



Universidade de Aveiro
2022

**Michael André
Correia Nunes**

Estudo da Incorporação de Biodiesel no Mercado Português

Analysis of the Biodiesel Incorporation in the Portuguese
Market



**Michael André
Correia Nunes**

Estudo da Incorporação de Biodiesel no Mercado Português

Analysis of the Biodiesel Incorporation in the Portuguese Market

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar com Agregação, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de Doutor Fernando José Neto da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação teve o apoio dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145 FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

“Importante não é ver o que ninguém nunca viu, mas sim, pensar
o que ninguém nunca pensou sobre algo que todo o mundo vê”
Arthur Schopenhauer

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Doutora Cristina Sofia Rebelo Borges Correia
Diretora de I&D e Inovação da *Prio Energy*

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

A presente dissertação resultou do contributo de diversas pessoas e entidades, que tiveram um papel determinante para o desenvolvimento deste documento, que é o culminar de um longo percurso académico. Em seguida, endereço de forma particular alguns agradecimentos.

À Professora Doutora Margarida Coelho e ao Professor Doutor Fernando Neto, pelo contínuo acompanhamento, sugestões e apoio manifestados ao longo destes meses de trabalho. O seu traquejo foi de sobremaneira importante na orientação deste documento e por isso lhes estou grato.

À Doutora Ana Sofia Ramos Brásio, da Prio, pelos esclarecimentos prestados acerca do tema e pela elucidativa visita proporcionada à unidade de produção da Prio.

À Doutora Cristina Correia, da Prio, por a disponibilidade em colaborar com o trabalho desenvolvido.

À Doutora Maria Céu Saagua, da ENSE, pela disponibilidade demonstrada e pelos esclarecimentos concedidos acerca da realidade dos biocombustíveis no contexto energético nacional.

Ao engenheiro João Vieira, da Carris, por o testemunho e dados fornecidos acerca do projeto de introdução de biodiesel em determinadas viaturas da empresa.

A todos os professores que fizeram parte do meu percurso académico, sobretudo aos docentes do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. A experiência, dedicação e profissionalismo por estes colocada na transmissão de conhecimentos, constituíram uma mais valia para a minha formação académica e, decerto, para o meu futuro profissional. Um agradecimento especial ao meu professor do ensino primário, Joaquim Prata, pelo interesse e curiosidade que desde cedo despertou em mim e pelos valores, brio e disciplina transmitidos, que tantas vezes me foram úteis ao longo destes anos de estudo.

Por fim, mas não menos importante, um agradecimentos a todos os amigos e familiares que me apoiaram incondicionalmente nesta caminhada e que permitiram muitos bons momentos além do trabalho académico. Um agradecimento especial aos meus pais e aos meus avós, pelo exemplo que representam para mim e por o carinho e apoio que sempre demonstraram.

Keywords

Biodiesel, Biofuels, Life Cycle Assessment, Incorporation, Sustainability, Production, Emissions, Performance

Abstract

Nowadays, it is increasingly important to reduce the consumption of resources and the emission of pollutants. The transport sector is one of the biggest responsible for the emission of polluting matter, but also one of the sectors that our lifestyle depends the most. Vehicles powered by ICE continue to represent more than 90% of the automotive fleet, also continuing to be dominant in the sale of new vