliometria para bibliotecas universitárias**. [s.l.] Oficina Universitária, 2020.
- GRANDO, F. J. L. D. M. **Probiodiesel: Programa Brasileiro de Biodiesel**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/perm/capr/CAPR_BIOMCT.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2021.
- GREGG, D. J. **Newsletters Issue 8. IEA Bioenergy Task 39 - Commercializing Conventional and Advanced Transport Biofuels from Biomass and Other Renewable Feedstocks**, 10 dez. 2003. Disponível em: <<https://task39.ieabioenergy.com/newsletters/>>. Acesso em: 4 abr. 2022
- GRIBKOVSKAIA, I.; HALSKAU, Ø.; LAPORTE, G. The bridges of Königsberg—A historical perspective. **Networks**, v. 49, n. 3, p. 199–203, 2007.
- GUO, M.; SONG, W.; BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 712–725, fev. 2015.
- GUSMÃO, R. **Unidade de APLs implementa rede de biodiesel e avalia arranjos produtivos**. , dez. 2005.
- HARRIS, T. Aparelho para extração de óleo do café. **Correio Paulistano**, 2 jun. 1944.
- HAWKINS, C. S.; FULS, J.; HUGO, F. J. C. **Sunflower Oil Esters: An Alternative Fuel for Direct Injection Diesel Engines**. . Em: 1983 SAE INTERNATIONAL OFF-HIGHWAY AND POWERPLANT CONGRESS AND EXPOSITION. 12 set. 1983. Disponível em: <<https://www.sae.org/content/831356/>>. Acesso em: 17 mar. 2023
- HIGGINS, S. S. **Análise de redes em Ciências Sociais**. 1. ed. Brasília, DF: Enap, 2018.
- IARC. **Diesel engine exhaust carcinogenic**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- IBICT. **BrCris: Ecosistema de Informação da Pesquisa Científica Brasileira**. Disponível em: <<https://brcris.ibict.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ICTP.BR. **Declaração de Princípios quanto à constituição do SNCTI – ABC.** , 21 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.abc.org.br/2022/02/23/ictp-br-divulga-declaracao-de-principios-quanto-a-constituicao-do-sncti/>>. Acesso em: 6 ago. 2022

IEA. **Technology Roadmap: Biofuels for Transport.** [s.l.] OECD Publishing, 2011.

IEA. **Technology Roadmap : How2Guide for Bioenergy.** [s.l.] International Energy Agency, 2017. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/1363affb-d787-4ee6-a1d4-f9c7ef8a552f/How2GuideforBioenergyRoadmapDevelopmentandImplementation.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

IEA. **Renewables 2019 Market analysis and forecast from 2019 to 2024.** Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2019>>. Acesso em: 5 ago. 2021.

IEA. **Transport biofuels – Renewables 2020 – Analysis.** Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2020/transport-biofuels>>. Acesso em: 13 set. 2021.

IEA BIOENERGY. **The Role of Renewable Transport Fuels in Decarbonizing Road Transport.** [s.l.] IEA Bioenergy, 2020. Disponível em: <<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/11/Production-Technologies-and-Costs.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

IEDI. **Política de Desenvolvimento Produtivo.** , maio 2008. Disponível em: <https://www.iedi.org.br/admin_ori/pdf/20080529_pdp.pdf>. Acesso em: 3 maio. 2021

INCA. **Fumaças de motores a diesel.** Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/fumacas-de-motores-a-diesel>>. Acesso em: 10 out. 2020.

INCT EA. **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energia e Ambiente.** , 2020. Disponível em: <<http://www.inct.cienam.ufba.br>>. Acesso em: 17 dez. 2020

INPI. **pePI - Pesquisa em Propriedade Industrial.** Disponível em: <<https://busca.inpi.gov.br/pePI/>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

Instituto de Oleos do Brasil. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 30, n. 4, p. 23–24, abr. 1953.

IPEA. **Brasil em desenvolvimento : Estado, planejamento e políticas públicas.** Brasília, DF: IPEA, 2009. v. 2

IRENA. **Innovation Outlook: Advanced Liquid Biofuels.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2016/Oct/Innovation-Outlook-Advanced-Liquid-Biofuels>>. Acesso em: 7 set. 2020.

IRENA. **Renewables 2020 Global Status Report.** Paris: International Renewable Energy Agency – IRENA, 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.

IRENA. **Bioenergy.** Disponível em: <<https://www.irena.org/bioenergy>>. Acesso em: 5 ago. 2021.

IRENA. **NDCs and Renewable Energy Targets in 2021.** Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2022/Jan/NDCs-and-Renewable-Energy-Targets-in-2021>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

IVIG/COPPE. **Biodiesel.** Disponível em: <https://web.archive.org/web/20041214180457/http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/proj_biodiesel.htm>. Acesso em: 15 jun. 2022.

- JB. Congresso de óleos e a caixa de premios. **Jornal do Brasil**, 28 set. 1927.
- JB. Ceteb acha que o dendê pode substituir o diesel no país. **Jornal do Brasil**, p. 30, 28 nov. 1980.
- JC. Várias notícias. **Jornal do Commercio**, p. 10, 14 out. 1942.
- JC. S.A. Industrias Reunidas F. Matarazzo: Relatório da Diretoria. **Jornal do Commercio**, p. 6, 24 out. 1960.
- JC. O que é e o que não é substituível. **Jornal do Commercio**, p. 7, 8 ago. 1978.
- JC. Collor testa automóvel movido a óleo de dendê. **Jornal do Commercio**, p. 15, 1 out. 1991.
- JORNAL DO BRASIL. Óleo vegetal terá da Finep Cr\$ 150 milhões. **Jornal do Brasil**, p. 15, 17 dez. 1979.
- JORNAL DO BRASIL. Governo estuda um substituto para o diesel. **Jornal do Brasil**, p. 34, 20 jan. 1980a.
- JORNAL DO BRASIL. Fiesp estuda substituição do diesel por óleo vegetal. **Jornal do Brasil**, 17 nov. 1980b.
- JORNAL DO BRASIL. Grupo do governo rejeita óleo vegetal no diesel. **Jornal do Brasil**, p. 48, 14 dez. 1980c.
- JORNAL DO BRASIL. Fiat já pode vender seus carros movidos a mamona. **Jornal do Brasil**, p. 4, 3 nov. 1984.
- JORNAL DO COMMERCIO. UFC pesquisa marmeleiro. **Jornal do Commercio**, p. 3, 19 jul. 1978.
- JORNAL DO COMMERCIO. CTC testa nova mistura de diesel. **Jornal do Commercio**, p. 3, 14 out. 1979a.
- JORNAL DO COMMERCIO. Teste do INT aprovam óleos vegetais no motor. **Jornal do Commercio**, p. 7, 24 out. 1979b.
- JORNAL DO COMMERCIO. EUA já testam seu próprio Proálcool. **Jornal do Commercio**, p. 6, 14 fev. 1981.
- JORNALCANA. **Ceplac negocia com Petrobras projeto sobre combustível com dendê.** **JornalCana**, 8 dez. 2004. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/ceplac-negocia-com-petrobras-projeto-sobre-combustivel-com-dende/>>. Acesso em: 29 nov. 2023
- JÚDICE, C. **Palestra de Apresentação da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel.** Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060818181806/http://www.biodiesel.gov.br/docs/I_RBTTB_lancament o.pps>. Acesso em: 21 jul. 2022.
- KADUSHIN, C. **Understanding Social Networks: Theories, Concepts, and Findings.** Illustrated edição ed. New York: Oxford University Press, USA, 2012.
- KARATZOS, S.; MCMILLAN, J. D.; SADDLER, J. N. **The potential and challenges of drop-in biofuels: a report by IEA Bioenergy Task 39.** [s.l: s.n.].

- KARGBO, H.; HARRIS, J. S.; PHAN, A. N. “Drop-in” fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, p. 110168, jan. 2021.
- KNOKE, D. Origins of Social Network Analysis. Em: ALHAJJ, R.; ROKNE, J. (Eds.). **Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining**. New York, NY: Springer, 2014. p. 1229–1233.
- KNOTHE, G. History of Vegetable Oil-Based Diesel Fuels. Em: **The Biodiesel Handbook**. [s.l.] Elsevier, 2010a. p. 5–19.
- KNOTHE, G. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 36, n. 3, p. 364–373, jun. 2010b.
- KNOTHE, G.; RAMOS, L. P. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.
- KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36–59, jan. 2017.
- KOLVER, L. **Does SA’s sunflower-to-diesel technology have any place in its fuel-security future?** Disponível em: <https://www.engineeringnews.co.za/article/does-sas-sunflowertodiesel-technology-have-any-place-in-its-fuelsecurity-future-2008-10-17/rep_id:4136>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- KÖRBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. **Renewable Energy**, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment. v. 16, n. 1, p. 1078–1083, 1 jan. 1999.
- KÖRBITZ, W. et al. Worldwide Review on Biodiesel Production. **IEA Bioenergy Task 39, Subtask „Biodiesel“**, p. 121, 11 ago. 2003.
- KRONBERG, B.; BERG, R.; BERG, J. **Inventory of concepts for mixed diesel fuels containing renewable components Final report**. , jun. 2000. Disponível em: <<https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/20119590>>. Acesso em: 20 jan. 2022
- KUMAR, S. Co-authorship networks: a review of the literature. **Aslib Journal of Information Management**, v. 67, n. 1, p. 55–73, 19 jan. 2015.
- LAPLANE, M. F.; CASSIOLATTO, J. E.; LASTRES, H. **Projeto Política Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação: A Lei de Inovação e o Sistema Nacional de C & T & I**. CGEE, , 2007. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/NT_final_+Inst_Pol_CT%26I_2007_3459.pdf/9bdb1fb8-4b7a-43fb-a30d-f8d9be8ad606?version=1.0>. Acesso em: 14 jun. 2020
- LAVIOLA, B.; MENEZES, R. **Balanço do VII Congresso do Biodiesel**. Brasília, DF, 21 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/oleaginosas-e-biodiesel/cs-oleaginosas-e-biodiesel-anos-anteriores>>. Acesso em: 30 nov. 2021
- LEYDESDORFF, L.; CARLEY, S.; RAFOLS, I. Global maps of science based on the new Web-of-Science categories. **Scientometrics**, v. 94, n. 2, p. 589–593, fev. 2013.
- LI, D. et al. A Quick Look Back at the Microalgal Biofuel Patents: Rise and Fall. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, p. 1035, 26 ago. 2020.
- LIMA, C. R. L. **O BIODIESEL E O DESENVOLVIMENTO SOCIAL DA BAHIA**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2005.

LIMA, N. T. et al. As ciências na formação do Brasil entre 1822 e 2022: história e reflexões sobre o futuro. **Estudos Avançados**, v. 36, n. 105, p. 211–233, ago. 2022.

LIMA, P. C. R. O BIODIESEL E A INCLUSÃO SOCIAL. p. 36, mar. 2004.

LOONEY, R. E. OIL PRICES AND THE IRAQ WAR: MARKET INTERPRETATIONS OF MILITARY DEVELOPMENTS. **The Journal of Energy and Development**, v. 29, n. 1, p. 25–41, 2003.

LOPES, F. J. A.; TÁBOAS, P. Z. EULER E AS PONTES DE KÖNIGSBERG. v. 15, p. 10, 2015.

LUQUE, R.; MELERO, J. A. Introduction to advanced biodiesel production. Em: **Advances in Biodiesel Production**. [s.l.] Elsevier, 2012. p. 1–9.

MACHADO, R. **Mistura de biodiesel pode chegar a até 25% em projeto sobre transição energética**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/regulacao/politica/mistura-de-biodiesel-pode-chegar-a-ate-25-em-projeto-sobre-transicao-energetica-140224>>. Acesso em: 12 mar. 2024.

MAPA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. MAPA, , 2006. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos/pna-2ed-portugues.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2021

MARAFON, A. C. et al. **Uso da Biomassa para a Geração de Energia**. 1. ed. Aracajú, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

MARSDEN, P. V. Network Centrality, Measures of. Em: **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 532–539.

MARTINS, L. O. S. et al. Energias renováveis no contexto energético mundial e nacional: riscos, oportunidades e desafios. Em: DA SILVA, L. R. A. (Ed.). **Bioenergia: um diálogo renovável**. 1. ed. Salvador: Editora Zarte, 2018. p. 25–44.

MARTINS, R. Etanol e Biodiesel: inovação tecnológica e a política nacional de ciência e tecnologia. **Informações Econômicas**, v. 40, n. 11, p. 12, nov. 2010.

MATTEI, L. Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 41, n. 4, p. 731–740, 2010.

MATURANA, L. **Exportação: panorama de possibilidades**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/029/panorama-de-possibilidades>>. Acesso em: 8 ago. 2022.

MCT. Portaria MCT N° 702 de 30 de outubro de 2002. . 30 out. 2002.

MCT. **Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Ministério da Ciência e Tecnologia, , 2004.

MCT. **Ciência, Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento nacional: o papel do MCT**. 2005.

MCT. **Relatório de Gestão: 2003/2006**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em:

<<https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/670/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Gest%C3%A3o%20Janeiro%20de%202003%20a%20Dezembro%20de%202006.pdf.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

MCT. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação: principais resultados e avanços: 2007 – 2010**. [s.l.] Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 2010.

MCTIC. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016 - 2022**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2016a.

MCTIC. **Em dez anos, MCTIC investiu R\$ 180 milhões no desenvolvimento tecnológico do biodiesel**. Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6eISO/content/em-dez-anos-mctic-investiu-r-180-milhoes-no-desenvolvimento-tecnologico-do-biodiesel>. Acesso em: 11 jun. 2020b.

MCTIC. **Plano de ciência, tecnologia e inovação para energias renováveis e biocombustíveis: 2018 - 2022**. [s.l.] Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018.

MEC. **Criação de Universidades: Linha do tempo**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/linhatempo-ifes.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2021.

MEDEIROS, J. F. DE; ALENCAR, P. C. A. B. **Primeira ação do Programa o Biodiesel/ABIPTI acontece em novembro**. , out. 2004.

MELO, F. H. DE. ÓLEOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVAS AO DIESEL. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 21, n. 2, p. 251–267, 1983.

MENCZER, F.; FORTUNATO, S.; DAVIS, C. A. **A first course in network science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.

MENDES, A. P. DO A. et al. Mercado de refino de petróleo no Brasil. set. 2018.

MENEZES, R. S. **Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação na Cadeia Produtiva do Biodiesel / Desenvolvimento Tecnológico do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) / Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel**. . Em: 4º SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCMBUSTÍVEIS. Rio de Janeiro, 19 maio 2011. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/biocom/2011/palestras-apresentacoes.html>>. Acesso em: 13 nov. 2021

MENEZES, R. S. **Biodiesel no Brasil: impulso tecnológico**. 1. ed. [s.l.] UFLA, 2016. v. 1

MENEZES, R. S.; MEDEIROS, J. F. DE; NERI, C. A. L. **Implantação e Consolidação da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel**. ABIPTI, , 2006. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060902114049/http://www.abipti.org.br/congressobiodiesel2006/documentos/artigo_rbtb.PDF>. Acesso em: 20 jun. 2020

MILANEZ, A. Y. et al. Biodiesel e diesel verde no Brasil : panorama recente e perspectivas. set. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **O Ministério da Agricultura no Governo Getúlio Vargas (1930-1944)**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Ministério da Agricultura, 1945. Disponível em: <<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReaderMobile.aspx?bib=zb0030&PagFis=2601>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MITRA, S.; SINHA, A. **Economic development, climate change, and the environment**. London: Routledge, 2006.

MITTELBAACH, M. Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 56, n. 1, p. 7–11, abr. 1996.

MITTELBAACH, M.; REMSCHMIDT, C. Books: Biodiesel - A comprehensive handbook. **Biotechnology Journal**, v. 1, n. 1, p. 102–102, jan. 2006.

MIZRUCHI, M. S. Análise de redes sociais: avanços recentes e controvérsias atuais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 46, n. 3, p. 72–86, set. 2006.

MMA. **DOCUMENTO-BASE PARA SUBSIDIAR OS DIÁLOGOS ESTRUTURADOS SOBRE A ELABORAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO E FINANCIAMENTO DA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA DO BRASIL AO ACORDO DE PARIS**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/15137-discuss%C3%B5es-para-implementa%C3%A7%C3%A3o-da-ndc-do-brasil.html>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2022a.

MME. **RBTB - A Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/rbtb/rbtb>>. Acesso em: 14 jul. 2021b.

MONTEIRO, M. et al. Critical review on analytical methods for biodiesel characterization. **Talanta**, v. 77, n. 2, p. 593–605, 15 dez. 2008.

MOREL, C.; HAUEGEN, R. Ascensão, queda e ressurreição dos INCTs. **Valor Econômico**, 9 maio 2017.

MRE. **NOTA À IMPRENSA Nº 157/2020. Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris**. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris>. Acesso em: 18 fev. 2022.

NAE. **Biocombustíveis**: Cadernos NAE. Brasília, DF: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005.

NANDA, S. et al. A Broad Introduction to First-, Second-, and Third-Generation Biofuels. Em: SARANGI, P. K.; NANDA, S.; MOHANTY, P. (Eds.). **Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization**. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 1–25.

NASA. **Technology Readiness Level Definitions**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf>. Acesso em: 4 set. 2020.

NBB. **Biodiesel Basics**. Disponível em: <<https://www.biodiesel.org/what-is-biodiesel/biodiesel-basics>>. Acesso em: 9 fev. 2022.

NETTO, P. O. B. **Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos**. [s.l.] Editora Blucher, 2011.

NETTO, P. O. B.; JURKIEWICZ, S. **Grafos: Introdução e Prática**. 2ª edição ed. [s.l.] Blucher, 2017.

NEWMAN, M. **Networks: An Introduction**. 2ª edição ed. Oxford, United Kingdom ; New York, NY, United States of America: OUP Oxford, 2018.

NEWMAN, M. E. J.; BARABÁSI, A.-L.; WATTS, D. J. (EDS.). **The structure and dynamics of networks**. Princeton: Princeton University Press, 2006.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. 9 - Biofuels for Transport. Em: LETCHER, T. M. (Ed.). **Future Energy (Third Edition)**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 173–197.

NOOY, W. DE; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Exploratory social network analysis with Pajek**. Revised and expanded edition for updated software ed. Cambridge ; New York, NY USA: Cambridge University Press, 2018.

O IMPARCIAL. O problema de combustíveis. **O Imparcial**, p. 5, 31 out. 1941.

O PAIZ. **Theatro Municipal: Histórico**. Disponível em:

<https://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=178691_03&pesq=motor%20diesel&pasta=a no%20190&hf=memoria.bn.br&pagfis=20125>. Acesso em: 13 nov. 2023.

O PAIZ. Primeiro Congresso Nacional de Óleos. **O Paiz**, p. 1, 23 nov. 1924a.

O PAIZ. O Congresso de Óleos. **O Paiz**, p. 4, 23 nov. 1924b.

O PAIZ. Curso de especialização em óleos vegetaes. **O Paiz**, p. 4, 10 mar. 1929.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões Por Setor | Energia**. Disponível em:

<<http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Mapa de Emissões**. Disponível em:

<<https://plataforma.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2023.

OCDE. **Brasil-Portugues - Organisation for Economic Co-operation and Development**.

Disponível em: <<https://www.oecd.org/latin-america/paises/brasil-portugues/>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

OECD; FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030**. [s.l.] OECD, 2021.

OHIO HISTORY CENTRAL. **Buck Fry**. Disponível em:

<https://ohiohistorycentral.org/w/Buck_Fry>. Acesso em: 14 mar. 2023.

OLIVEIRA, H. R. DE. **Estudo de viabilidade técnica e ambiental para utilizar mistura álcool anidro/diesel/aditivo em frota de ônibus urbanos**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 23 jun. 2003.

OLIVEIRA, M. DE. **Biodiesel em ascensão**. Disponível em:

<<https://revistapesquisa.fapesp.br/biodiesel-em-ascensao/>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.

OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. D. BIODIESEL UMA EXPERIÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. p. 14, 2005.

OPENREFINE. **Cell editing | OpenRefine**. Disponível em:

<<https://openrefine.org/docs/manual/cellediting>>. Acesso em: 29 fev. 2024.

Os milagres do café. **A Manhã**, p. 10, 20 jul. 1944.

P. VIEIRA, R. et al. Scientific Collaboration Networks of the “Energy and Environment INCT”. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 4, p. 1234–1248, 2016.

PAHL, G. **Biodiesel: Growing a New Energy Economy, 2nd Edition**. [s.l.] Chelsea Green Publishing, 2008.

PARENTE, E. J. DE S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. [s.l.] Tecbio, 2003.

PARENTE, E. J. DE S. Entrevista: Expedito Parente. Em: **Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas**. [s.l.] Ministério das Relações Exteriores, 2007. p. 183–205.

PARENTE, E. J. DE S. A Evolução da Indústria do Biodiesel no Brasil. Em: **BIODIESEL NO BRASIL: IMPULSO TECNOLÓGICO**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2016. p. 19–37.

PEDROSA JR., O. A.; CORRÊA, A. C. DE F. **A Crise do Petróleo e os Desafios do Pré-Sal**. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/opinioes/crise-do-petroleo-e-os-desafios-do-pre-sal>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PEDROTI, P. M. **Entre a estrutura institucional e a conjuntura política: o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e a combinação inclusão social-participação**. Thesis—[s.l.: s.n.].

PEDROTI, P. M. 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. p. 66, 2013.

PELKMANS, L. et al. European biofuels strategy. **International Journal of Environmental Studies**, v. 64, n. 3, p. 325–346, jun. 2007.

PERERA, S.; BELL, M. G. H.; BLIEMER, M. C. J. Network science approach to modelling the topology and robustness of supply chain networks: a review and perspective. **Applied Network Science**, v. 2, n. 1, p. 33, dez. 2017.

PETROBRAS. **Óleo diesel Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2020.

PEUGEOT DO BRASIL. **Inovação**. Disponível em: <<http://brasil.peugeot.com.br/descubra/tecnologia/index.jsp;jsessionid=E4B8701A4247BD61BF363818DCE7FF37>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

PIETRAFESA, P. A. **Engajamento parlamentar no processo de formação de políticas públicas do executivo : as políticas públicas de clima e biocombustíveis no Brasil e Estados Unidos**. [s.l.] UNB, 1 mar. 2013.

PIETRAFESA, P. A.; SANTOS, J. M. DOS. O papel do Congresso Nacional no processo de formulação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). jul. 2014.

PINHEIRO, A. C. Sobre a dieselização da frota brasileira de caminhões. <http://www.ipea.gov.br>, dez. 1983.

PINTO, A. C. et al. Biodiesel: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6B, p. 1313–1330, nov. 2005.

POUSA, G. P. A. G.; SANTOS, A. L. F.; SUAREZ, P. A. Z. History and policy of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5393–5398, nov. 2007.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL PEI. **Sobre o programa**. Disponível em: <<http://www.pei.ufba.br/>>. Acesso em: 5 jul. 2021a.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL PEI. **Temas propostos para projeto de Mestrado/Doutorado em Engenharia Industrial | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial**. Disponível em: <<http://pei.ufba.br/pt-br/temas-propostos-para-projeto-de-mestradodoutorado-em-engenharia-industrial>>. Acesso em: 5 jul. 2021b.

QUINTELLA, C. M. et al. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 793–808, 2009.

RAMOS, G. DE L. **Palmáceas alternativas para incremento da produção de biodiesel**. Dissertação de Mestrado—Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2010.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 31, p. 28–37, 1 jan. 2003.

RAMOS, L. P. **O Biodiesel como modelo para projetos MDL**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/ramos/biodiesel-modelo-projetos-mdl>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

RAMOS, L. P. et al. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual Química**, v. 3, n. 5, p. 385- 405., 22 out. 2011.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Raw Materials, Production Technologies and Fuel Properties. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 317–369, 2017.

RECUERO, R. **Introdução à análise de redes sociais online**. 1. ed. Salvador: EDUFBA, 2017.

REED, T. B.; GRABOSKI, M. S.; GAUR, S. Biodiesel from Waste Vegetable Oils. Em: BRIDGWATER, A. V. (Ed.). **Advances in Thermochemical Biomass Conversion**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. p. 1475–1483.

REN21. **Renewables 2020 Global Status Report**. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2020>>. Acesso em: 21 jul. 2021.

REN21. **Renewables 2021 Global Status Report**. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf>. Acesso em: 3 set. 2021.

REN21. **Renewables 2022 Global Status Report**. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf>. Acesso em: 3 set. 2021.

RENEWABLE ENERGY ACTION. **Development of Biodiesel - Case Study #5: Austria**.

Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20070222005926/http://www.senternovem.nl/mmfiles/The%20Development%20of%20Biodiesel_tcm24-117024.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

REZENDE, M. J. C. et al. Biodiesel: An Overview II. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, p. 1301–1344, 2 jul. 2021.

RIBEIRO, V. S. MERCADO DO BIODIESEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E OBJETIVOS SOCIAIS DO PNPB. **Desenvolvimento Regional em debate (DRd)**, v. 9, p. 18–41, 2019.

RIBEIRO, V. S.; SILVA, M. A. DA R. Política pública do biodiesel no Brasil: uma análise na perspectiva do ciclo das políticas públicas. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 833–861, 11 ago. 2020.

RICHTER, H. V. IRI; NETTO, A. G.; FILHO, L. DOS S. C. **Energia na agricultura papel da pesquisa agropecuária**. Em: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA NA AGRICULTURA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS. Brasília, DF: 19_. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98044/1/Energia-na-agricultura-pepel-da-pesquisa.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2022

RICO, J. A. P. **Biocombustíveis, alimentos e petróleo: uma análise retrospectiva da experiência brasileira**. Doutorado em Energia—São Paulo: Universidade de São Paulo, 18 jul. 2013.

RICO, J. A. P.; SAUER, I. L. A review of Brazilian biodiesel experiences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 513–529, maio 2015.

RITCHIE, H.; ROSER, M. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. **Our World in Data**, 11 maio 2020.

ROCHA, A. M. **Apropriação do conhecimento científico da cadeia produtiva do biodiesel: ênfase no PNPB, congressos, artigos e patentes**. Tese (doutorado)—Salvador, BA: Universidade Federal da Bahia (UFBA), 2013.

RODRIGUES, F. **O nó na rede**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/004/pesquisas>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

RODRIGUES, F. **Congresso da RBTB teve 615 trabalhos técnicos-científicos inscritos**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/eventos/congresso-da-rbtb-teve-615-trabalhos-tecnicos-cientificos-inscritos-270919>>. Acesso em: 7 ago. 2022.

ROTHENBERG, B.; SOLEWICZ, E.; SANTOS, M. S. 39-D.2.7 Extração de Insaponáveis do óleo de café. **Ciência e Cultura**, n. 7, p. 544, 1963.

SÁ FILHO, H. L. **Histórico**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20100220134527/http://www.biocombustiveis.com.br/index.php/page/7.html>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 21–38, abr. 2007.

SALERNO, M.; DAHER, T. **Política industrial, tecnológica e de comércio exterior do governo federal (PITCE)**. Seminário Internacional de Inovação na Pequena e Média Empresa. **Anais...**2006.

SAMORA, R.; MANO, A. **Indústria de biodiesel e soja do Brasil crê em reversão de mistura menor**. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/industria-de-biodiesel-e-soja-do-brasil-cre-em-reversao-de-mistura-menor/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SAMPAIO, R. M.; BONACELLI, M. B. M. Biodiesel in Brazil: Agricultural R&D at Petrobras Biocombustível. **Journal of technology management & innovation**, v. 13, n. 1, p. 66–74, maio 2018.

SÁNCHEZ, J. et al. Biomass Resources. Em: **The Role of Bioenergy in the Bioeconomy**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 25–111.

SANI, Y. M.; DAUD, W. M. A. W.; ABDUL, A. R. Biodiesel Feedstock and Production Technologies: Successes, Challenges and Prospects. Em: FANG, Z. (Ed.). **Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications**. [s.l.] InTech, 2012.

SANTOS, A. DA S.; VALLE, M. L. M.; GIANNIN, R. G. **A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA NO DESENVOLVIMENTO DE UM COMBUSTÍVEL BINÁRIO ÁLCOOL-DIESEL**. Disponível em: <<https://ecen.com/eee20/adailson.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

SANTOS, G. R. DOS. Pesquisa em biomassa energética no Brasil: apontamentos para políticas públicas. <http://www.ipea.gov.br>, jun. 2013.

SANTOS, G. R. DOS. POLÍTICAS DE APOIO À INOVAÇÃO EM ENERGIA NO BRASIL: DESAFIOS, AVANÇOS E MUDANÇAS RECENTES. Em: **Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações**. 1. ed. Brasília, DF: IPEA, 2017. p. 485.

SCHWARTZMAN, S.; CASTRO, M. H. M. Nacionalismo, iniciativa privada e o papel da pesquisa tecnológica no desenvolvimento industrial: os primórdios de um debate. **Revista de Ciências Sociais**, v. 28, n. 1, p. 89–111, 1985.

SCOTT, J. Social network analysis: developments, advances, and prospects. **Social Network Analysis and Mining**, v. 1, n. 1, p. 21–26, jan. 2011.

SCOTT, J.; CARRINGTON, P. J. (EDS.). **The SAGE handbook of social network analysis**. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE, 2011.

SEBRAE. **Biodiesel**. Sebrae, , abr. 2007.

SECTI/BA. **Probiodiesel Bahia**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20070103194810/http://www.rbb.ba.gov.br/index.php?menu=home>>. Acesso em: 1 jun. 2022.

SEFAZ-BA. **Programa Acelera Bahia de Desenvolvimento da Indústria é lançado na FIEB**. Disponível em: <<https://sefaz-ba.jusbrasil.com.br/noticias/174913/programa-acelera-bahia-de-desenvolvimento-da-industria-e-lancado-na-fieb>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SEI et al. **The Production Gap: The discrepancy between countries' planned fossil fuel production and global production levels consistent with limiting warming to 1.5°C or 2°C**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://productiongap.org/wp-content/uploads/2019/11/Production-Gap-Report-2019.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

SEPLAN/BA. **ARTICULAR A BASE CIENTÍFICA, COM A TECNOLÓGICA APLICADA AO DESENVOLVIMENTO - RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2007**. Governo da Bahia, , 2007. Disponível em: <https://www.seplan.ba.gov.br/wp-content/uploads/20100302_163627_14_Ciencia_Tecnologia.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2021

SERPA, E. Marmeleiro do Ceará passa de praga à fonte de energia. **Jornal do Brasil**, p. 35, 18 nov. 1979.

SHEEHAN, J. et al. **Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae; Close-Out Report**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.osti.gov/servlets/purl/15003040-tW7nZs/native/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SILVA JUNIOR, D. Impacts of biodiesel on the Brazilian fuel market. **Energy Economics**, v. 36, p. 666–675, 1 mar. 2013.

SILVA, M. E. S. **Os desafios para a inclusão da agricultura familiar vulnerável no mercado do biodiesel no Brasil**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/obema/os-desafios-para-a-inclusao-da-agricultura-familiar-vulneravel-no-mercado-do-biodiesel-no-brasil/>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

SILVA, M. K.; JUNIOR, R. Z. “DIZ-ME COM QUEM ANDAS, QUE TE DIREI QUEM ÉS”: UMA - BREVE - INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE REDES SOCIAIS. **Revista USP**, n. 92, p. 114–130, 28 fev. 2012.

SILVA, M. S. et al. BIODIESEL E POLÍTICAS PÚBLICAS: UMA ANÁLISE CRÍTICA DO PNPB E DAS POLÍTICAS DO SETOR AGROENERGÉTICO NO ESTADO DA BAHIA. **RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 16, n. 30, 14 maio 2015.

SILVA, M. S.; FERNANDES, F. M.; SANTOS, L. ANÁLISE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DO ESTADO DA BAHIA PARA O PROGRAMA DO BIODIESEL. **Revista Científica da Faculdade Metropolitana de Camaçari**, v. 5, p. 7–14, 2011.

SILVEIRA, C. E. F. DA. **Desenvolvimento tecnologico no Brasil : autonomia e dependencia num pais industrializado periferico.**

SMITH, D. C. The National Renewable Energy Laboratory: NREL: The first 25 years and the future. **Refocus**, v. 3, n. 5, p. 54–56, set. 2002.

SOUZA JÚNIOR, M. T. et al. **Biodiesel e bioquerosene: o papel da Embrapa Agroenergia.** - **Portal Embrapa.** Embrapa Agroenergia, , 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agroenergia/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1077835/biodiesel-e-bioquerosene-o-papel-da-embrapa-agroenergia>>. Acesso em: 21 jul. 2022

SOUZA, T. DE S. et al. **Cenários sobre contribuição do biodiesel para ampliar a participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira em 2030.** Brasília, DF: [s.n.].

STEIN, G. DE Q.; HERRLEIN JÚNIOR, R. Política industrial no Brasil : uma análise das estratégias propostas na experiência recente (2003-2014). <http://www.ipea.gov.br/ppp>, dez. 2016.

STELLA, R. **O biodiesel é nosso.** Disponível em: <<http://www.usp.br/jorusp/arquivo/2003/jusp669/pag0809.htm>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

STROGATZ, S. H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, n. 6825, p. 268–276, mar. 2001.

STUKART, B. R. L. **Novos projetos ferroviários e seus impactos sobre a demanda energética nacional.** Rio de Janeiro, 26 jul. 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/4_EPE_Bruno%20Stukart_Rio%20Oil%20%20Gas_Impacto%20Ferrovias_26set.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020

SUAREZ, P. **Biodiesel perde um dos seus grandes entusiastas.** Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/025/revista-25-coluna-paulo>>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SUAREZ, P. A. Z.; ABREU, F. R. O Biodiesel no Brasil. v. 4, n. 1, p. 49–52, nov. 2005.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068–2071, 2007.

SUGIMOTO, L. Programa de biodiesel traz equívocos a partir da fonte. **Jornal da Unicamp**, p. 8, 9 ago. 2004.

SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R. **Uma proposta de áreas relevantes para atividades de P&D a serem implementadas pelo CTENERG.** CGEE, , 2001. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=https%3A%2F%2Fwww.cgee.org.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DvLv3R2i5%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=805831&_101_type=document&inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.cgee.org.br%2Fbusca%3Fp_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_entryClassName%3D%26_3_groupId%3D0%26_3_documentsSearchContainerPrimaryKeys%3D20_PORTLET_812791%252C20_PORTLET_838879%252C20_PORTLET_805915%252C20_PORTLET_805861%252C20_PORTLET_805879%252C20_PORTLET_805825%252C20_PORTLET_805933%252C20_PORTLET_855596%252C20_PORTLET_831234%252C20_PORTLET_805789%252C20_PORTLET_805897%252C20_PORTLET_808111%252C20_PORTLET_808088%252C20_PORTLET_805951%252C20_PORTLET_812077%252C20_PORTLET_810541%252C20_PORTLET_810408%252C20_PORTLET_805807%252C20_PORTLET_808129%252C20_PORTLET_846521%26_3_keywords%3DProspec%25C3%25A7%25C3%25A3o%2Btecnol%25C3%25B3gica%2Bem%2Benergia%26_3_assetCategoryIds%3D%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch>

%26_3_format%3D%26_3_assetTagNames%3Denergia%26_3_formDate%3D1659271983409>.

Acesso em: 1 ago. 2022

TABASSUM, S. et al. Social network analysis: An overview. **WIREs Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 8, n. 5, set. 2018.

TANURE, T. M. DO P.; PORSSE, A. A.; DOMINGUES, E. P. **POLÍTICA INDUSTRIAL VERDE NO BRASIL: IMPACTOS ECONÔMICOS DE OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA - UMA ANÁLISE ATRAVÉS DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL (EGC)**. ARTIGOS SELECIONADOS. *Anais...* Em: XXIV ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. FLORIANÓPOLIS: ANPEC, 2021. Disponível em:

<https://www.anpec.org.br/sul/2021/submissao/files_I/i4-289ec31ebc98925c06a3b0978b3d7114.pdf>.

Acesso em: 1 out. 2021

TAPANES, N. et al. Biodiesel no Brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **Acta Sci Techn**, v. 1, 1 jun. 2013.

TEIXEIRA, M. **RQN 73/2001 - Requerem a criação de Comissão Especial Mista com a finalidade de estudar as causas da crise de abastecimento de energia no país, bem como propor alternativas ao seu equacionamento**. Disponível em: <<https://www.congressonacional.leg.br/materias/pesquisa/-/materia/47270>>. Acesso em: 6 maio. 2022.

TIBURCIO, B. A. Atores sociais, agricultura familiar e desenvolvimento territorial: uma análise do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. 5 ago. 2011.

TN PETRÓLEO. **PSA Peugeot Citroën avança em nova fase do projeto biodiesel Brasil com a Universidade de SP**. Disponível em: <<https://tnpetroleo.com.br/noticia/psa-peugeot-citroen-avanca-em-nova-fase-do-projeto-biodiesel-brasil-com-a-universidade-de-sp/>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

TOMESCU, M. **Innovative Bioenergy Systems in Action - The Mureck bio-Energy Cycle: Synergistic Effects and Socio-economic, Political and Sociocultural Aspects of Rural Bioenergy Systems**. Lund, Sweden: IIIIEE, Lund University, 2005.

TONI, J. DE. **Dez anos de Política Industrial: Balanço e perspectivas**. 1ª ed. Brasília, DF: ABDI, 2015. v. 1

TORRES, E. A. **Avaliação de um motor do ciclo diesel operando com óleo de dendê para suprimento energético em comunidades rurais**. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200049&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 abr. 2022.

TORRES, E. A. et al. Biodiesel: o combustível para o novo século. **Bahia Análise & Dados**, v. 16, n. 1, p. 89–95, jun. 2006.

TORRES, E. A. **Usina piloto de biodiesel da UFBA**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/usina-piloto-biodiesel-ufba-21-05-08>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

TORRES, K.; HUGO, V. Carro baiano usa dendê em lugar do óleo diesel e faz 20 quilômetros com 1 litro. **Jornal do Brasil**, p. 6, 7 jan. 1985.

TORROBA, A. Liquid biofuels atlas 2020-202. p. 35, 2021.

TRIBUNA DA IMPRENSA. Óleo vegetal pode substituir o diesel. **Tribuna da Imprensa**, p. 8, 9 abr. 1984.

TURNBULL, L. et al. Connectivity and complex systems: learning from a multi-disciplinary perspective. **Applied Network Science**, v. 3, n. 1, p. 11, dez. 2018.

TURSI, A. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. **Biofuel Research Journal**, v. 6, n. 2, p. 962–979, 1 jun. 2019.

UESC. **Biodiesel: Histórico do Grupo de Bioenergia e Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.uesc.br/laboratorios/index.php?item=conteudo_biodiesel.php>. Acesso em: 19 maio. 2022.

UFBA. **Travessia Interoceânica atesta viabilidade do biodiesel produzido na UFBA**. Disponível em: <https://www.ufba.br/ufba_em_pauta/travessia-interoce%C3%A2nica-atesta-viabilidade-do-biodiesel-produzido-na-ufba>. Acesso em: 15 maio. 2022.

UFBA. **Apresentação | CIENAM**. Disponível em: <<http://www.cienam.ufba.br/apresentacao>>. Acesso em: 2 jun. 2022.

UFBA. **Projeto Biodiesel da Universidade Federal da Bahia**. Disponível em: <www.deq.ufba.br/docs/pdf/folder_planta_piloto.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021a.

UFBA. **I TRAVESSIA INTEROCEÂNICA B100 (BIO10-INULAT)**. Disponível em: <<http://www.inulat.ufba.br/bio10.html>>. Acesso em: 6 jun. 2022b.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels**. Washington, D.C.: National Academies Press, 1999. p. 9714

US EPA, O. **Renewable Fuel Standard Program**. Overviews and Factsheets. Disponível em: <<https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 1 ago. 2010.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks. Em: DING, Y.; ROUSSEAU, R.; WOLFRAM, D. (Eds.). **Measuring Scholarly Impact**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 285–320.

VAN GERPEN, J. et al. **Biodiesel Production Technology: August 2002--January 2004**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.osti.gov/servlets/purl/15008801/>>. Acesso em: 23 jul. 2021.

VAREJÃO, S. Em 86 óleo vegetal substitui o diesel. **Jornal do Commercio**, p. 9, 6 jan. 1985.

VIANNA, J. Dirário do Congresso Nacional Seção I. **Dirário do Congresso Nacional**, p. 80, 23 set. 1980.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATE-MIZUNO, M. Mathematical recreations of Dénes König and his work on graph theory. **Historia Mathematica**, Explorations on the History of Recreational Mathematics. v. 41, n. 4, p. 377–399, 1 nov. 2014.

WESTHUIZEN, I. H. VAN DER. **Stabilising sunflower biodiesel with synthetic antioxidants**. Petrolia: University of Pretoria, 2017.

WESTIN, R. Corte de verbas da ciência prejudica reação à pandemia e desenvolvimento do país. **Agência Senado**, 2020.

WÖRGETTER, M. Review on Biodiesel Standardization World-wide. p. 81, [s.d.].

WOS. **Web of Science Research Areas**. Disponível em:

<<https://incites.help.clarivate.com/Content/Research-Areas/wos-research-areas.htm>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 1 jul. 2015.

APÊNDICE A – Artigo 1: 10.7198/geintec.v11i1.1501



Estudos Métricos da Informação em Pesquisas com Gordura Animal para Produção de Biodiesel no Brasil entre 2008 e 2019 no Âmbito da Web of Science

Sample Paper to be Used as Model to Format the Articles to be Submitted to the Innovation, Technology and Management Journal

Fábio Matos Fernandes¹; Luís Oscar Silva Martins²; Rogério Santos Marques³; Felipe Barroco Fontes Cunha⁴; Marcelo Santana Silva⁵; Francisco Gaudêncio Mendonça Freires⁶

¹fabfernandes@uneb.br

³rmarques.vc@gmail.com

⁶gaudenciof@yahoo.com

^{1,3,6}Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – PEI

^{1,3,6}Universidade Federal da Bahia – UFBA – Escola Politécnica

^{1,3,6}Rua Professor Aristides Novis, nº 2, Federação

CEP: 40210-630 - Salvador/BA, Brasil

²luisoscar2007@hotmail.com

⁴fbarroco@bmeg.com.br

^{2,4}Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente - PGenAm

^{2,4}Universidade Federal da Bahia – UFBA – Escola Politécnica

^{2,4}Rua Professor Aristides Novis, nº 2, Federação

CEP: 40210-630 - Salvador/BA, Brasil

⁵profmarceloifba@gmail.com

⁵Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT

⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA

⁵Av. Araújo Pinho, nº 39, Canela

CEP: 40110-150 - Salvador/BA, Brasil

Resumo

O objetivo deste artigo foi analisar a literatura publicada sobre gordura animal como insumo para a produção de biodiesel por autores afiliados a organizações brasileiras de 2008 a 2019 por meio dos estudos métricos da informação. Para tanto, uma pesquisa exploratória-descritiva foi conduzida. Os dados revelaram uma taxa de crescimento médio da literatura na ordem de 21,15% no período analisado, com destaque para as indexadas nas áreas de Química e Engenharia. O nível de coautoria mais comum foi formado por grupos de seis autores e o coeficiente de colaboração médio mostrou-se elevado, indiferente da quantidade de documentos. A cooperação entre instituições nacionais mostrou-se forte, supostamente, graças a criação da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação em Biodiesel. Também foram identificadas as instituições mais produtivas. Observou-se que as pesquisas estão centradas no sebo bovino, mas pesquisas com gordura de frango e porco começaram a ganhar destaque.

Palavras-chave: resíduo animal; colaboração acadêmica; bibliometria; cientometria.

Abstract

The aim of this paper was to analyze the literature published about animal fat as input for biodiesel production by authors affiliated to Brazilian organizations from 2008 to 2019 through metric studies of information. For this, an exploratory-descriptive research was conducted. The data revealed an average growth rate of 21.15% in literature in the analyzed period, especially those indexed in the areas of Chemistry and Engineering. The most common co-authorship level was formed by groups of six authors and the average collaboration coefficient was high, regardless of the number of documents. The cooperation between national institutions showed strong, thanks, supposedly, to the creation of the Brazilian Biodiesel Technology and Innovation Network. The most productive institutions were also identified. It was observed that the researches are centered on bovine fat, however, researches with chicken and pork fat began to gain prominence.

Keywords: animal waste; academic collaboration; bibliometry; scientometry.

1. Introdução

Impulsionado pelo investimento constante em pesquisa agropecuária nas últimas cinco décadas, o Brasil se tornou um dos maiores produtores e exportadores de proteína animal do mundo (MORETTI, 2020). Como milhões de animais são abatidos todos os anos, uma enorme quantidade de subprodutos não comestíveis é gerada. Esses subprodutos são reaproveitados por empresas do setor de reciclagem animal, que os transformam em diferentes tipos insumos utilizados nas indústrias de nutrição animal, higiene e limpeza, cosméticos, química, energia e outras (ABRA, 2019).

Dentre os produtos obtidos da reciclagem de resíduos de origem animal estão as gorduras, materiais graxos extraídos do cozimento das vísceras e ossos através do processo de digestão (BONDIOLI et al., 2019). Com 1,9 milhão de toneladas de gordura animal produzidas no país em 2018 (ABRA, 2019), esse insumo, nomeadamente o sebo bovino, se consolidou como a segunda matéria-prima mais utilizada na produção de biodiesel (BRASIL, 2020).

Esse trabalho teve como objetivo analisar a literatura publicada sobre gordura animal como insumo para a produção de biodiesel por autores afiliados às organizações brasileiras, desde a obrigatoriedade da adição do percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, a partir de 2008, por meio dos estudos métricos da informação.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa exploratória-descritiva (GIL, 2019) com o uso de indicadores cientométricos (LEITE et al., 2019; AGUIA, 2020;) aplicados às pesquisas com gordura animal

para o biodiesel, desenvolvidas por pesquisadores afiliados às organizações brasileiras. Para tanto, foram adotados protocolos de busca, seleção e análise.

A busca foi realizada na base de dados *Web of Science (WoS)* da *Clarivate Analytics*, por esta reunir um conjunto completo sobre publicações acadêmicas em todas as ciências, além de possuir o *Journal Citation Reports (JCR)*, o relatório mais antigo e prestigiado de métricas e análises dos periódicos do mundo por área do conhecimento (TORRES-SALINAS; JIMÉNEZ-CONTRERAS, 2010).

Uma pesquisa combinando rótulos dos campos país/região e tópico¹ e restrita a artigos (*article*) e artigos de revisão (*Review*) foi realizada na Coleção Principal da *WoS* em 04/02/2020 e atualizada em 22/06/2020.

Os termos de busca foram obtidos através de uma pesquisa bibliográfica inicial em Leoci (2014). A pesquisa foi do tipo avançada por permitir o uso de operadores booleanos, formar e combinar resultados de pesquisa e sem tempo estipulado. A seguinte expressão de busca foi utilizada:

(CU= Brazil AND TS=(("animal fat\$" OR "animal oil\$" OR "animal grease\$" OR "waste animal fat\$" OR tallow OR suet OR Lard OR "White grease" OR "poultry fat" OR "chicken fat" OR "fowl fat" OR "broiler fat" OR "beef fat" OR "bovine fat" OR "Cattle fat" OR "pig fat" OR "pork fat" OR "hog fat" OR "swine fat") AND (biodiesel)))*
Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

No total, foram recuperados 188 documentos e após analisar a ocorrência dos termos nos títulos, palavras-chave e verificar se os objetivos definidos pelos autores atendiam ao objetivo deste estudo, 85 documentos foram selecionados.

Um arquivo de extensão .CSV foi extraído da Coleção Principal da *WoS* com as informações bibliográficas necessárias para as análises. A princípio, esse arquivo foi exportado para uma planilha do Microsoft Excel, desenvolvida especificamente para análises de estudos bibliométricos por Gimenez et al. (2019), para retirada de informações iniciais. Em seguida, os dados foram processados nos seguintes softwares livres: CitNetExplorer², VOSviewer³ e Orange Data Mining⁴.

O corpus da pesquisa foi então analisado sob o prisma das três leis clássicas da bibliometria e outros indicadores cientométricos (Quadro 1).

¹ Pesquisa dos termos nos títulos, resumos, palavras-chave de autor e Keywords Plus®

² <https://www.citnetexplorer.nl>

³ <http://www.vosviewer.com>

⁴ <https://orange.biolab.si>

Quadro 1 – Equações

Descrição	Equações
Lei de Bradford Analisa a distribuição de artigos pelas revistas, possibilitando a análise da produtividade dos periódicos.	Eq. (1) O núcleo de periódicos (n) variará na proporção $I:n:n^2$ Onde: n = número x de periódicos
Lei de Lotka Analisa a produtividade dos dos autores identificados no <i>corpus</i> da pesquisa.	Eq. (2) $a_n = a_1.n^{-c}$ Onde: a_n = Número de autores que publicaram n documentos a_1 = número de autores que publicaram 1 artigo n = número de artigos
Lei de Zipf Analisa a frequência de um conjunto de palavras e sua ordem, permitindo descobrir associações temáticas entre elas. Neste artigo, as palavras-chaves dos autores.	Eq. (3) $r \times f = k$ Onde: r = ordem ou posição das palavras f = frequência das palavras k = constante
Coefficiente de Colaboração Calcula se há crescimento do número de autores por documento e de trabalhos com múltipla autoria.	Eq. (4) $cc = 1 - \left(\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{j}\right)^{F_j/N} \right)$ Onde: F_j , documentos com j autores durante um periodo de tempo N, total de documentos no periodo de tempo
Ponto Transição de Goffman Utilizado junto com a Primeira Lei de Zipf, ele determina o ponto de transição de palavras de baixa para alta frequência, identificando aquelas de maior conteúdo semântico.	Eq. (5) $n = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8I_1}}{2}$ Onde: I_1 , palavras que ocorreram uma vez 8, constante derivada da língua inglesa 2, constante derivada da fórmula de <i>Bhaskara</i>

Fonte: Adaptado de (GUEDES; BORSCHIVER, 2005; MAIA; CAREGNATO, 2008; MELLO et al., 2015)

Também foi utilizada a Lei do Elitismo de Price para identificar as instituições e os autores mais produtivos (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

3. Análise e Discussão

Antes das análises, é importante ressaltar que a *WoS* leva em consideração a afiliação do autor, independente da sua posição na lista de autores, o que pode gerar sobreposição no número de publicações atribuídas para cada instituição, país ou autor mais ativo.

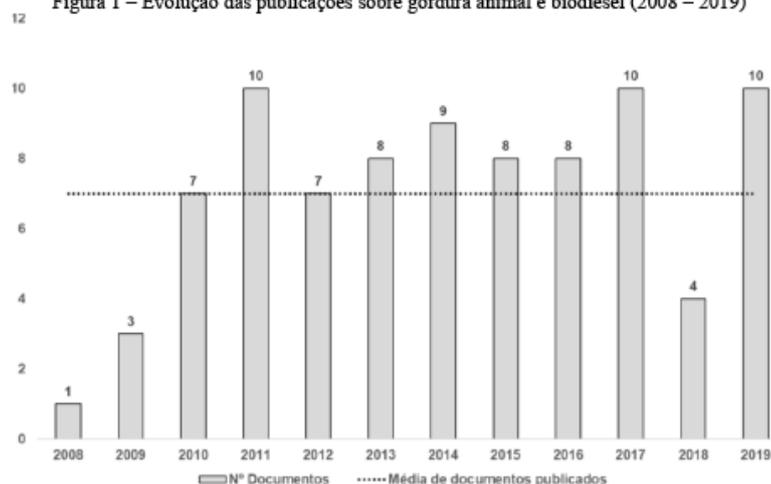
3.1 Produção científica

Dos 85 documentos recuperados, cuja a distribuição anual pode ser observada na Figura 1, 82 foram classificados como artigos, 2 como artigos de conferência e 1 como artigo de revisão. O

inglês foi o idioma mais utilizado na redação dos documentos (n=72; 84,71%), seguido pelo português (n=13; 15,29%).

Comunicar em um idioma amplamente utilizado nas diferentes áreas da ciência mostra o interesse dos pesquisadores para que as pesquisas desenvolvidas tenham o maior alcance possível, além de aumentar a probabilidade de citação (DI BITETTI; FERRERAS, 2017).

Figura 1 – Evolução das publicações sobre gordura animal e biodiesel (2008 – 2019)



É possível observar que pesquisadores brasileiros vêm produzindo ininterruptamente sobre o tema desde 2008, sendo que o primeiro documento publicado avaliou as propriedades de biodiesel de sebo bovino e realizou testes de desempenho desse biocombustível em motor diesel (ARANDA MORAES et al., 2008). O interesse pelo tema ganhou expressividade a partir de 2010, contudo, ao realizar um teste de regressão entre o número de documentos publicados e o período analisado com grau de confiança de 95%, foi constatado uma ausência de relacionamento linear entre essas variáveis (valor-P= 0,078) e uma força de relacionamento fraca ($R^2= 0,279$).

Isso pode significar que o aumento ocorrido no número de publicações ao longo do tempo não está diretamente ligado ao aumento dos percentuais de mistura do biodiesel ao diesel (Figura 1), mas é inegável que dois fatores influenciaram positivamente o crescimento das pesquisas: a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira através do PNPB e a criação da RBTB.

Vale salientar que a RBTB incentivou, através de editais de financiamento, pesquisas que possibilitaram o domínio tecnológico, escala de produção e logística de diferentes fontes de matérias-primas em especial a soja e o sebo bovino (ROCHA et al., 2013, 2015; MENEZES, 2016).

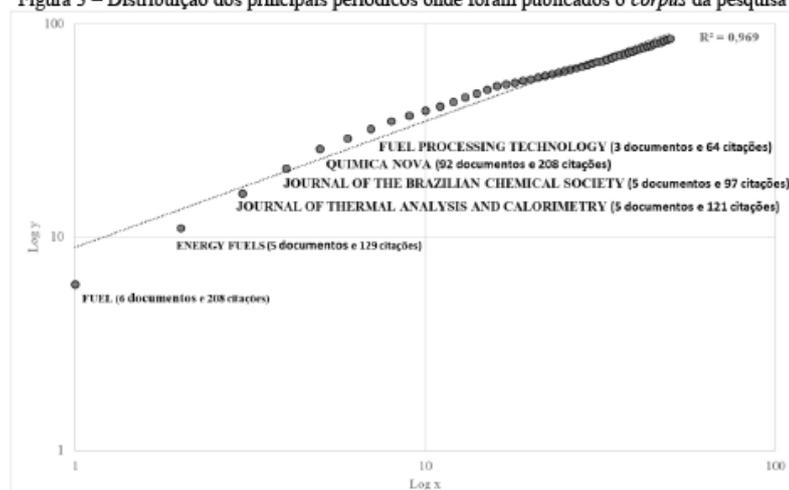
Por fim, uma análise de previsão feita pelo modelo de suavização exponencial tripla projetou a publicação de 9 documentos para o ano de 2020. Esta previsão pode não se confirmar devido à

3.3 Sistema de divulgação do conhecimento

Os 85 registros foram publicados em 50 periódicos ($\bar{x} \cong 2$ documentos/periódico), o que evidencia uma dispersão na comunicação dos resultados das pesquisas produzidas. No total, 28 artigos (33%) foram publicados em 15 periódicos de acesso livre, acompanhando uma preferência nacional que faz com que o Brasil seja líder mundial nesta modalidade de publicação (SCIENCE-METRIX, 2018).

Com a aplicação da Lei de Bradford (Eq. 2), a Figura 3 apresenta o núcleo dos principais periódicos, concentrando 41,18% das publicações e 57,85% das 1.229 citações recebidas pelo conjunto de periódicos.

Figura 3 – Distribuição dos principais periódicos onde foram publicados o *corpus* da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados coletados na Coleção Principal da *WoS*

Cinco dos seis periódicos estão indexados na área de química e cobrem pesquisas sobre a conversão química de matérias-primas em uma variedade de produtos, entre os quais, o desenvolvimento de combustíveis. Em seguida, com três periódicos, aparece a categoria energia e combustível, que abrange pesquisas relacionadas ao desenvolvimento, produção, aplicação, uso, conversão e gerenciamento de combustíveis, respaldando a forte relação entre estas duas categorias vista na Figura 2.

Os jornais melhores ranqueados nas suas respectivas categorias no *JCR* foram: *Fuel*, que ocupa a 24ª posição na categoria de Energia e Combustíveis e 18ª posição em Engenharia Química e; *Biomass & Bioenergy*, que ocupa a 3ª posição na categoria de Engenharia Agrícola. Esses dois periódicos estão situados no 1º quadrante das respectivas categorias.

Por fim, destacam-se dois periódicos brasileiros de acesso aberto: *Journal of the Brazilian Chemical Society* e *Química Nova*. O primeiro ocupa a 126ª posição na categoria de Química

Multidisciplinar e o segundo, a 153ª posição dessa mesma categoria, ficando nos 3º e 4º quadrantes respectivamente.

3.4 Impacto das pesquisas

As 85 publicações receberam 1.229 citações até 22 de junho de 2020 ($\bar{x} \cong 14,46$ citações/documentos), sendo que 91,76% dos documentos receberam ao menos uma citação. Os documentos que não receberam nenhuma citação (8,24%) foram publicados no último quadriênio e representaram à frente de pesquisa ativa sobre o tema.

A taxa de crescimento das citações foi de 654%, indicando o interesse dos pesquisadores pelo tema e, ao estratificar os documentos que receberam citações, constatou-se que 8,24% dos documentos receberam uma citação, 43,53% receberam entre 2 e 10 citações e 40% receberam mais de 10 citações. Os dez trabalhos mais citados responderam por 45,89% do total de citações e estão listados no Quadro 2.

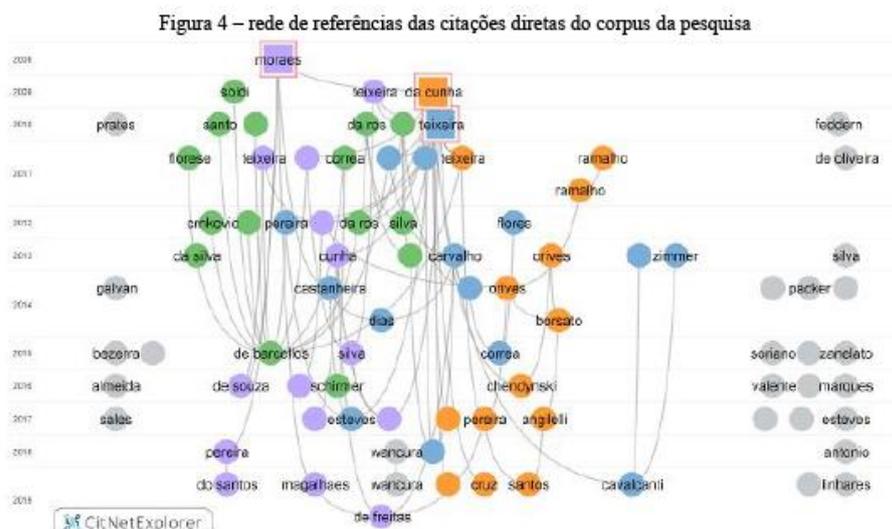
Quadro 2 – Os dez principais documentos sobre gordura animal e biodiesel no Brasil (2008-2019)

Nº	Título	Citações	Área
1	da Cunha et al. (2009). <i>Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale</i>	110	Química; Energia e Combustível; Eng. Química
2	Teixeira et al. (2009). <i>Comparison between conventional and ultrasonic preparation of beef tallow biodiesel*</i>	79	Química; Energia e Combustível; Eng. Química
3	Soldi et al. (2009). <i>Soybean oil and beef tallow alcoholysis by acid heterogeneous catalysis</i>	64	Química; Ciências Ambientais
4	da Ros et al. (2010). <i>Evaluation of the catalytic properties of Burkholderia cepacia lipase immobilized on non-commercial matrices to be used in biodiesel synthesis from different feedstocks*</i>	56	Agricultura; Biotecnologia e Microbiologia Aplicada; Energia e Combustíveis
5	Moraes et al. (2008). <i>Tallow biodiesel: Properties evaluation and consumption tests in a diesel engine*</i>	50	Energia e Combustível; Eng. Química
6	Teixeira et al. (2010). <i>Characterization of beef tallow biodiesel and their mixtures with soybean biodiesel and mineral diesel fuel</i>	45	Agricultura; Biotecnologia e Microbiologia Aplicada; Energia e Combustíveis
7	Cunha et al. (2013). <i>Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes</i>	42	Energia e Combustível; Eng. Química
8	Castanheira et al. (2014). <i>Environmental sustainability of biodiesel in Brazil</i>	41	Economia; Energia e Combustíveis; Estudos Ambientais
9	Santos et al. (2010). <i>Agro-industrial residues as low-price feedstock for diesel-like fuel production by thermal cracking</i>	41	Agricultura; Biotecnologia e Microbiologia Aplicada; Energia e Combustíveis
10	Ghisi et al. (2011). <i>Simple method for the determination of Cu and Fe by electrothermal atomic absorption spectrometry in biodiesel treated with tetramethylammonium hydroxide</i>	36	Química

Fonte: Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados coletados na Coleção Principal da WoS

* Trabalhos citados também em patentes

Oito dos dez principais documentos foram publicados no primeiro quadriênio (2008- 2012), o que leva a crer que eles compõem a base intelectual do tema. Com a utilização do software *CitNetExplorer*, foi possível construir a rede de referências das citações diretas do corpus desta pesquisa (Figura 4), onde as citações seguem uma sequência cronológica, identificando os principais trabalhos, bem como seu efeito ao longo do tempo no corpus.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados coletados na Coleção Principal da WoS

No geral, 109 ligações (*links*) foram estabelecidas por quatro conglomerados (*clusters*), sendo os documentos mais citados e ranqueados no Quadro 2: nº 1 citado por 18 documentos, o nº 2 por 11 documentos e o nº 3 por 9 documentos. Esses trabalhos foram publicados no primeiro quadriênio e estão em destaque na Figura 4.

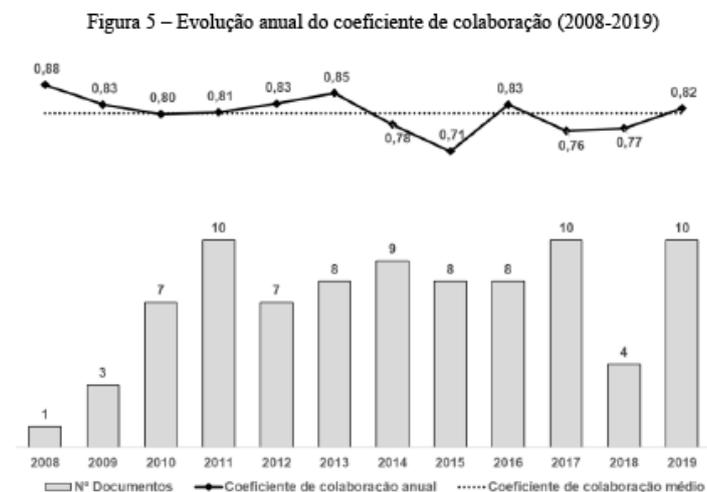
É importante ressaltar que os trabalhos nº 2, 4 e 5 foram os únicos citados em patentes, conforme prospecção de dados altimétricos através da base *Dimensions*⁵, indicando uma interação entre o conhecimento científico e tecnológico na construção do arcabouço teórico na escrita dessas patentes.

3.5 Impacto das pesquisas

Todos os 85 documentos foram escritos por mais de um autor, algo comum nas pesquisas científicas, atualmente, em especial nas áreas de ciências da vida e engenharias. O nível de coautoria mais comum foi formado por grupos de 6 autores, totalizando 23 documentos. Com base na formação dos grupos de autores, foi possível calcular o coeficiente de colaboração médio (Eq. 4),

⁵ <https://www.dimensions.ai/>

que ficou em 0,83, índice considerado elevado, independentemente da quantidade de documentos produzidos (Figura 5).



Após a aplicação do processo de deduplicação, 397 autores foram identificados, alcançando uma média de 4,67 autores/documento. A produtividade desses autores foi analisada com a aplicação da Lei de Lotka (Eq. 2). Verificou-se que o número de autores que coautoraram somente um documento foi de 86,90%, ficando muito acima dos 60% estimados por Lotka. Possivelmente, alunos de pós-graduação que publicaram os resultados de suas pesquisas.

Outros 10,08% coautoraram entre dois e três documentos, 2,77% entre 4 e 5 documentos e somente 0,25% mais de cinco documentos. De posse dessa distribuição, foi possível observar que 20% dos autores (n=79) foram responsáveis por 34,84% da produção, que, em termos de impacto, correspondeu a 67,86% das citações.

Com a aplicação da Lei do Elitismo de Price, um grupo formado por 22 autores, que respondeu por 17% da produção foi identificado. Esse percentual ficou distante dos 50% estimados por Price para a contribuição do grupo de elite. Contudo, o percentual de citações recebidos por esse grupo foi muito expressivo, 35% de todas as citações.

No âmbito organizacional, foram identificadas 83 instituições envolvidas com a temática gordura animal e biodiesel, que publicaram pelo menos um trabalho com o tema. As principais organizações interessadas na temática debatida neste artigo foram: a Unicamp com 10 trabalhos coautorados, seguida pela UFRGS (8), USP (8), UFPB (6), UFSC (6), UFBA (5) e UFRJ (5).

média de crescimento anual de 21,15%, estimulada pelo ambiente favorável para a realização de pesquisas, devido à introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e a criação da RBTB.

Os estudos concentraram nas áreas de química e engenharia, com alguns trabalhos citados em patentes, mostrando a interação entre conhecimento científico e tecnológico na construção do arcabouço teórico na escrita dessas patentes.

A cooperação científica entre as organizações de ensino e pesquisa mostrou-se pequena em âmbito internacional e elevada nacionalmente. Ao todo, 83 instituições foram identificadas e o índice de cooperação entre os autores foi de 0,83. Um grupo formado por 22 autores foi identificado como sendo mais produtivo, respondendo por 17% da produção.

Ademais, o valor das pesquisas foi demonstrado através da realização de análises de citações e o tema não se esgota aqui, pois um estudo das relações de coautoria entre autores, organizações e países através da análise de redes sociais e complexas está sendo conduzido de maneira a complementar e enriquecer a pesquisa sobre este tema.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo Projeto de Pesquisa no Edital Universal 01/2016 (Processo n. 428065/2016-3) e FAPESB – Edital Jovem Cientista

Referências

AGÊNCIA USP DE GESTÃO DE INFORMAÇÃO ACADÊMICA (AGUIA). **Indicadores e Métricas**. 2020. Disponível em: <https://www.aguia.usp.br/apoio-pesquisador/indicadores-pesquisa/lista-indicadores-bibliometricos/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

ARANDA MORAES, Maria Silvana; KRAUSE, Laiza Canielas; DA CUNHA, Michele Espinosa; FACCINI, Candice Shimitt; DE MENEZES, Eliana Weber; VESES, Renato Cataluña; ALVES RODRIGUES, Maria Regina; CARAMÃO, Elina Bastos. Tallow biodiesel: Properties evaluation and consumption tests in a diesel engine. **Energy and Fuels**, v. 22, n. 3, p. 1949–1954, 2008. DOI: 10.1021/ef7006535.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM ANIMAL (ABRA). **Anuário ABRA 2018**, v.3, 2019. Disponível em < <https://abra.ind.br/anuario2018/>>. Acesso em 14 mai. 2020.

BONDIOLI, P.; CARELLI, G. P.; GROSSO, M. Animal fats for non-food uses. A review of technology and critical points. **Rivista Italiana delle Sostanze Grasse**, v. 96, n. 1, p. 5–15, 2019.

BRASIL. **Informações de mercado - ANP**. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>. Acesso em: 4 jun. 2020.

DI BITETTI, M. S.; FERRERAS, J. A.. Publish (in English) or perish: The effect on citation rate of using languages other than English in scientific publications. **Ambio**, v. 46, n. 1, p. 121–127, 2017.

DOI: 10.1007/s13280-016-0820-7.

GIL, A. C.. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo.

GIMENEZ, M. F. L.; PEREZ, G.; DE MEDEIROS JUNIOR, A.; POPADIUK, S.. Development of a Tool for Systematizing the Bibliometric Study Process. **Proceedings of the 16th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management**, v. 1, p. 1–19, 2019. DOI: 10.5748/16contecsi/lis-6196.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S.. Bibliometria : Uma Ferramenta Estatística para a Gestão da Informação e do Conhecimento, em *Sistemas de Informação , de Comunicação*. In: CINFORM - ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO 2005, **Anais**, p. 1–18. Disponível em: <http://dici.ibict.br/archive/00000508/01/VaniaLSGuedes.pdf>.

LEITE, R. A. S.; SILVA, M. B.; ARAGÃO, I. M.; CAMARGO, M. E. Bibliometria Como Trilha De Conhecimento E Pesquisa. **V Enpi**, v. 5, p. 1094–1105, 2019. Disponível em: <http://www.api.org.br/conferences/index.php/ENPI2019/ENPI2019/paper/viewFile/847/431>.

LEOCI, R.. **Animal by-products (ABPs): origins , uses , and European regulations**. 1. ed. Mantova (MN), Italy: Universitas Studiorum, 2014.

LEYDESDORFF, L.; CARLEY, S.; RAFOLS, I.. Global Maps of Science based on the new Web-of-Science Categories Scientometrics. **Scientometrics**, 94, 589–593, 2013. DOI: 10.1007/s11192-012-0784-8.

MAIA, M. F. S.; CAREGNATO, S. E.. Co-autoria como indicador de redes de colaboração científica. **Perspect. ciênc. inf.**, v. 13, n. 2, p. 18–31, 2008. DOI: 10.1590/S1413-99362008000200003.

MELLO, I.; BARBOSA, K. M. F.; DANTAS, J. A.; BOTELHO, D. R.. 25 Anos de Publicação em Auditoria: Análise Bibliométrica com Ênfase na Lei de Lotka, Lei de Zipf e Ponto de Transição (T) de Goffman. **Congresso de Contabilidade - Universidade Federal de Santa Cata**, p. 1–18, 2015. DOI: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

MENEZES, R. S.. **Biodiesel no Brasil: impulso tecnológico**. Volume 1, Lavras: UFLA, 2016. 244 p.

MORETTI, C.. Investir em pesquisa agropecuária traz retorno para a sociedade brasileira. **Revista de Política Agrícola**, n. 1 - Jan./Fev./Mar. 2020: Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1584>. Acesso em: 21 Jun. 2020..

ROCHA, A. M.; QUINTELLA, C. M.; TORRES, E. A.; SILVA, M. S.. Biodiesel in Brazil: science, technology and innovation indicators. **International Journal of Technology Management**, v. 69, n. 3/4, p. 246, 2015. DOI: 10.1504/IJTM.2015.072984.

ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; QUINTELA, C. M. A. L. T. M. H.; TORRES, E. A. Indicadores Científicos e Tecnológicos em Biodiesel na Bahia: Panorama sobre Grupos de Pesquisa do CNPQ e Pesquisadores da RBTB. **Revista Economia & Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 39–54, 2013. DOI: 10.5380/ret.v9i3.33223.

SCIENCE-METRIX. **Analytical Support for Bibliometrics Indicators**. Disponível em: <https://www.science-metrix.com/>. Acesso em: 10 Mai. 2020.

TORRES-SALINAS, D.; JIMÉNEZ-CONTRERAS, E.. Introducción y estudio comparativo de los nuevos indicadores de citación sobre revistas científicas en Journal Citation Reports y Scopus. **El Profesional de la Informacion**, v. 19, n. 2, p. 201–208, 2010. DOI: 10.3145/epi.2010.mar.12.

Recebido em: 24/09/2020

Aprovado em: 08/12/2020

APÊNDICE B – Artigo 2: 10.4067/S0718-27242022000400028

J. Technol. Manag. Innov. 2022. Volume 17, Issue 4

Second-generation biodiesel in Brazil: an analysis of research on animal fats through social and complex networks

Fábio Matos Fernandes¹, Luís Oscar Silva Martins^{2*}, Rogério Santos Marques³, Marcelo Santana Silva⁴, Francisco Gaudêncio Mendonça Freires⁵

Abstract

The production of second-generation biodiesel is seen as more sustainable than first-generation biodiesel as it is produced from residues such as animal fats, a by-product of the meat industry. In Brazil, the biodiesel sector has become the main market for animal fats, absorbing around 712 thousand tons in 2018, equivalent to 38% of the fat produced. In order to reach this level, research and development were carried out supported by the Brazilian government through the Brazilian Biodiesel Technology and Innovation Network. The objective of this study is to map the scientific networks formed by Brazilian organizations that have collaborated to solve research problems regarding animal fats for biodiesel production through Social Networks Analysis and The Theory of Complex Networks. An exploratory-descriptive study was conducted in the main collection of Web of Science (WoS). It was observed that research started in 2008 and involved more than 80 institutions. The institutional network formed was of a small-world type, composed of 20 clusters. The research was indexed in 19 knowledge areas, with an emphasis on Chemistry, Energy and Fuels, and Engineering and 70% of them received some type of funding to conduct the research.

Keywords: Biodiesel; RenovaBio; Animal Fat; Complex Networks; Social Network Analysis.

Submitted: January 27th, 2022 / Approved: December 7th, 2022

1. Introduction

Brazil agreed to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 37% by 2025 and by 43% by 2030, with the year 2005 as a reference, as a signatory to the Paris agreement independently (Brasil, 2015).

Among the commitments made in the energy area that directly affect the transport sub-sector, the Brazilian government plans to increase the participation of biofuels in the energy matrix to approximately 18% by 2030 (de Souza et al., 2017).

The Brazilian government launched the RenovaBio Program, a state policy, whose objectives are to boost biofuel production, encourage private investments, and provide advances in the production of second and third-generation biofuels (Brasil, 2017b). All of this is based on environmental, economic, and social sustainability, and predictability of the national biofuels market (Denny, 2020).

RenovaBio is also expected to achieve an 18% share of biofuels in the Brazilian energy matrix by 2030, contributing to the decarbonization of the transportation matrix (Brasil, 2017b; Denny, 2020).

Biodiesel has a crucial role to play here to help in the mitigation of emissions from the transport sector, especially in road transport of freight. This is a segment which is highly dependent on diesel oil and accounts for 80% of diesel oil demand. It is also responsible for 49% of emissions from the transport sector (EPL, 2018).

Other important contributions of biodiesel use include (i) air quality improvement in the large urban centers of the country, reducing respiratory diseases due to the inhalation of particulate materials, hydrocarbons and carbon monoxide released by diesel engines; (ii) social and economic benefits related to job and income generation throughout biofuel production chain, and; (iii) reduction in the consumption of imported diesel (FGV & Ubrabio, 2010; Rico & Sauer, 2015), which reached 22% of 57,179 10³ m³ consumed in Brazil in 2019, resulting in a trade deficit of approximately US\$ 13 million (EPE, 2020).

However, technological and market challenges will have to be faced to guarantee an increase in the percentage of biodiesel in diesel blends in the coming years. Investment in research, development, innovation (RD&I), and technology transfer will be necessary if biodiesel production is to go from 5.9 billion liters in 2019 to around 18 billion liters by 2030 (de Souza et al., 2017).

Some of these challenges have been listed by the Brazilian Union of Biodiesel and Bioquerosene (Ubrabio) and include: (i) diversification of sources of raw materials; (ii) optimization of biodiesel production technologies to take advantage of low-quality and lower-cost fatty materials; (iii) improvement in transport and storage of biodiesel; (iv) simplification of quality control processes, and; (v) adding value to co-products generated in biodiesel production (Embrapa, 2020).

In order to overcome these challenges and guarantee percentage increases in the mixture of biodiesel with diesel oil in a sustainable man-

(1) Management department, Bahia State University, Salvador, Brazil

(2) Federal University of Reconcavo of Bahia, Feira de Santana, Brazil

(3) Management department, Bahia State University, Guanambi, Brazil

(4) Management department, Federal Institute of Bahia, Santo Amaro, Brazil

(5) Polytechnic School, Federal University of Bahia, Salvador, Brazil

*Corresponding author: luisoscar@ufrb.edu.br

ner, the Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTIC), through the Science, Technology and Innovation Plan for Renewable Energies and Biofuels, has encouraged the institutional articulation of different agents involved in biodiesel production chain, and has reinforced the importance of the Brazilian Biodiesel Technology and Innovation Network (RBTB) (MCTIC, 2018).

Created in 2004, RBTB involves an extensive RD&I infrastructure with 37 laboratories. It brings together hundreds of Brazilian researchers affiliated with universities, science and technology institutions and private companies (Rodrigues, 2011).

RBTB has become one of the rare examples of successful structuring of a scientific-technological base to support a government program (Rocha, Quintella, Torres, & Silva, 2015; Rocha, Silva, Quintela, & Torres, 2013). An additional 180 million reais have been invested in specific projects for biodiesel production chain, enabling technological mastery, production scale, and logistics of different sources of raw materials (MCTIC, 2016), such as soy and beef tallow.

In the case of beef tallow and other animal fats, the biodiesel sector has become the main consumer market, absorbing about 712 thousand tons of animal fat (37.47%) out of the 1.9 million tons produced in the country in 2018 (ABRA, 2020).

Animal fat as an input represented 27% of Brazilian biodiesel production in 2019 (ANP, 2020) and demand for this input is increasing since biodiesel produced from these fats is considered second-generation, which leads to RenovaBio's environmental certification system (Batista, 2020).

Therefore, understanding and analyzing the research networks working on animal fat for biodiesel production is crucial. This research can lead to the diversification of raw materials for this biofuel production, demonstrate advantages of this input over vegetable oils¹, and help to reduce environmental impacts, and avoid improper disposal of unprocessed and incorrectly discarded waste.

The objective of this work is to map the networks formed by Brazilian organizations within the scope of the Web of Science, which have collaborated to solve research problems concerning animal fat and biodiesel through Social Network Analysis (SNA) and Complex Network Theory (CNT).

The mapping of these co-authorship networks enables an understanding of different relationships established between organizations dedicated to this theme, revealing the process of scientific cooperation and its dynamics for knowledge dissemination among its members, which is not accessible through traditional research methods.

2. Biodiesel generations

Biodiesel is a consolidated term and widely used in the industry to refer to a synthetic and biodegradable fuel equivalent to petrodiesel. Although derived from biological sources, biodiesel mixed with

diesel can be easily used in compression ignition engines without the need for modifications (Ambat, Srivastava, & Sillanpää, 2018).

Chemically, biodiesel is categorized as a combination of long chain mono-alkyl esters (carbon = C14 to C22) extracted from vegetable oils, recycled cooking oils or animal fat, through different processes such as cracking, esterification and transesterification (Pinto et al., 2005).

The transesterification reaction is the most used method to produce biodiesel and consists of a chemical reaction of oils or fats with alcohol (methanol or ethanol), stimulated by a catalyst, which results in biodiesel and glycerin (Rezende et al., 2021). It is the most economically viable process used on an industrial scale to produce biodiesel (Gebremariam & Marchetti, 2018)

With a consolidated production technology and environmentally friendly, biodiesel has become one of the main biofuels for the transport sector, especially road transport, which accounts for about 75% of global energy use in the sector (Gebremariam & Marchetti, 2018; International Energy Agency, 2011).

Biodiesel has been categorized into generations, taking into account the raw material used in its production (S. P. Souza, Seabra, & Nogueira, 2018). First-generation biodiesel is mainly made from food crops, while second-generation biodiesel is produced from non-edible vegetable and animal waste, while third-generation biodiesel uses macro and microalgae oils as raw material (Singh et al., 2020). This third generation uses a promising feedstock for biodiesel production due to its high oil content. However, its commercial exploitation is still in pilot or demonstration phase (Faruque, Razzak, & Hossain, 2020; Medeiros, Sales, & Kiperstok, 2015).

Currently, the sustainability of biodiesel produced from conventional agricultural crops (e.g. soy and palm) has been criticized, due to its competition with food production, water usage, land use change and biodiversity loss (Kargbo, Harris, & Phan, 2021). Because of this, attention has turned to the production of second-generation biodiesel, as it uses waste that does not compete with food crops or lead to deforestation. Furthermore, second-generation biodiesel is cheaper in terms of the cost of the raw material required, which can reach 80% of total production cost of biodiesel (Bhuiya et al., 2014). As a result, R&DI efforts are being directed towards the development of technologies capable of using low-cost, non-edible raw materials that help mitigate environmental damage, such as the use of animal fat residues from the meat industry (Toldrá, Mora, & Reig, 2016).

The fats are obtained through a process known as rendering, in which parts of the slaughtered animals that do not go for human consumption (e.g. viscera, bones, animal tissue, fat scraps and other inedible parts) pass through a high temperature and pressure system that converts these animal wastes into a variety of usable products such as fertilizers, soap, pet food, feedstuff and biodiesel (Mekonnen, Mussoone, & Bressler, 2016; Woodard & Curran, Inc., 2006).

¹ Higher cetane and oxidation stability levels and lower iodine levels, for example. Authors' note.

Currently, the main animal fats used in biodiesel production are beef tallow, lard, and white fat from poultry fat and swine processing (Adewale, Dumont, & Ngadi, 2015; Feddern et al., 2011). Fats and oils generated by a fish processing plant and meat residues from leather industry are also considered viable raw materials for biodiesel production (Lazaroiu et al., 2017).

Despite the advantages presented, animal fats have a high level of free fatty acids and require more complex production techniques, which can lead to a lower physical-chemical quality of biodiesel (Ambat

et al., 2018). Furthermore, biodiesel made from animal fat is less resistant to cold which can limit its use to tropical regions, especially when it is used in its pure form (S. P. Souza et al., 2018; Toldrá-Reig, Mora, & Toldrá, 2020).

Animal Recycling Industry in Brazil

The animal slaughter industry in Brazil produced 14 million tons of slaughter byproducts in 2020, making the country one of the world's largest producers of animal rendering byproducts (ABRA, 2021).

Table 1: Representation of animal recycling in Brazil (Values in tons 2020)

Species	Live Animal Weight (ton)	Recycling (%)	Recycled raw material (ton)	Fats, Oils and Grease (Ton)
Ruminants	18,813,230	38%	7,174,049	1,358,017
Poultry	17,597,327	28%	4,866,152	519,747
Swine	5,298,507	20%	1,038,507	146,027
Fish	459,136	45%	206,611	14,463

Source: (ABRA, 2020, 2021)

A large amount of slaughtered animal waste is transformed into inputs for industries of feed and pet food, hygiene and cleaning, cosmetics, paints, energy, and other industries, by companies linked to the animal products recycling sector (Bueno, Freitas, & Nachiluk, 2012).

Brazil has a waste processing structure to ensure that animal waste is correctly disposed of, avoiding disposal in landfills, and environmental and sanitary problems (Feddern et al., 2011). Much of this waste is processed in slaughtering plants themselves. Another part is collected from small slaughterhouses, butchers and supermarkets, and processed by rendering plants, known as 'graxarias' in Portuguese. These two models are called by Brazilian legislation: Dependencies Attached to Industrial Slaughter Plants and Processing Unit of Inedible Products (Brasil, 2017a).

Currently, there are 319 companies registered with the Federal Inspection Service (SIF), a control system of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA) in Brazil, which assesses the production quality of edible or inedible animal origin food throughout the five Brazilian regions (ABRA, 2020).

The use of animal fat as an energy input is a solution from the point of view of supply stability. The country is highly dependent on soy to produce biodiesel and the rapid adherence of animal fat producing companies to the Biodiesel Production and Use Program (PNPB) has changed this market. Animal fat has ceased to be a devalued or even an unwanted input (Mekonnen et al., 2016).

The first plant dedicated to biodiesel production in Brazil from beef tallow was set up in 2008. The use of this raw material for biodiesel production has become increasingly significant, boosting a diversity of scientific studies in the country since then (Fernandes et al., 2021; Mekonnen et al., 2016).

About 32% of the 2,038,254 tons of animal fat produced in the country in 2020 was destined for biodiesel industry. Beef tallow

ranks third among the raw materials used in this biofuel production with 8.7% share in 2020. Poultry fat (0.63%) and pork fat (2,01) had a low share in the same period, while fish oil is not yet being used on an industrial scale for biodiesel production (ABRA, 2021; Brasil, 2021).

3. Brief introduction to network theory

The Theory of Networks has its origin in the 18th century with the problem resolution of the Bridges of Königsberg by Leonhard Euler, who founded what is now known as Theory of Graphs, enabling the mathematical representation of networks (Heitor et al., 2014; Barabási & Pósfai, 2016; Newman, 2018). A network is a graph, an abstraction that allows connecting relationships between pairs of objects, represented by $G = \{V, E\}$, where (V) is a discrete (finite and enumerable) set of Nodes or Vertices and (E) are the Edges, a set of lines that represent any type of connection between the set elements (V) (Bloch, Jackson, & Tebaldi, 2021).

Two other historical milestones for the Theory of Networks are: the development of the Social Network Analysis (SNA) and the Theory of Complex Networks. At first, SNA was linked to Sociometry, an analytical tool used to describe social relationships through a graphic representation known as a sociogram, developed by Jacob Moreno in the 1930s (Scott, 2017). Sociometry has decisively contributed to SNA consolidating itself as one of the study approaches of social groups by enabling a systematic analysis of these groups from their respective structures and using particular measures (Recuero, 2017; Wasserman & Faust, 1994).

Social Network Analysis (SNA) is an approach focused on the study of human relationships and, unlike traditional methods of research centered on attributes, it focuses on connections among individuals and exchange of information resulting from these relationships (Borgatti, Everett & Johnson, 2013; Freeman, 2021; Fuentes-Solis, Soto-Caro & Paredes, 2019; Wasserman & Faust, 1994).

In SNA language, vertices are called actors to represent people or groups, and edges are called loops or connections. A set of indices can be used to measure actors' importance in a network (Bloch et al., 2021), with centrality indices being the most used:

- Degree centrality: used to find nodes with the highest number of connections to other nodes in the network.
- Betweenness centrality: identifies nodes that act as a kind of bridge between other nodes, forming the shortest paths of information flow within the network.
- Closeness centrality: identifies nodes closest to other nodes in a network. The central node is the one that has the greatest possibility to interact quickly with all nodes.

Other concepts involving SNA and a detailed explanation of the aforementioned indices, and others, can be found in (Scott & Carrington, 2011; Tabassum, Pereira, Fernandes, & Gama, 2018; Wasserman & Faust, 1994).

In SNA, a network can be analyzed in three ways: individually, where each author is analyzed by group, where subgroup formations are analyzed, and the network as a whole, enabling the identification of several aspects, among which: (i) relationship patterns among actors of a network; (ii) connectivity between these authors; (iii) formation of clusters; (iv) network evolution over time; and (v) flow of communication, information and knowledge within a network (Bordin, Gonçalves, & Todesco, 2014).

The Theory of Complex Networks (TCN) appeared in different knowledge areas at the end of the 20th century, due to rapid computational evolution that allowed the gathering of large volumes of data, allowing analysis of networks with non-trivial topological properties, such as information, technological, biological and social networks. Currently, it is widely applied in characterization and mathematical modeling of complex systems, and the most widespread network models: random networks, free-scale networks, and small-world networks (Newman, 2018).

The classification is made based on different indexes, and the most used are: average minimum path, agglomeration coefficient and degree distribution. The mathematical formulation and explanation of these and other indexes can be found in (Barabási & Pósfai, 2016).

4. Methodology

This work can be characterized as an exploratory-descriptive study of a quantitative nature. The technical procedures adopted are related to metric studies of information for measuring scientific knowledge, especially scientometric indicators for use in the analysis of information flows of scientific and technological literature in order to measure development and dissemination of scientific knowledge, to evaluate research activities at different levels, and to assist in management and decision making.

In this article, these indicators were applied to research on the use of animal fat for biodiesel carried out by researchers affiliated with Brazilian organizations and search, selection and analysis protocols were adopted.

The search was carried out on Clarivate Analytics' ISI Web of Science (WoS) database. This brings together a complete set of academic publications in all sciences, in addition to having the Journal Citation Reports (JCR), the most prestigious report on metrics and analysis of the world's journals, by area of knowledge. The friendly interface for data downloading was taken into account as well as the best compatibility with the software used.

A search combining labels of country/region and topic fields was carried out in the Main Collection of the WoS on 02/04/2020, and updated on 06/22/2020. The search terms were obtained through an initial bibliographic search (Leoci, 2014). The advanced search was used because it allows the use of Boolean operators to form and combine search results with no specific period. The following string was used:

CU=(Brazil) AND TS=(("animal fat\$" OR "animal oils" OR "animal grease\$" OR "waste animal fat\$" OR tallow OR lard OR "poultry fat" OR "chicken fat" OR "beef fat" OR "bovine fat" OR "pig fat" OR "pork fat" OR "swine fat") AND (biodiesel OR "bio-diesel*"))*

This was limited to articles and reviews until December 31, 2019 and 180 documents were recovered, out of which 85 were selected after an analysis to verify the occurrence of terms in the titles, keywords and adherence of the general objective of each document.

A .CSV file with a complete record and cited references from the 85 documents was generated and exported to *Microsoft Excel* for the creation of bibliometric indicators of production, institutional co-authorship and research funding. The following free pieces of software were used to build the networks: VOSviewer, Gephi and Pajek.

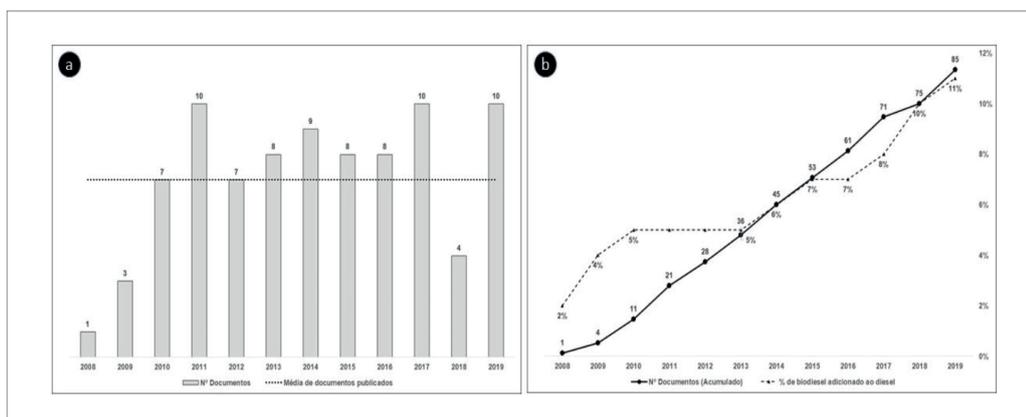
It is important to note that WoS takes into account the author's affiliation, regardless of their position in the list of authors, which can cause an overlap in number of publications attributed to each institution, country or most active author.

5. Results and discussion

The research corpus consisted of 85 documents, 82 articles, 2 conference articles and 1 review article, and their annual distribution can be seen in Figure 1a.

English was the most used language in the documents (n=72; 84.71%), followed by Portuguese (n=13; 15.29%). The records were published in 50 journals (average \cong 2 documents/ journal), showing the dispersion in communication of the research produced. In total, 28 articles (33%) were published in 15 open access journals, a national preference making Brazil a world leader in this publication type (SCIENCE-METRIX, 2018).

Figure 1.a and 1.b: Time evolution of publications on animal fat and biodiesel, and blending percentage of biodiesel to diesel from 2008 to 2019.



Source: Prepared by the authors with data collected from WoS Main Collection (2020)

The beginning of Brazilian research on animal fat in WoS scope dates back to 2008, with the work on evaluating the properties of biodiesel from bovine tallow (Moraes et al., 2008).

Since then, researchers affiliated with Brazilian organizations have been continuously producing scientific papers on the subject. However, the increase in the number of publications is not directly linked to the increase in blending percentage of biodiesel to diesel in Brazil (Figure 1.b), as shown by a regression ($R^2=0.279$).

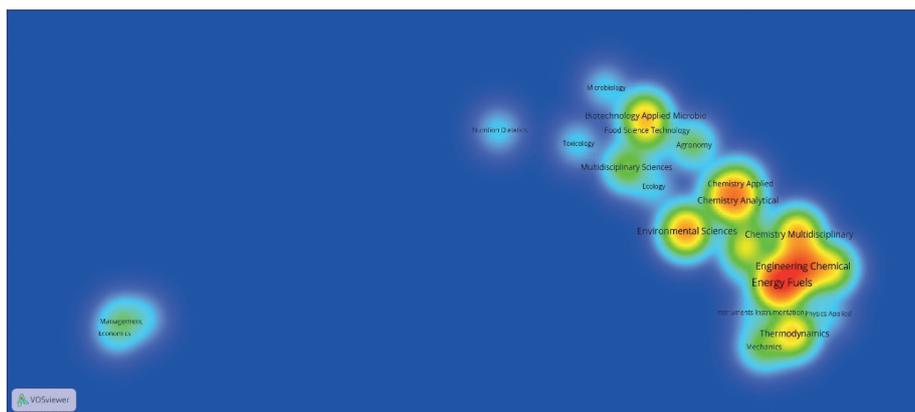
However, it is important to note that two factors positively influenced research growth: the mandatory introduction of biodiesel in the

Brazilian energy matrix through the National Plan for Production and Use of Biodiesel, and the creation of the RBTB that financed research that enabled technological mastery, scale production and logistics of different sources of raw materials, such as beef tallow.

The documents were indexed in 19 knowledge areas, mostly Chemistry (38.82%), Energy and Fuels (31.76%), and Engineering (30.59%).

From the analysis of WoS subject categories, it was possible to identify the interaction patterns among these areas (Figure 2).

Figure 2: WoS subject categories where the research corpus was indexed (2008 – 2019)



Source: Prepared by the authors with data collected from WoS Main Collection (2020)

The red areas indicate a scientific proximity between areas (centralities and influence), while green and blue colors show unrelated areas. Energy and fuels, and chemical engineering categories are the most strongly related.

Scientific Cooperation and Institutional Co-Authoring Networks

All 85 documents were written by more than one author, which is common in life sciences and engineering. In total, 397 authors were identified (4.67 authors/article) and the most common co-authorship level were groups of 6 authors. Based on these data, it was possible to calculate the collaboration coefficient (Ajiferuke, Burell, & Tague, 1988), which resulted in 0.83, a high value.

Concerning international cooperation, 7 documents (8.25%) were identified with collaborative links between Brazilian institutions and German, Portuguese, Colombian and American institutions. Although small, Brazilian research with international collaboration was diversified, and included: a study of potential environmental impacts and barriers to environmental sustainability of biodiesel produced from soy and beef tallow; engine performance and power generation tests using tallow biodiesel blends; animal fat biodiesel production without the addition of chemical or biochemical catalysts; an evaluation of tallow biodiesel by-products, and; activation energy determination for thermal decomposition of crude glycerin and bovine tallow.

In the organizational scope, 83 institutions engaged in research into animal fat and biodiesel were identified. They published at least one paper on this theme, demonstrating a strong interinstitutional interaction and confirming RBTB's commitment in training human resources, and the creation of scientific collaboration networks involved in solving problems at different stages of the biodiesel production chain.

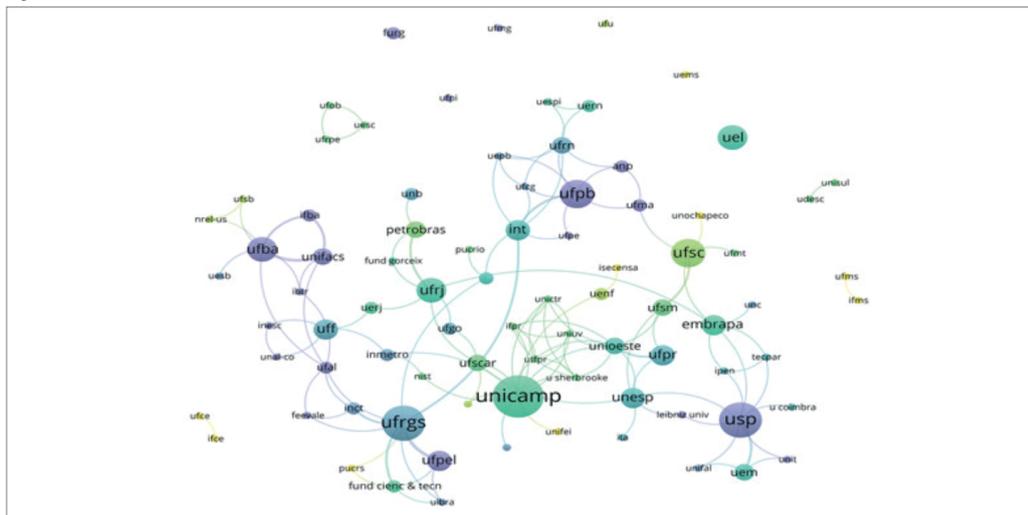
An institutional co-authorship network formed by 83 institutions that established 129 co-authorship bonds, distributed over 11 connected components can be seen in Figure 3. This network was structured based on the average number of publications. For example, publications from the Federal University of Bahia (UFBA) are older than publications from the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) on average. Thus, there is an idea of publications' temporality by institution.

The size of the nodes indicates the number of documents published by each institution, and the distance between them provides a proximity indication. On the other hand, the bonds represent co-authorship of articles, and their thickness indicates the relationship strength, that is, the wider, the stronger the relationship.

As for the formation of clusters, *VosViewer* uses its own calculation technique, which seeks to group institutions according to thematic affinity (Waltman, van Eck, & Noyons, 2010). Thus, all institutions formed 20 clusters in total, where the two largest clusters brought together ten institutions, with most institutions from the Northeast of Brazil.

Some of the Northeastern institutions have been pioneers in biodiesel research in Brazil since the mid-1970s. One is the Dendiesel project, led by chemical engineer Hernani Sá of the Executive Committee of the Lavaca Cacaueira Plan (Ceplac), which used palm oil as a fuel. Another is research on the transesterification of oils and fats from agricultural activity and the extractive sector of Professor Expedito Parente of the Federal University of Ceará (UFCE), leading him to claim the first worldwide patent for the biodiesel industrial process (PI 8004358-5).

Figure 3: Institutional collaboration network in research on animal fat and biodiesel in Brazil



Source: Scopus data (2021)

Northeastern institutions also dominated the research scenario in the first quadrennium (2008-2011) with 25 organizations in total, with the Federal University of Paraíba (UFPB) being the most productive organization with 4 articles.

From the second quadrennium (2012-2015) on, there was an increase in the number of institutions in the South-Southeast regions, and the beginning of international collaborations. During this period, 43 institutions were identified, and the University of São Paulo (USP) was the most productive with 6 articles.

Finally, 49 institutions were identified in the third quadrennium (2016-2019), and the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and the State University of Campinas (Unicamp) were the most productive with 5 articles each.

From the network's component, the main indexes related to SNA were calculated (Table 2), revealing their topological structure.

Table 2: Main TCN and SNA indexes of the giant component.

Indexes	Real Network 2008 to 2019
Number of components	1
Number of actors (institutions)	68
Number of co-authoring links	123
Average grade	3,618
Density	0,054
Average agglomeration coefficient	0,69
Diameter	12
Average minimum path	5,227

Source: Prepared by the authors.

Using the average agglomeration coefficient of Watts and Strogatz (Watts & Strogatz, 1998), it was observed that it was much higher (0.69) than the average agglomeration coefficient of a random network generated for comparison purposes. In addition, the average minimum path of the network (5,227) was also comparable with the average minimum path of that random network. This indicates that the institutional collaboration network in research on animal fat and biodiesel in Brazil is characterized as a small world network, that is, a network of greater articulation.

The high agglomeration coefficient indicates that there is a strong connection between the institutions, which facilitates information exchange and convergence of efforts in RD&I execution among researchers from these institutions. This demonstrates that the RBTB was successful in structuring a scientific-technological base to

support and guide the Brazilian biodiesel program, at least regarding the raw material for the studied biodiesel production.

Other characteristics revealed in the network were degree distribution, closeness centrality, and betweenness centrality. The degree distribution shows the importance of the connections established by a network component: the greater the number of connections, the greater the vertex's importance.

The proximity centrality shows how close one vertex is to other network vertices. Therefore, the vertex of greater proximity centrality is the fastest when interacting with others.

On the other hand, the betweenness centrality indicates the information flow in a network. A vertex that has the greatest betweenness centrality acts as a bridge when connecting other vertices, giving it a greater control power, since other vertices depend on it to execute the interaction.

UNICAMP was the institution with the highest degree (13), while UFSC was the institution with the greatest proximity centrality (0.528) and betweenness centrality (0.280).

Table 3 shows the institutions with the highest degree, which established the largest number of collaborations in research on animal fat and biodiesel in Brazil. A considerable number of institutions (29) have a low degree and are connected to a few other institutions.

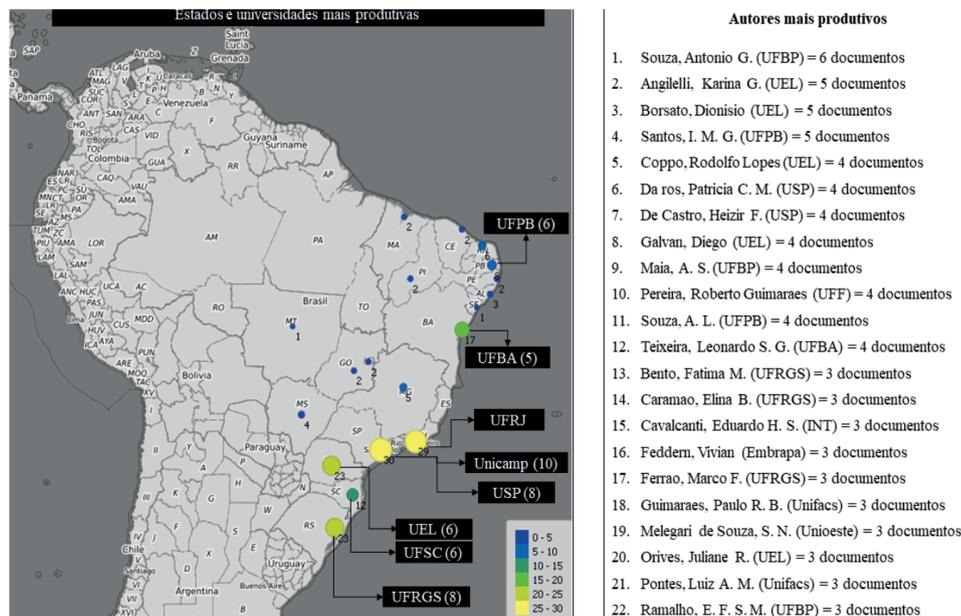
Table 3: Institutions with higher degree centrality.

Vertex (Institution)	Degree centrality
UNICAMP	13
UFRGS	9
UNIOESTE	9
USP	9
INT	7
UFBA	7
UFPB	7
UFRN	7
UNESP	7
EMBRAPA	6

Source: Prepared by the authors.

In general, the institutions listed in Chart 2 also have a considerable number of the 397 researchers identified. Finally, Figure 4 shows the main states and the most productive organizations and researchers.

Figure 4: Research distribution by federative unit and main organizations and authors.



Source: Prepared by the authors based on data extracted from WoS (2020).

Finally, mentions of financial support received by the articles' authors were analyzed from the fields FU (Funding Acknowledgement) and FX (Funding Text) of the file's metadata extracted from WoS. This made it possible to establish a relationship among inputs' financing (scholarships, material and others) without the need to obtain direct information from each financier.

The data revealed that 65 documents (70.6%) received some type of funding from 26 identified institutions. Out of this total, 23 are public institutions, 3 private companies and 3 international institutions. This reflects what happens in Brazilian science in general as public institutions have assumed the leading role in the production of science and technology in Brazil (CAPES, 2018).

The most mentioned institutions were the National Council for Scientific and Technological Development - CNPq (46), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - CAPES (28), and the Research Support Foundations of several Brazilian states (23), with emphasis for the São Paulo State Research Support Foundation - FAPESP (9) and the Studies and Projects Funder - FINEP (12). All of these institutions are directly or indirectly linked to the ministries of Education or Science, Technology and Innovation. Among their objectives, they offer support in all stages and dimensions of scientific and technological development cycle, whether through scholarships, the purchase of inputs and others.

The support of international institutions came from the Foundation for Science and Technology of Portugal, the European Science Foundation and the National Renewable Energy Laboratory in the USA, all with one mention. The company that most supported research on animal fat for biodiesel was Petrobras with four mentions.

It is important to note that the number of documents financed in this study may be greater, since acknowledgment mentions for funding are processed by WoS if the document is written in English, however, 13 papers from this research corpus were published in Portuguese.

In addition, these mentions are voluntary and depend on the author's desire to publicize the support received. However, this is becoming mandatory in Brazil and CAPES has already established a mandatory standard for acknowledgment in publications that have been financed, in whole or in part by it (44).

6. Final considerations

This article has dealt with the study of research networks for the development of biodiesel from animal fat through Social Analysis Network and Theory of Complex Network. To this end, 85 documents produced by researchers affiliated with Brazilian institutions and published on the Web of Science were analyzed.

Production was uninterrupted in the analyzed period, with an approximate average number of publications of seven documents per year, and an average increase rate of 21.15%, making Brazil a country engaged in research on animal fat for biodiesel production within the WoS scope.

The requirement for a blending percentage of biodiesel to diesel and the setting up of the RBTB contributed significantly to leverage research on second-generation biodiesel in the country.

Scientific cooperation among teaching and research organizations proved to be small internationally, but nationally high. Overall, more than 80 institutions have mobilized to develop research on the use of animal fat in biodiesel, which has helped to overcome scientific and technological bottlenecks in biodiesel production from this input.

From SNA and TCN applications, it was possible to affirm that the institutional research network on animal fat and biodiesel in Brazil can be characterized as small-world. This favors the articulation between the components and facilitates the exchange of information. It demonstrates that the RBTB was successful in structuring a scientific-technological base to support and guide the Brazilian biodiesel program. However, some institutions are no longer working on research on the subject. This apparent drop may be due to several factors, such as successive cuts in science and technology budgets, which has prevented the continuity of research across the country.

However, the methodology applied in this research, which makes use of a consolidated database (WoS), open-source software and a reproducible procedure, can be useful for the analysis of other sectors, both in the energy field (research networks on green hydrogen, wind and solar energy, for example), as well as for different sectors, such as supply chain management and public policy management, among others.

Acknowledgment

To the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the Research Project in the Universal Notice 01/2016 (Process No. 428065 / 2016-3), and FAPESB - Young Scientist Notice. Dean of Research and Innovation (PRPGI) of the Federal Institute of Bahia (IFBA).

References

- ABRA. (2019). *Anuário do Setor de Reciclagem Animal: 2018* (p. 103). Brasília, DF: Associação Brasileira de Reciclagem Animal. Retrieved from Associação Brasileira de Reciclagem Animal website: <https://abra.ind.br/anuario2018/>
- ABRA. (2020). *Anuário do Setor de Reciclagem Animal: 2019* (p. 103). Brasília, DF: Associação Brasileira de Reciclagem Animal. Retrieved from Associação Brasileira de Reciclagem Animal website: <https://abra.ind.br/anuario2018/>
- ABRA, B. R. A. (2021). About The Sector. Retrieved May 10, 2021, from Brazilian Renderers website: <https://brazilianrenderers.com/sector/>

Adewale, P., Dumont, M.-J., & Ngadi, M. (2015). Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 574–588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.039>

Ajiferuke, I., Burell, Q., & Tague, J. (1988). Collaborative coefficient: A single measure of the degree of collaboration in research. *Scientometrics*, 14(5–6), 421–433. <https://doi.org/10.1007/BF02017100>

Ambat, I., Srivastava, V., & Sillanpää, M. (2018). Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 356–369. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.069>

ANP. (2020). Informações de mercado. Retrieved June 4, 2020, from Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis website: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>

Barabási, A.-L., & Pósfai, M. (2016). *Network science*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Batista, F. (2020, January 17). Sebo bovino vira estrela do biocombustível no Brasil. Retrieved March 15, 2020, from Bloomberg website: <https://www.moneytimes.com.br/sebo-bovino-vira-estrela-do-biocombustivel-no-brasil/>

Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashwath, N., Azad, A. K., & Hazrat, M. A. (2014). Second Generation Biodiesel: Potential Alternative to-edible Oil-derived Biodiesel. *Energy Procedia*, 61, 1969–1972. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.054>

Bloch, F., Jackson, M. O., & Tebaldi, P. (2021). Centrality Measures in Networks. *ArXiv:1608.05845 [Physics]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1608.05845>

Bordin, A. S., Gonçalves, A. L., & Todesco, J. L. (2014). Análise da colaboração científica departamental através de redes de coautoria. *Perspectivas Em Ciência Da Informação*, 19(2), 37–52. <https://doi.org/10.1590/1981-5344/1796>

Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C. (2013). *Analyzing social networks*. Los Angeles: SAGE.

Brasil. *Intended Nationally Determined Contribution Towards Achieving The Objective Of The United Nations Framework Convention on Climate Change*. (2015).

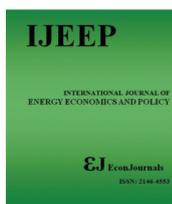
Brasil. *Decreto no 9.073, de 5 de junho de 2017*. , Pub. L. No. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017 (2017).

Brasil. *Presidência da República*. , Pub. L. No. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, Diário Oficial da União (2017).

- Brasil. (2021). Matéria-primas. Retrieved June 6, 2021, from Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel website: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmM-WltNGJlNDg0ZTg5NjBliiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTtNGI0Mi1iN2VmLTExNGFmY2FkYzIxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>
- Bueno, C. R. F., Freitas, S. M., & Nachiluk, K. (2012). Produção e aplicações do sebo bovino. *Economia*. Instituto de Economia Agrícola (IEA). Retrieved from <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=12424>
- Denny, D. M. T. (2020). Competitive renewables as the key to energy transition—RenovaBio: The Brazilian biofuel regulation. In *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions* (pp. 223–242). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819521-5.00013-9>
- Embrapa, E. B. de P. A. (2020). Live—Ciência e Biocombustíveis [Compartilhamento de vídeos]. Retrieved July 9, 2020, from YouTube website: <https://www.youtube.com/watch?v=xeOnFOWKujg>
- EPE, E. de P. E. (2020). *Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019* (p. 292). Empresa de Pesquisa Energética. Retrieved from Empresa de Pesquisa Energética website: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf
- EPL. (2018). *Plano Nacional de Logística—PLN 2025* (p. 140) [Relatório Executivo]. A Empresa de Planejamento e Logística S.A. Retrieved from A Empresa de Planejamento e Logística S.A. website: <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>
- Faruque, M. O., Razzak, S. A., & Hossain, M. M. (2020). Application of Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production from Microalgal Oil—A Review. *Catalysts*, 10(9), 1025. <https://doi.org/10.3390/catal10091025>
- Feddern, V., Cunha, A., De Pra, M. C., de Abreu, P. G., Santos Filho, J. I. dos, Yamumi, M., ... Coldebell, A. (2011). Animal Fat Wastes for Biodiesel Production. In M. Stoytcheva (Ed.), *Biodiesel—Feedstocks and Processing Technologies*. InTech. <https://doi.org/10.5772/26691>
- Fernandes, F. M., Martins, L. O. S., Marques, R. S., Cunha, F. B. F., Silva, M. S., & Freires, F. G. M. (2021). Metric Studies of Information in Animal Fat Research for Biodiesel Production in Brazil between 2008 and 2019 in the Scope of Web of Science. *Revista Gestão Inovação e Tecnologias*, 11(1), 5880–5892. <https://doi.org/10.7198/geintec.v11i1.1501>
- FGV, F. G. V., & Ubrabio, U. B. do B. e B. (2010). *Biodiesel and its contribution to Brazilian development* (pp. 1–34). São Paulo, SP: FGV; Ubrabio. Retrieved from FGV; Ubrabio website: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/ubrablo.pdf>
- Freeman, L. (2021). What is SNA? - International Network for Social Network Analysis. Retrieved May 1, 2021, from <https://www.insna.org/what-is-sna>
- Fuentes-Solis, R., Soto-Caro, A. & Paredes, D. (2019). The Impact of Cooperation on Business Innovation in Developing Countries: Evidence from Chile in Latin America. *Journal of Technology Management & Innovation*, 14(4), 31-40. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242019000400031>.
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management*, 168, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>
- Heitor, M., Horta, H., Castañón, R., Sbragia, R., & Jiménez, A. (2014). Can Latin America Move Forward a Lost Decade in Technical Change? ...Looking at Opportunities for Knowledge-based Change in Times of Increasing Uncertainty. *Journal of Technology Management & Innovation* 9(4), 1-19. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242014000400001>
- International Energy Agency. (2011). *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264118461-en>
- Kargbo, H., Harris, J. S., & Phan, A. N. (2021). “Drop-in” fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110168>
- Lazaroiu, G., Pană, C., Mihaescu, L., Cernat, A., Negurescu, N., Mocanu, R., & Negreanu, G. (2017). Solutions for energy recovery of animal waste from leather industry. *Energy Conversion and Management*, 149, 1085–1095. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.042>
- Leoci, R. (2014). *Animal by-products (ABPs): Origins, uses, and European regulation*. Mantova: Universitas studiorum.
- MCTIC. (2016). *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016—2022*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.
- MCTIC. (2018). *Plano de ciência, tecnologia e inovação para energias renováveis e biocombustíveis: 2018—2022* (p. 58). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.
- Medeiros, D. L., Sales, E. A., & Kiperstok, A. (2015). Energy production from microalgae biomass: Carbon footprint and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, 96, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.038>
- Mekonnen, T., Mussone, P., & Bressler, D. (2016). Valorization of rendering industry wastes and co-products for industrial chemicals, materials and energy: Review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(1), 120–131. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.928812>

- Moraes, M. S. A., Krause, L. C., da Cunha, M. E., Faccini, C. S., de Menezes, E. W., Veses, R. C., ... Caramão, E. B. (2008). Tallow Biodiesel: Properties Evaluation and Consumption Tests in a Diesel Engine. *Energy & Fuels*, 22(3), 1949–1954. <https://doi.org/10.1021/ef7006535>
- Newman, M. (2018). *Networks: An Introduction* (2a edição). Oxford, United Kingdom ; New York, NY, United States of America: OUP Oxford.
- Pinto, A. C., Guarieiro, L. L. N., Rezende, M. J. C., Ribeiro, N. M., Torres, E. A., Lopes, W. A., ... Andrade, J. B. de. (2005). Biodiesel: An overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16(6B), 1313–1330. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000800003>
- Recuero, R. (2017). *Introdução à análise de redes sociais online* (1st ed.). Salvador: EDUFBA.
- Rezende, M., de Lima, A. L., Silva, B., Mota, C., Torres, E., da Rocha, G., ... de Andrade, J. (2021). Biodiesel: An Overview II. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>
- Rico, J. A. P., & Sauer, I. L. (2015). A review of Brazilian biodiesel experiences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 513–529. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.028>
- Rocha, A. M., Quintella, C. M., Torres, E. A., & Silva, M. S. (2015). Biodiesel in Brazil: Science, technology and innovation indicators. *International Journal of Technology Management*, 69(3/4), 246. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2015.072984>
- Rocha, A. M., Silva, M. S., Quintela, C. M. A. L. T. M. H., & Torres, E. A. (2013). INDICADORES CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS EM BIODIESEL NA BAHIA: PANORAMA SOBRE GRUPOS DE PESQUISA DO CNPq E PESQUISADORES DA RBTB. *Revista Economia & Tecnologia*, 9(3). <https://doi.org/10.5380/ret.v9i3.33223>
- Rodrigues, F. (2011, July 25). Pesquisa: Investindo no amanhã. Retrieved May 5, 2020, from BiodieselBR website: <https://www.biodieselbr.com/revista/023/investindo-no-amanha-1>
- SCIENCE-METRIX. (2018). Analytical Support for Bibliometrics Indicators. Retrieved August 6, 2020, from Science and Technology Evaluation website: <https://www.science-metrix.com>
- Scott, J. (2017). *Social network analysis* (4th edition). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Scott, J., & Carrington, P. J. (Eds.). (2011). *The SAGE handbook of social network analysis*. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., Kumar Sharma, P., & Jhalani, A. (2020). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, 262, 116553. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>
- Souza, D. T. de, Laviola, B. G., Santos, G. S., Capdeville, G. de, Esquiagola, M. M. O., & Souza Júnior, M. T. (2017). *Cenários sobre contribuição do biodiesel para ampliar a participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira em 2030* (Vol. 22). Brasília, DF: Embrapa Agroenergia.
- Souza, S. P., Seabra, J. E. A., & Nogueira, L. A. H. (2018). Feedstocks for biodiesel production: Brazilian and global perspectives. *Biofuels*, 9(4), 455–478. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1278931>
- Tabassum, S., Pereira, F. S. F., Fernandes, S., & Gama, J. (2018). Social network analysis: An overview. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(5). <https://doi.org/10.1002/widm.1256>
- Toldrá, F., Mora, L., & Reig, M. (2016). New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*, 120, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.021>
- Toldrá-Reig, F., Mora, L., & Toldrá, F. (2020). Trends in Biodiesel Production from Animal Fat Waste. *Applied Sciences*, 10(10), 3644. <https://doi.org/10.3390/app10103644>
- Waltman, L., van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *ArXiv:1006.1032 [Physics]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1006.1032>
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- Woodard & Curran, Inc. (2006). Wastes from Industries (Case Studies). In *Industrial Waste Treatment Handbook* (pp. 409–496). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-075067963-3/50012-6>

APÊNDICE C – Artigo 3: 10.32479/ijeep.14176



International Journal of Energy Economics and Policy

ISSN: 2146-4553

available at <http://www.econjournals.com>

International Journal of Energy Economics and Policy, 2023, 13(3), 207-218.



Research on Biodiesel in the National Institute of Science and Technology for Energy and Environment: An Analysis through Scientometry, and Complex and Social Networks

Fábio Matos Fernandes¹, Luís Oscar Silva Martins^{2*}, Antônio Carlos dos Santos Souza³, Francisco Gaudêncio Mendonça Freires¹, Marcelo Santana Silva⁴

¹Postgraduate Program in Industrial Engineering, Polytechnic School, Federal University of Bahia, Bahia, Brazil, ²Center for Science and Technology in Energy and Sustainability, Federal University of Reconcavo of Bahia, Bahia, Brazil,

³Multi-Institutional and Multidisciplinary Doctorate in Knowledge Dissemination, Federal Institute of Bahia, Bahia, Brazil,

⁴Postgraduate Program in Intellectual Property and Technology Transfer for Innovation, Federal Institute of Bahia, Bahia, Brazil.

*Email: luisoscar@ufrb.edu.br

Received: 15 January 2023

Accepted: 04 April 2023

DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.14176>

ABSTRACT

The National Institute of Science and Technology for Energy and Environment (INCT E and A) is a virtual network of scientific-institutional cooperation focused on research for energy sustainable use and environment preservation. This article aimed to identify production and articulations of researchers affiliated to INCT E and A in biodiesel research in the period from 2009 to 2020, based on scientometric, and social and complex network analysis. Altogether 76 articles involving biodiesel theme were analysed and a network of 212 authors from 48 institutions with a high level of collaboration was identified. Network topological properties were calculated, making it possible to find central researchers and affirm that it presents the small world phenomenon. It was also possible to observe that scientific production by the researchers occurred especially between the years 2009 and 2014. After this period, biodiesel theme stopped attracting INCT E and A researcher's attention, demobilizing a network at a moment when Brazil chose biofuels as a decarbonizing strategy for transport matrix through the National Biofuels Policy (RenovaBio).

Keywords: Biodiesel, Bibliometrics, Scientometrics, Social Network Analysis

JEL Classifications: Q2, Q4, Q5, C6, C8

1. INTRODUCTION

Biodiesel is a biofuel derived from the processing of biological sources and with properties similar to diesel, which stands out for being biodegradable, non-toxic and essentially free of sulfur and aromatic compounds (Knothe, Gerpen & Krahl, 2018; Ramos et al., 2017; Monteiro et al., 2008; Rezende et al., 2021).

Biodiesel can be used pure or mixed with diesel in different proportions. Currently, it is being used in at least 49 countries in the

form of mixtures that vary between 5% and 20 and its production is concentrated in 11 countries that account for 80% of global production, highlighting: Indonesia (17%), United States United States (14.4%), Brazil (13.7%), Germany (7.4%), France (5.0%) and the Netherlands (4.6%) (REN21, 2022).

In Brazil, biodiesel has become the main biofuel used in the decarbonization of road transport, which consumed more than 90% of the diesel used in the country in 2021 (EPE, 2022a) and will be responsible for 224 MtCO_{2e} of the 484 MtCO_{2e} from energy

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

consumption projected for 2030 (MME, 2021).

As there is no prospect of using advanced biofuels (e.g. Hydrotreated Vegetable Oil or HVO) on a large scale in the country (EPE, 2022b), Brazil should continue to bet on increasing the addition of biodiesel to diesel in different proportions, which can reach B25 (70% diesel and 25% biodiesel) in 2030, but a series of additional efforts are still required from the actors involved in the Brazilian's biodiesel production chain. (ANFAVEA; BCG, 2021).

The efforts to promote biodiesel in Brazil began with the launching of the National Biofuels Program (PROBIODIESEL) in 2002, and materialized by the Program for Biodiesel Production and Use (PNPB) launched in 2005 (Ramos et al., 2017). Through the implementation of a new legal framework, the PNPB introduced biodiesel into the Brazilian energy matrix, by making mandatory the blending of biodiesel with diesel (Silva et al., 2014).

PNPB success is attributed to several factors, including land availability, soil and climate conditions for biodiesel production, as well as a consolidated legal framework, and technological domain (Ribeiro and Silva, 2020; Silva et al., 2014).

In order to promote the scientific and technological development of biodiesel, the Ministry of Science, Technology and Innovation has launched the Brazilian Biodiesel Technology Network (RBTB). RBTB involves universities, research institutions, government agencies and private companies in order to identify and eliminate technical, socio-environmental and economic barriers throughout the whole biodiesel chain. It has become an example of a national scientific-technological base structured to support and guide the PNPB program (Menezes, 2016; Suarez and Meneghetti, 2007).

Another federal government initiative, which also benefited biodiesel research, was the National Institutes of Science and Technology Program (INCT). It is a set of virtual, multicentric and multidisciplinary research and development institutes (Bosio et al., 2019). INCT is a typical model of science, technology and innovation system (ST and I) in a more advanced consolidation stage in Brazil (Macedo, 2015).

Created in 2008, the INCT Program is characterized by a transversal and priority action of the Science, Technology and Innovation Action Plan (STIAP). INCT was planned and implemented to occupy a strategic position in the National Science and Technology System (NSTS), developing consistent and priority research programs for the national scientific and technological development (CGEE, 2019).

To this end, the best research groups in cutting edge areas of science or strategic themes for Brazilian sustainable development were mobilized with three well-defined missions: (i) to conduct scientific research; (ii) to invest in human resource training and; (iii) to transfer knowledge to society. A fourth mission was assigned to institutes focused on ST and I applications: knowledge transfer to the business sector or to the government (Andrade and Lopes, 2012; Ministério Da Ciência, Tecnologia, 2008; MCTIC, 2016).

Most of the INCT institutes has been founded in 2009, and until 2014, in order to conduct research on topics directly related to strategic areas of the ST and I Action Plan, 125 institutes were created comprising the following areas: engineering and information technology, agricultural, exact, natural, human, social, nanotechnology, health, ecology, environment, and energy sciences (MCTIC, 2016). In 2020, Brazil has 104 institutes working in the aforementioned areas (CNPq, 2021).

Among the institutes related to the energy area and biofuels, the INCT for Energy and Environment (INCT E and A) is one of the most active. Its head office is located at the Federal University of Bahia (UFBA) and is housed at the Interdisciplinary Center for Energy and Environment (CIEnAm), located in Salvador, Bahia, Brazil (Andrade and Lopes, 2012).

INCT E and A started its activities in 2009 with 59 researchers from 39 research groups from 12 institutions: UFBA, UFRJ, USP, UEL, UFPR, UFSC, UFRGS, SENAI CIMATEC, UESC, UNEB, UEFS, and UESB (De Andrade and Guarieiro, 2011; P. Vieira et al., 2016). In 2020, there were 87 researchers from 26 institutions are registered, 18 of which are national and 8 are foreign (INCT EA, 2020). INCT E and A maintains a close interaction with the industrial sector, involving a significant number of small and large companies, such as Petrobras S/A, Braskem, and Repsol Ypf, and Aerosol Dynamics, as well as incubators such as E and A Energia e Ambiente, and Solar Engenharia Sustentável (INCT EA, 2020).

The research at INCT E and A is focused on optimization and eco-efficient use of energy, comprising the preparation, characterization, testing, and evaluation of produced biofuels, associated with by-products valorization; formulation and certification of blends of fossil fuels and biofuels; combustion in engines and dynamometers; emissions impact evaluation in Brazilian urban centers, and studies of other matrices of environmental interest (INCT EA, 2020).

In order to conduct biodiesel research, the scientists can count on 37 laboratory facilities affiliated to the institute (INCT EA, 2020), and an optimized pilot plant installed at UFBA, for biodiesel production from residual oils and fats and/or *in natura* oils. This plant has a production capacity of 5 million liters per year, contributing to several studies on technological routes, preparation, and testing of biodiesel blends (Torres, 2008), resulting in a wide range of publications in national and international journals.

In this context, this article aimed to identify the production and articulations of researchers affiliated to INCT E and A in biodiesel research field from 2009 to 2020, based on scientometric analysis and social and complex networks.

Network studies originated from mathematical investigations carried out by Euler, resulting in graph theory (Newman et al., 2006), which was applied in sociology by Jacob Levy Moreno, introducing the idea of representing social structures in sociograms in an attempt to capture collective behavior complexity (Scott, 2011). Since then, network analysis has become a powerful tool that can be used in a strategic planning of research programs, as it allows tracking, visualizing and understanding interrelationships

formed between participants in a collective through co-authorship established in scientific publications, in addition to identifying and pointing out trends for research development (Knoke and Yang, 2008; Morel et al., 2009).

Considering that the research team from INCT E and A institute have published a large number of articles addressing biodiesel, this scientific production could be identified and its metadata used in a scientometric evaluation. Further, along with a co-authorship network it was possible to enlighten the current state and trends of research with biodiesel in the INCT E and A.

2. METHODOLOGY

This research is exploratory and descriptive in nature, as it provides information on a topic, describing it without the researcher's interference. It is a quantitative study in character, as it involves the processing of quantitative data from scientometric research, which is the technical procedure adopted for data collection (Freitas, 2013).

Scientometrics or scientometric research aims to analyze scientific and technological activity through mathematical and statistical techniques applied to productions, scientific policies and technological applications. It also includes bibliometrics, which favors access and analysis of research carried out by different actors, such as countries, universities, research centers and groups, scientific journals and researchers, enabling the creation of various indicators, such as production, visibility, human resources training, funding, co-authorship standards, among others (Osabe and Jibu, 2018; da Silva and Bianchi, 2001; Vanti, 2002).

Such indicators can be used at different analysis levels. In this research, scientometric analysis of generated indicators was restricted to micro aggregation level, that is, it was limited to a specific theme developed by INCT E and A researchers.

The research followed the workflow for bibliometric research suggested by Zupic and Čater (2015) consisting of five steps: (i) to define research question and to choose appropriate methods to answer it; (ii) to select databases; (iii) to choose appropriate software; (iv) to decide visualization method to present the results; and (v) to interpret the results obtained. Steps i and ii have already been described in previous sections.

2.1. Data Collection

Scientific knowledge is no exception to the data boom, and it is a consensus among researchers that scientific production has increased exponentially in recent years (Cantu-Ortiz, 2018), requiring a good strategy for data recovery for scientometric analysis. Therefore, data mining becomes useful in dealing with this task, as it enables extraction of useful and non-trivial knowledge from different databases.

Database collection and assembly took place in multidisciplinary bibliographic databases: Web of Science (WoS) by Clarivate Analytics, Scopus by Elsevier and in the INCT E and A repository (<http://inct.cnpq.br/web/inct-e-a>), an institutional hotspot provided by CNPq. Thus, it was possible to provide a scientometric

description of research on biodiesel by the institute, and to understand its evolution from 2009 to 2020.

The search strategy used for article retrieval was a specific strings creation for the Core Collection of WoS and Scopus, since a single string does not work in all databases (Kitchenham and Brereton, 2013). Orthographic variations and Institute acronyms were used, and the following terms were selected: "INCT Energia and Ambiente," "INCT Energia e Ambiente," "INCT EA," "INCT E and A," "Natl Inst Sci and Technol Energy and Environmet." As for the INCT E and A hotspot, the search term used was "Biodiesel." Chart 1 presents the information retrieval strategy in the three aforementioned databases.

The search was restricted to articles, reviews and proceedings papers or conference papers, as long as they were presented at a conference and later published in a journal. No language restrictions were imposed. File, interview, editorial, theses and dissertations, book chapters, abstracts, meeting abstracts and patents were excluded, which makes this criterion a limitation of the adopted search strategy, since they are also documents resulting from collaboration.

2.2. Data Organization and Analysis

First of all, the analysis begins with data pre-processing, which is one of the most important steps for creating and analyzing scientific networks, as data collected in bibliographic databases usually contain errors (Cobo et al., 2011).

Based on this premise, articles' data were exported to Microsoft Excel, where they underwent a first pre-processing stage. This step was essential, as the dataset analyzed came from three different databases and their metadata needed to be standardized and organized in a single spreadsheet.

At the end of this step, a.csv file (comma-separated-values) was generated and a new error search was performed enabled by the

Chart 1: Information retrieval strategy in the selected databases

Database	String/search term	Selected documents	Period
WoS (Core Collection)	ALL=("inct energia and ambiente" OR "inct energia ambiente" OR "natl inst sci and technol energy and environm" OR "inct ea" OR "inct e and a")	Articles Review articles	2009-2020
Scopus	AFFIL ("inct energia and ambiente" OR "inct energia ambiente" OR "natl inst sci and technol energy and environm" OR "inct ea" OR "inct e and a")		
Hotspot INCT E and A	Biodiesel		

Source: Prepared by the authors. INCT E and A: Institute of science and technology for energy and environment, WoS: Web of science

Open Refine data cleaning application (<https://openrefine.org>), resulting in a file new version for creating collaborative networks using the free software VOSviewer (www.vosviewer.com).

VOSViewer was specifically developed to build, visualize and explore scientific networks from bibliometric data. These networks can be co-authored (by countries, organizations and authors), co-occurring (of keywords and terms), citation, Co-citation and bibliographic coupling (Van Eck and Waltman, 2010).

The software uses the VOS positioning technique (similarities visualization) to generate two-dimensional networks, where network nodes are positioned in such a way that the distance between any pair of nodes reflects their similarity degree (association strength). Hence, strongly related nodes are located close to each other, whereas less strongly related nodes are located further away from each other (Van Eck and Waltman, 2010).

VOSViewer also has an advanced layout technique that allows communities detection, which even can be improved through available parameters, allowing data reduction to select relevant information and accepting thesaurus. This can be used to merge different spellings of an author, organization, country or term name (Van Eck and Waltman, 2014; Waltman et al., 2010), helping to overcome one of the most difficult challenges for an analyst: disambiguation of names (Cantu-Ortiz, 2018).

In this research, thesaurus (.txt file) were created for researchers and organizations names in order to avoid double counting and normalize spellings used before the networks were generated. To disambiguate the authors' names, information from the Lattes Curriculum (<http://lattes.cnpq.br>) and the Open Researcher and Collaborator ID - ORCID (<https://orcid.org/>) was used.

The files generated by VOSViewer were also exported to Gephi (<https://gephi.org>) and Pajek (<http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek>) software for additional topology calculations and behavior analysis of identified collaborative networks.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section is divided into two parts. The first one focuses on scientometric performance indicators, in which results obtained from databases prospection, publication evolution, dissemination channels applied, knowledge areas and fundings are discussed. In the second part, collaborative patterns between institutions and researchers are presented and analyzed, based on analysis of collaboration networks.

3.1. Analysis of Scientometric Indicators

In an advanced search in the WoS Core Collection, the ALL field label was chosen, because it finds articles with all terms listed in other field labels. Thus, 347 articles that mentioned the INCT E and A in the C1 field (author affiliation) were retrieved, indicating that at least one author had his affiliation linked to the Institute. After analyzing the titles, keywords, and abstracts, 42 articles were selected. This step was repeated in Scopus, but the AFFIL label

was used, as it searches for terms in fields referring to authors' affiliation. Thus, 54 articles that mentioned the INCT E and A were retrieved, and 13 articles aligned with the theme of this research were selected. Finally, 41 articles were retrieved using the term "biodiesel" on the INCT E and A website (<http://inct.cnpq.br/web/inct-e-a/artigos-publicados/>).

The articles obtained were cross-referenced to identify overlaps and eliminate duplications. This cross-examination was carried out through a comparison of the fields of title, journal name, year of publication, and DOI, leaving at the end 76 articles to compose the research corpus (Figure 1).

It is noteworthy that 24 (72.73%) of the 33 articles exclusively found on the INCT E and A website are also indexed in WoS. However, the authors did not mention the institute in the C1 field, which made it impossible to retrieve these articles by the search string used, revealing a standardization problem of affiliation of authors affiliated to INCT E and A.

The 76 articles retrieved and filtered from database are distributed in two periods: 2009-2014 (n = 56) and 2015-2020 (n = 20). Only 2 articles were indexed as reviews. English was the main language used (n = 56; 73.70%), followed by Portuguese (n = 20; 26.30%).

Figure 1: Number of articles retrieved with the biodiesel theme at INCT E&A and their intersections (2009-2020)

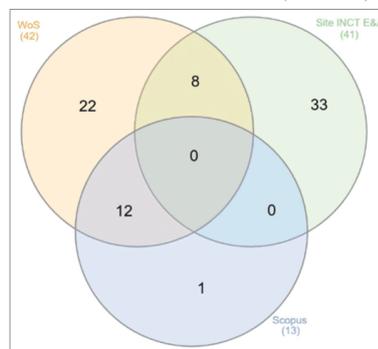
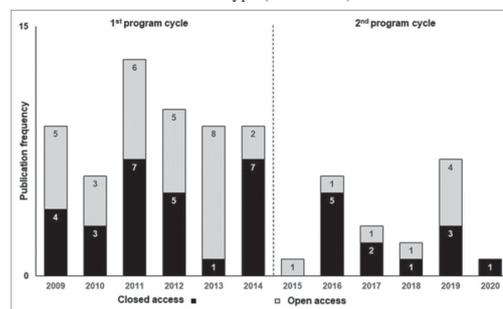


Figure 2: Number of articles published on biodiesel in INCT E&A by access type (2009-2020)



In Figure 2, it is possible to observe that researchers affiliated with INCT E and A have been publishing their research on biodiesel uninterruptedly since 2009. The publications peak took place in 2011 (n = 9; 17.11%), contributing to the program first cycle that concentrated 73.68% of publications. As of 2015, the number of published articles has dropped to an average number of 3 publications/year.

The decrease in research may have occurred due to a worsening of political and economic crisis that started in 2015, which culminated in impeachment of the President of the Republic in 2016, causing changes in managers in S and T agencies, budget cuts and priorities redefinition, affecting the funding of INCT institutes (Morel and Hauegen, 2017). Amid this turbulence in Brazil, the spending on scientific research has peaked to R\$ 13.97 billion in 2015, followed by a gradual drop to R\$ 5 billion in 2020 (Westin, 2020). As a result, the CNPq has an unpaid debt of about 30% of resources approved for the INCTs (Barreiro, 2020).

Figure 2 also shows how publications are disseminated in terms of access type. Out of the 76 articles, 39 (51.32%) were published in 19 restricted access journals, followed by 37 (48.68%) published in 15 open access journals. Overall, 28 (36.84%) articles were published in 7 national journals, all of which were open access. The average number of articles per journal was 2.24, showing a dispersion in research results' communication. The main journals are listed in Table 1.

Eight journals are listed in the JCR, two of which are Brazilian journals: Journal of the Brazilian Chemical Society (n = 8) and *Química Nova* (n = 5). The journal *Revista Virtual de Química* is also highlighted in Chart 2, which launched a special issue dedicated to INCT E and A in 2011, with four articles dedicated to research on biodiesel.

Overall, 66 (86.84%) articles are indexed in WoS, revealing researchers preference for publication in journals indexed in this base. Because of this, these articles were used to identify interaction pattern of different research areas according to WoS category classification.

Figure 3 shows a density map where it is possible to observe a strong interaction between the areas of multidisciplinary chemistry, chemical engineering, and energy and fuels, reinforcing the opinion of (Quintella et al., 2009) that chemistry permeates the entire biodiesel chain, being essential for its economic, environmental and technological viability.

Articles' acknowledgments were also analyzed because they offer an alternative path for funded research study, allowing to examine relationship between subsidies provided and registered knowledge production, in addition to revealing possible hidden collaborations of a non-financial nature that contributed to scientific production (Alvarez and Caregnato, 2018). Since 2018, the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Capes), a foundation within the Brazilian Ministry of Education, has made acknowledgment mandatory (Ministério da Educação, 2018).

In the database, 183 mentions of thanks for financial support were found in 53 (69.74%) articles, making an average of 3 mentions per article. The most cited funders were: Brazilian National Council for Scientific and Technological Development or CNPq (n = 54; 29.51%); Capes (n = 31; 16.94%); Funding Authority for Studies and Projects or Finep (n = 22; 12.02%); and State Research Support Foundations, especially FAPESB (n = 20; 10.93%) and FAPESP. Mentions of thanks for funding to the European Social Fund, the Portuguese Foundation for Science and Technology, and companies such as Petrobras were also identified.

27 non-financial acknowledgments were also identified, directed to teachers, laboratories and companies for: samples availability, technical and instrumental, intellectual and even moral support, revealing a hidden collaboration network that contributed to the works' production.

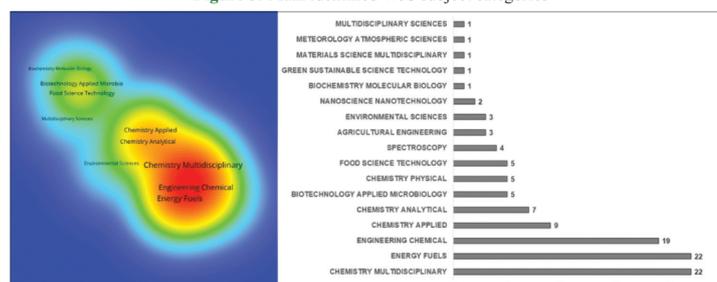
Finally, the number of institutions that participated in researches on biodiesel in partnership with INCT E and A was also collected (Figure 4). In all, 48 institutions were identified, among universities, research institutes and private companies from six countries, comprising Brazil, Portugal, USA, Belgium, Colombia and Tanzania. The strong interaction between UFBA

Table 1: Main periodicals used in research dissemination on biodiesel at institute of science and technology for energy and environment E and A (2009-2020)

Serial number	Title	QTT	Impact fator (2019)	Area/WoS quartile	Type*	Country
1	Fuel	8	5.578	Energy and Fuels (Q1) Chemical Engineering (Q1)	RA	England
2	Journal of the Brazilian Chemical Society	8	1.339	Multidisciplinary chemistry (Q3)	OA	Brazil
3	<i>Revista Virtual de Química</i>	6	-	-	OA	Brazil
4	<i>Cadernos de Prospecção</i>	5	-	-	OA	Brazil
5	Fuel Processing Technology	5	4.982	Química Aplicada (Q1) Energy and Fuels (Q2) Chemical Engineering (Q1)	RA	Netherlands
6	<i>Química Nova</i>	5	0.668	Multidisciplinary chemistry (Q4)	OA	Brazil
7	Energy and Fuels	4	3.421	Energy and fuels (Q2) chemical engineering (Q2)	RA	USA
8	Microchemical Journal	4	3.594	Analytical Chemistry (Q1)	RA	Netherlands
9	Biomass and Bioenergy	2	3.551	Agricultural Engineering (Q1) Energy and Fuels (Q2) Biotechnology and Applied Microbiology (Q2)	RA	England
10	Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy	2	3.086	Spectroscopy (Q1)	RA	England

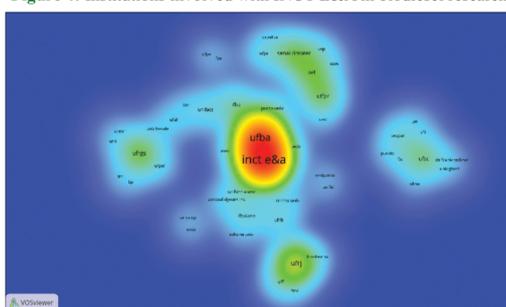
*Type: RA OA. Source: Prepared by the authors based on collected data from journal citation reports. RA: Restricted access, OA: Open access

Figure 3: Main identified WoS subject categories



Source: Prepared by the authors based on collected data from WoS core collection (2021). Note: Each of the 66 articles was indexed in two WoS categories on average

Figure 4: Institutions involved with INCT E&A in biodiesel research



Source: Prepared by the authors based on collected data from WoS core collection (2021)

and INCT E and A was expected, as this university is the institute's headquarters.

3.2. Analysis of Co-Authorship Indicators

After applying a deduplication process, 212 authors were found (average of 2.79 articles per author), with 111 (50.94%) female authors and 104 (49.06%) male authors. The authors were linked to 48 institutions, in which 31 of them were members of INCT E and A. UFBA concentrated 51.61% of the researchers affiliated to the institute.

Productivity of all authors was analyzed and it was found that 139 (65.57%) authors produced only one document, followed by 37 (14.45%) authors who produced 2 articles, 20 (9.43%) authors who produced between 3 and 4 articles and 16 (7.55%) with more than 5 articles produced, accounting for 38.82% of the publications.

All 76 articles were co-authored and many authors signed more than one article, resulting in a total of 407 co-authors. Articles with 6 co-authors ($n = 19$) was the most common. The lowest pattern of co-authorship was formed by 2 co-authors ($n = 5$) and the highest with 11 co-authors ($n = 1$). Table 2 presents the number of works co-authored by researchers directly affiliated to INCT E and A.

Overall, the average number of authors per document (collaboration index) was 5.29 and the average collaboration coefficient was 0.79, very close to 1. It indicates a strong pattern of co-authorship (Maia and Caregnato, 2008), which is to be expected for a multi-institutional and interdisciplinary program. In Figure 5, the collaboration coefficient remains above 70%, even with the drop in publications number observed during the 2nd cycle of the program, an indication of its existence.

3.3. Visualization and Analysis of the Co-Authorship General Network (2009-2020)

A co-authorship network represents a prototype of evolving complex networks with a non-trivial topological connection structure, which can be analyzed statically or dynamically (Barabási et al., 2002; Barabási and Pósfai, 2016; Newman et al., 2006).

Based on this assumption, undirected networks formed by circles and lines were created for the respective analyses. Each circle in a network represents an author and each line indicates a co-authorship relationship between two connected authors. Circles size indicates co-authored articles number, while the distance between two circles provides a proximity indication. Line thickness reveals "ties", that is, the thicker the line, the greater the relationship strength between the authors.

A co-authorship general network with research on biodiesel at INCT E and A from 2009 to 2020 is composed of 212 authors with 821 co-authorship relationships, distributed in 4 components (Figure 6a). The network formed only by authors affiliated to the institute (Figure 6b) has 31 authors and 43 co-authorship relationships, distributed in 8 components.

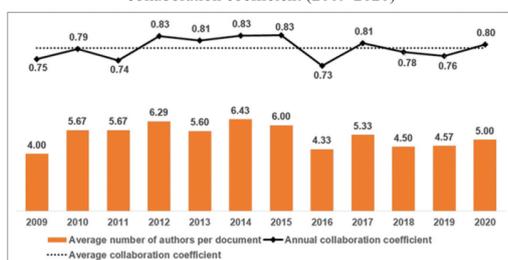
As it is a multi-institutional and interdisciplinary program, it was expected a greater integration between authors affiliated to INCT E and A, which would contribute in number reduction of components or even in a single component formation in researches on biodiesel.

Overall network density was 0.037, while network density of authors affiliated with the institute was 0.092, indicating that these networks are weakly connected. Nodes' connections of both networks have an average degree of 7.745 and 2.774, respectively.

Table 2: Co-authorships number related to biodiesel research established by institute of science and technology for energy and environment E and A Researchers (2009-2020)

Name	Number co-authorships	Name	Number co-authorships
Antônio Mangrich** (UFPR)	1	Leonardo Teixeira** (UFBA)	12
Artur Mascarenhas (UFBA)	1	Lilian Guarieiro (CIMATEC)	6
Carine Alves (UFBA)	2	Luiz Carvalho (UFBA)	2
Cláudia Zini (UFRGS)	1	Márcia Silva (UFRGS)	2
Claudio Mota** (UFRJ)	13	Marcos Bezerra (UESB)	1
Cristina Quintella (UFBA)	13	Maria Solci (UEL)	6
Daniel Borges (UFSC)	1	Maria das Graças Korn (UFBA)	9
Daniele Santos (UFBA)	2	Maria Vale** (UFRGS)	1
Ednildo Torres** (UFBA)	1	Mauro Korn (UFBA)	1
Egídio Guerreiro (CIMATEC)	13	Pedro Pereira** (UFBA)	1
Elina Caramão** (UFRGS)	6	Pérola Vasconcellos (USP)	2
Geovani Brandão (UFBA)	1	Rennan Araújo (UFBA)	1
Gisele Rocha (UFBA)	8	Rosângela Jacques (UFRGS)	2
Heloyza Andrade (UFBA)	4	Silvio Melo (UFBA)	2
Jailson Andrade* (UFBA)	11	Wilson Lopes (UFBA)	1
Laiza Krause (UNIT)	3		

*INCT E and A coordinator, **Management committee members. Source: Prepared by the authors based on available data in: <http://www.inct.cienam.ufba.br/quem-somos> and <http://inct.cnpq.br/web/inct-e-a/pesquisadores>. Access on 10/02/2021. INCT E and A: Institute of Science and Technology for Energy and Environment

Figure 5: Annual evolution of the collaboration index and the collaboration coefficient (2009-2020)

Source: Prepared by the authors

The 1st and main component of the general network is formed by 146 (68.87%) authors and 598 (72.84%) co-authorship relationships. It brings together the majority of researchers directly affiliated to INCT E and A (n = 23; 74.19%) and also linked to 8 different institutions: UFBA (n = 15), SENAI CIMATEC (n = 2), and USP, UFSC, UFPB, UFPR UESB and UEL (n = 1). These 23 researchers (Figure 7) gave an inter-institutional network character and supported most of the research on biodiesel at INCT E and A.

The second largest component (n = 34; 16.04%) has 6 (19.35%) researchers affiliated to the institute and UFRGS (n = 5) and UNIT (n = 1). Then comes the third (n = 25; 11.79%) and fourth (n = 7; 3.30%) components. Both of them have only one researcher affiliated to INCT E and A and to UFRGS and UFBA, respectively.

Regarding cluster formation, the Association Strength method (Waltman et al., 2010) with a 0.80 clustering resolution was applied in VosViewer, resulting in 15 clusters or communities (Figure 6) with their own sets of research subjects, which may be unique, complementary or even overlapping. Clusters 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 and 9 stand out as they house the most productive researchers affiliated with INCT E and A (Chart 3).

Clusters number also indicates research topics diversity related to biodiesel within INCT E and A scope, involving from production residues use such as glycerin (Mota et al., 2009, 2016), inorganic and organic contaminants analyzes and quality control (Cazarolli et al., 2012; Quadros et al., 2011), vehicle emissions evaluation from biodiesel and mineral diesel mixture (Ferreira et al., 2013; Guarieiro et al., 2014), to biodiesel technological prospection (Quintella et al., 2009).

3.4. Topology of the Co-Authorship General Network

Topological analysis was performed from a structural analysis of the 1st component, which houses 68.87% of the connected authors, through application of Watts and Strogatz method (WATTS; STROGATZ, 1998) in order to identify a small world structure network, in which most connections are established between the closest vertices and the average shortest path between any of two vertices does not exceed a small number of vertices.

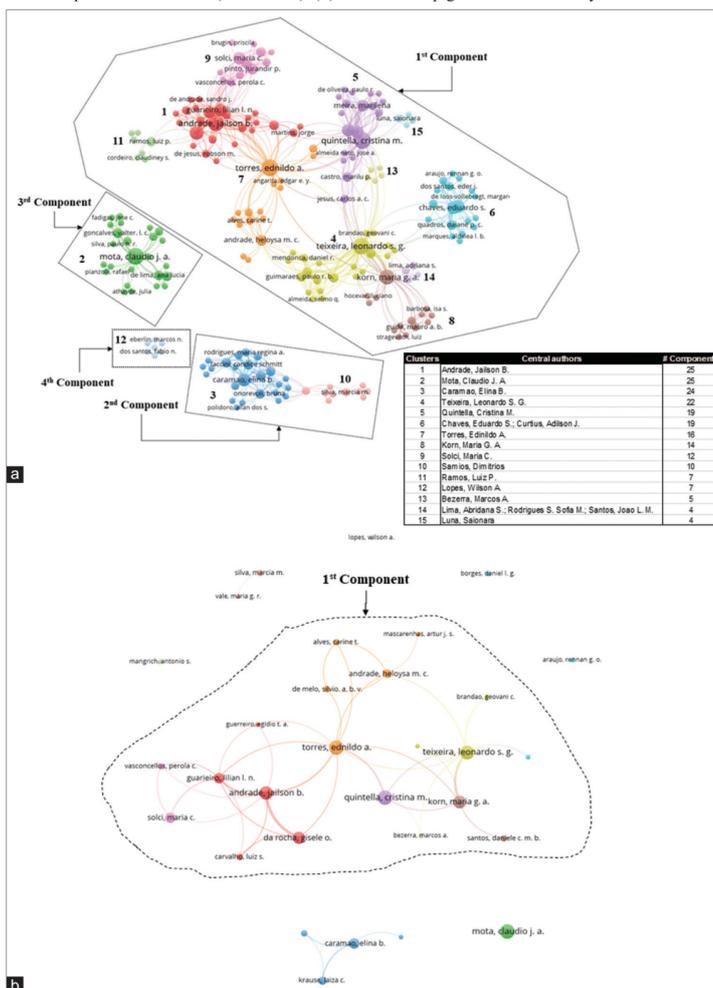
In order to do this, a random network of similar size to the 1st component was created, using the model proposed by (Erdős and Rényi, 1960). Then, the average shortest paths and agglomeration coefficients of both networks were compared.

Agglomeration coefficient obtained in the random network (0.023) was much smaller than agglomeration coefficient of the 1st component (0.869), while the average shortest paths of both networks were similar (random network = 3.610 and 1st component = 3.059), indicating existence of the small world structure in the network investigated in this study. Therefore, it is an efficient network for transmission of information and resources among its participants.

Another metric based on network topological analysis concerns degree centrality in order to know connections number established by the authors, identifying the most influential ones.

In the analyzed network, it was observed that degree distribution is not equal (Figure 8) and fits well to a power law ($P(k) \sim k^{-\gamma}$),

Figure 6: (a) Co-authorship General Network (2009-2020). (b) Co-authorship general network only with researchers affiliated to INCT



Source: Prepared by the authors

where $k > 0$ and $\gamma > 0$), indicating that it fits the scale-free network model, resistant to random or accidental failures, but extremely vulnerable to coordinated attacks.

Figure 7 shows the authors who published the most in partnership with other authors, having a connection number that far exceeds network average degree ($\mu = 7.745$). These authors are the network hubs and they were selected taking into account the sum of network average degree plus two standard deviations.

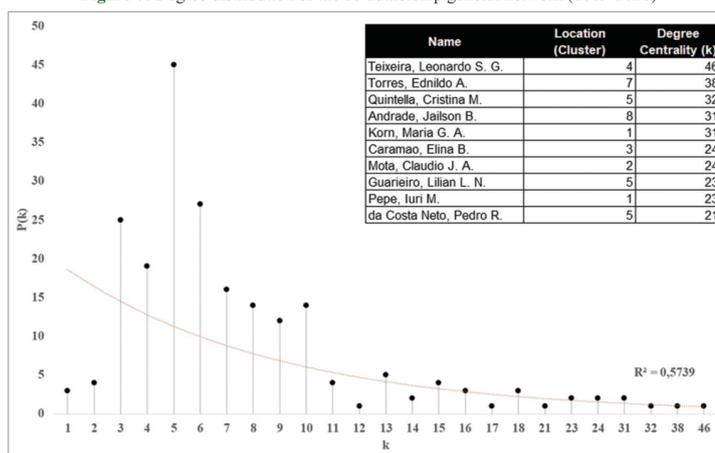
Hubs can increase their number of connections as a new researcher enters the network, because they tend to connect with the most connected author(s). Thus, a network evolution is governed by

preferential binding (Barabási and Pósfai, 2016).

Furthermore, it is assumed that the authors selected as hubs are influential researchers, with active relationships with other high-level authors and resources holders to carry out research, for example: among ten authors with the highest degree centrality, there are five management committee members and the INCT E and A coordinator (Table 2).

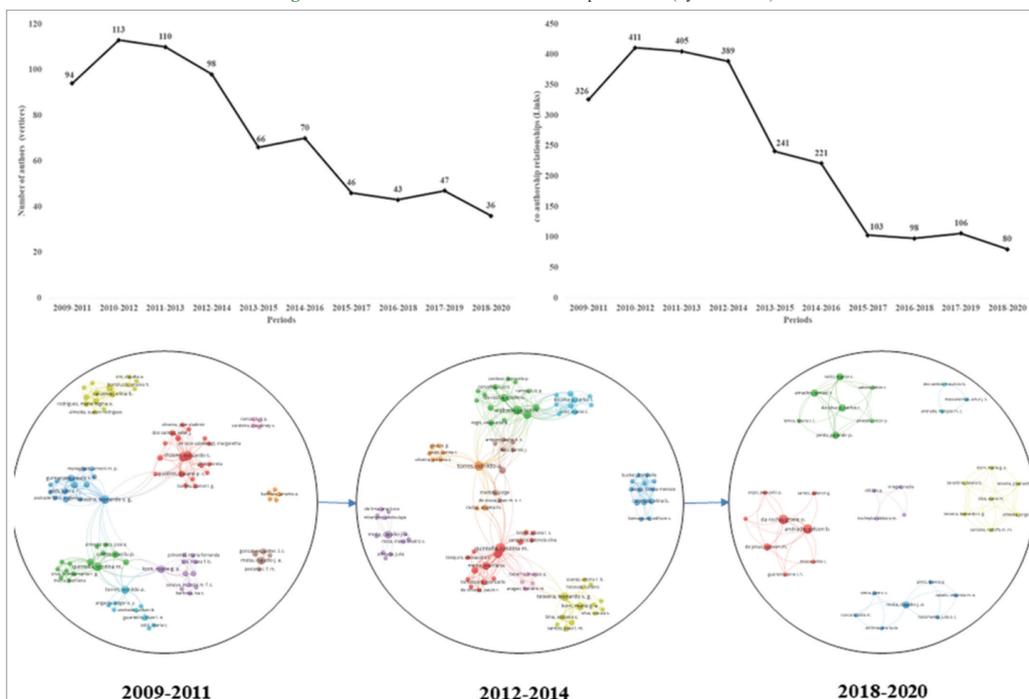
As degree centrality does not always capture vertex importance, betweenness centrality was used to identify authors who contributed the most to the network functioning, and which would cause more impact if they were removed from it. The eigenvector

Figure 7: Degree distribution of the co-authorship general network (2009-2020)



Source: Prepared by the authors

Figure 8: Evolution of mobile co-authorship networks (by triennium)



Source: Prepared by the authors

centrality was also calculated to indicate an author importance in terms of his relationship with other relevant authors in the network. Both centralities were calculated from the 1st component.

Altogether, 44 (30.14%) of the authors of the 1st component had some intermediation degree of co-authorship relationships, but few of them had a high degree, making the distribution a power

law type. Six of the ten authors with a high intermediation degree are in the identified hubs group, highlighting: Ednildo A. Torres, Leonardo S. G. Teixeira, Cristina Quintella and Jailson Andrade. They represent main bridges between distinct clusters (Figure 6).

In the case of eigenvector centrality, eight of the ten hubs identified have the highest indices of this metric and the aforementioned authors occupy the first positions when it comes to establishing links to other relevant authors in the network.

3.5. Dynamic Analysis of the Co-authorship General Network

In order to verify dynamically the co-authorship general network development, 10 networks with 3-year mobile intervals were built to cover the entire analysis period. Figure 8 clearly shows a reduction of authors and authorship relationships numbers, also exemplified in three different networks, the last one being less dense and fragmented.

Comparing the two program cycles (2009-2014 and 2015-2020), it was possible to infer that the network entered a rapid decline process soon after first cycle end, which was also verified in published articles number on biodiesel by INCT E and A researchers (Figure 2).

When checking the number of works co-authored by the hubs (Figure 7) between the program's first and second cycles, it was observed that four hubs of the 1st component did not produce any articles. All the others showed a significant reduction in the produced articles number, with emphasis on the two authors with the highest degree and intermediation centralities, who reduced their respective productions by around 81%.

As the co-authorship network fits the scale-free network model, this hubs demobilization had an effect of a "coordinated attack" that contributed to the network fragmentation and affected established inter-institutional partnerships. Only 8 (16.33%) of the 48 institutions identified in this research collaborated in articles production in the last triennium (2018-2020) of the second cycle.

4. CONCLUSION

In this article, production and articulations of 31 INCT E and A researchers with 181 co-authors from 48 institutions in 76 articles related to biodiesel research from 2009 to 2020 were analyzed, through scientometric analysis, and complex and social networks.

The scientometric analysis provided an overview of biodiesel researches carried out by INCT E and A researchers and provided a series of information that deserves to be highlighted.

The search strategy used in data collection revealed that publications number involving biodiesel theme produced by researchers affiliated to INCT E and A is 13.43% higher than that registered in the INCT E and A repository (<http://inct.cnpq.br/web/inct-e-a>) or in evaluation reports. This undersizing was caused by institution's name indexing errors by the authors,

which can harm the program's evaluation since many funding agencies use bibliometric and scientometric indicators to release funds.

There was a high level of collaboration between researchers from different research domains. However, the biodiesel theme attracts less and less attention from INCT E and A researchers, which led to a considerable reduction in published articles number between the first and second cycles of the program. Factors such as budget cuts in R and D, departure of researchers affiliated to the program or even lack of interest in the subject may have contributed to the drop in publications number.

The analysis of acknowledgments of a non-financial nature present in the articles revealed a hidden collaboration that contributed to the works production, involving laboratories and other researchers. The co-authorship network analysis revealed, in an intuitive and friendly way, a hidden structure of researchers involved with the biodiesel theme that could not be captured by traditional research methods.

The network consisted of 4 components and 15 clusters with thematic affinities. Its largest component gathered 74.19% of the 31 researchers directly affiliated to INCT E and A. These researchers gave an inter-institutional network character and supported most of the research on biodiesel.

The topological analysis showed that the network fits the scale-free network model, where few researchers concentrate most of co-authorship reactions and presents a small world characteristic, which makes it efficient in transmitting information and resources among its participants.

When dynamically comparing the co-authorship network, there was a significant reduction in articles production by authors with the highest degree, intermediation and eigenvector centralities, causing the network fragmentation in the program 2nd cycle, and also affecting established inter-institutional partnerships number.

Demobilization of the INCT E and A biodiesel research network took place during the period in which Brazil chose biofuels as a strategy for decarbonizing transport matrix through the National Biofuels Policy (RenovaBio) (Presidência Da República, 2017).

Not by chance, the MCTI's science, technology and innovation plan for renewable energies and biofuels classifies the need to strengthen INCT E and A and RBTB as essential to help overcome technological challenges that will need to be faced in order to increase biodiesel share in national energy matrix in the coming years (MCTIC, 2018).

Finally, analyzes presented here are not exhaustive, as they were limited to biodiesel research, published in peer-reviewed articles. However, the strategy of collecting information, scientometric analysis, and complex and social networks can be used throughout INCT E and A production and other research institutes, helping managers of these institutes in an effective planning of research activities.

5. ACKNOWLEDGMENT

To the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the Research Project in the Universal Public Notice 01/2016 (Process n. 428065/2016-3) and FAPESB – Young Scientist Public Notice.

PRPGI-IFBA - Pró-Reitoria de Pesquisa de Inovação do Instituto Federal da Bahia

REFERENCES

- Alvarez, G.R., Caregnato, S.E. (2018), Agradecimentos por financiamento na produção científica brasileira representada na web of science. Em *Questão*, 24, 48-70.
- Andrade, J.B., Lopes, W.A. (2012), Conectando ciência, tecnologia e inovação. *Parcerias Estratégicas*, 16(32), 32.
- ANFAVEA. Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores. O Caminho da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil. Available from: https://anfavea.com.br/docs/apresenta%3%87%3%83o_anfavea_e_bcg.pdf.2021
- Barabási, A.L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., Vicsek, T. (2002), Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3), 590-614.
- Barabási, A.L., Pósfai, M. (2016), *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barreiro, E. (2020), Coordenadores de INCTs se Reúnem Para Avaliar Situação do Programa no País. Available from: <https://jcnoticias.jornaldaciencia.org.br/17-coordenadores-de-incts-se-reunem-para-avaliar-situacao-do-programa-no-pais>
- Bosio, C.G.P., Fujimoto, R.H.P., de Souza, M.B.C.P., Bosio, M., (2019), Pesquisa translacional: O desempenho dos institutos nacionais de ciência e tecnologia na área da saúde. *Saúde em Debate*, 43(SPE2), 48-62.
- Brasil. Presidência da República. Diário Oficial da União, Lei no 13.576, de 26 de dezembro de 2017 Dec 26, 2017. Deals with the National Biofuels Policy (RenovaBio) and other provisions. Available in: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2017/lei-13576-26-dezembro-2017-786013-publicacaooriginal-154631-pl.html> [Last accessed on 2022].
- Cantu-Ortiz, F.J. (2018), Research Analytics: Boosting University Productivity and Competitiveness through Scientometrics. Available from: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1622716>
- Cazarolli, J.C., Bucker, F., Manique, M.C., Krause, L.C. (2012), Suscetibilidade do biodiesel de sebo bovino à biodegradação por *Pseudallescheria boydii*. *Brazilian Journal of Bioscience*, 10(3), 251-257.
- CGEE. (2019), Relatório Anual do Aprimoramento da Gestão de Programas Estratégicos Coordenados Pelo CNPq. Maharashtra: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. p63.
- CNPq. (2021), Institutos. Available from: <https://inct.cnpq.br/institutos>
- Cobo, M.J., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. (2011), Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382-1402.
- Da Silva, J.A., Bianchi, M.D.L.P. (2001), Cientometria: A métrica da ciência. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, 11(21), 5-10.
- De Andrade, J.B., Guarieiro, L.L.N. (2011), Especial dedicado ao INCT de energia and ambiente. *Revista Virtual de Química*, 3(5), 20110040.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis-Ano 2021. Available from: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/publicacoesarquivos/publicacao-688/NT-EPE-DPG-SDB-2022-02_analise_de_conjuntura_dos_biocombustiveis_2021.pdf.2022
- Erdős, P., Rényi, A. (1960), On the Evolution of Random graphs. Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences, 5, 17-61.
- Ferreira, V.P., Martins, J., Torres, E.A., Pepe, I.M., De Souza, J.M.S.R. (2013), Performance and emissions analysis of additional ethanol injection on a diesel engine powered with A blend of diesel-biodiesel. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 649-657.
- Freitas, C.C. (2013), *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. 2nd ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale.
- Guarieiro, A.L.N., Santos, J.V., Eiguren-Fernandez, A., Torres, E.A., da Rocha, G.O., de Andrade, J.B. (2014), Redox activity and PAH content in size-classified nanoparticles emitted by a diesel engine fuelled with biodiesel and diesel blends. *Fuel*, 116, 490-497.
- INCT EA. (2020), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energia e Ambiente. Available from: <https://www.inct.cienam.ufba.br>
- Kitchenham, B., Brereton, P. (2013), A systematic review of systematic review process research in software engineering. *Information and Software Technology*, 55(12), 2049-2075.
- Knoke, D., Yang, S. (2008), *Social Network Analysis*. United States: SAGE Publications, Inc.
- Knothe, G., Gerpen, J.V., Krahl, J. (2018), *Manual de Biodiesel*. 2nd ed. Jutland: Blucher, p352.
- Macedo, M.M. (2015), Sistema regional de CT&I do nordeste. *Parcerias Estratégicas*, 20(41), 28.
- Maia, M.F.S., Caregnato, S.E. (2008), Co-autoria como indicador de redes de colaboração científica. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 13(2), 18-31.
- MCTIC. (2016), *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022*. Brasília: Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações.
- MCTIC. (2018), *Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação Para Energias Renováveis e Biocombustíveis: 2018-2022*. Brasília: Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações. p58.
- Menezes, R.S. (2016), *Biodiesel no Brasil: Impulso Tecnológico*. 1st ed., Vol 1. Brazil: UFLA.
- MME. Ministério da Ciência Tecnologia. (2008), *Diário Oficial da União*. Portaria: Ministério da Ciência Tecnologia Portaria.
- MME. Ministério da Educação. (2018), *Diário Oficial da União*. Portaria: Ministério da Educação.
- MME. Ministério de Minas e Energia. (2021), *Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. Biodiesel. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- Monteiro, M.R., Ambrozin, A.R.P., Lião, L.M., Ferreira, A.G. (2008), Critical review on analytical methods for biodiesel characterization. *Talanta*, 77(2), 593-605.
- Morel, C., Haugen, R. 2017. Ascensão, Queda e Ressurreição dos INCTs. Valor Econômico. Available from: <https://valor.globo.com/opiniao/coluna/ascensao-queda-e-ressurreicao-dos-incts.ghtml>
- Morel, C.M., Serruya, S.J., Penna, G.O., Guimarães, R. (2009), Co-authorship network analysis: A powerful tool for strategic planning of research, development and capacity building programs on neglected diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 3(8), e501.
- Mota, C.J.A., Da, Silva, C.X.A., Gonçalves, V.L.C. (2009), *Glycerochemistry: New products and processes from glycerin of biodiesel production*. *Química Nova*, 32(3), 639-648.
- Mota, C.J.A., Gonçalves, V.L.C., Mellizo, J.E., Rocco, A.M., Fadigas, J.C., Gambetta, R. (2016), Green propene through the selective hydrogenolysis of glycerol over supported iron-molybdenum catalyst: The original history. *Journal of Molecular Catalysis A*

- Chemical, 422, 158-164.
- Newman, M.E.J., Barabási, A.L., Watts, D.J. (2006), The structure and dynamics of networks. United States: Princeton University Press.
- Osabe, Y., Jibu, M. (2018), Introductory Chapter: Scientometrics. In *Scientometrics*. London: IntechOpen. Available from: <https://www.intechopen.com/books/scientometrics/introductory-chapter-scientometrics>
- Quadros, D.P.C., Chaves, E.S., Silva, J.S.A., Teixeira, L.S.G., Curtius, A.J., Pereira, P.A.P. (2011), Biodiesel: Contaminants and quality control. *Revista Virtual de Química*, 3(5), 385-405.
- Quintella, C.M., Teixeira, L.S.G., Korn, M.G.A., Neto, P.R.C., Torres, E.A., Castro, M.P., Jesus, C.A.C. (2009), Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: Uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. *Química Nova*, 32(3), 793-808.
- Ramos, L.P., Kothe, V., César-Oliveira, M.A.F., Muniz-Wypych, A.S., Nakagaki, S., Krieger, N., Wypych, F., Cordeiro, C.S. (2017), Biodiesel: Raw Materials, Production Technologies and Fuel Properties. *Revista Virtual de Química*, 9(1), 317-369.
- REN21, Renewable Energy Data in Perspective. (2022), France: REN21 Renewables now. Available from: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf [Last accessed on 2023].
- Rezende, M.J.C., de Lima, A.L., Silva, B.V., Mota, C.J.A., Torres, E. A., da Rocha, G.O., Cardozo, I.M.M., Costa, K.P., Guarieiro, L.L.N., Pereira, P.A.P., Martinez, S., de Andrade, J.B. (2021), Biodiesel: Na overview II. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32(7), 1301-1344.
- Ribeiro, V.S., Da Rocha Silva, M.A. (2020), Política pública do biodiesel no Brasil: Uma análise na perspectiva do ciclo das políticas públicas. *DRd Desenvolvimento Regional Em Debate*, 10, 833-861.
- Scott, J. (2011), Social network analysis: Developments, advances, and prospects. *Social Network Analysis and Mining*, 1(1), 21-26.
- Silva, M.S., Fernandes, F.M., Teixeira, F.L.C., Torres, E.A., Rocha, A.M. (2014), Biodiesel and the "social fuel seal" in Brazil: Fuel of social inclusion? *Journal of Agricultural Science*, 6(11), 212.
- Silva, M.S., Teixeira, F.L.C., Torres, E.A., Rocha, A.M., Freires, F.G.M., Santos, T.B., De Jong, P. (2014), Biodiesel in Brazil: A market analysis and its economic effects. *Journal of Agricultural Science*, 6(8), 160.
- Suarez, P.A.Z., Meneghetti, S.M.P. (2007), 70 aniversário do biodiesel em 2007: Evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*, 30(8), 2068-2071.
- Torres, E. (2008), Experiência da UFBA na produção de biocombustíveis. *BiodieselBR*, 4, 8.
- Van Eck, N.J., Waltman, L. (2010), Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Van Eck, N.J., Waltman, L. (2014), Visualizing bibliometric networks. In: Rousseau, Y.D.R., Wolfram, D., editors. *Measuring Scholarly Impact*. Germany: Springer International Publishing. p285-320.
- Vanti, N.A.P. (2002), Da bibliometria à webometria: Uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação*, 31(2), 369-379.
- Vieira, R.P., Monteiro R.L.S., Pereira, H.B.B., de Andrade, J.B., Guarieiro, L.L.N. (2016), Scientific collaboration networks of the "energy and environment INCT. *Revista Virtual de Química*, 8(4), 1234-1248.
- Waltman, L., van Eck, N.J., Noyons, E.C.M. (2010), A Unified Approach to Mapping and Clustering of Bibliometric Networks. *Journal of Informetrics*, 4(4), p. 629-635.
- Westin, R. (2020), Corte de Verbas da Ciência Prejudica Reação à Pandemia e Desenvolvimento do País. Agência Senado. Available from: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2020/09/corte-de-verbas-da-ciencia-prejudica-reacao-a-pandemia-e-desenvolvimento-do-pais>
- Zupic, I., Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), pp. 429-472.

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA
CEP: 40.210-630
Telefone: (71) 3283-9800
E-mail: pei@ufba.br
Home page: <http://www.pei.ufba.br>

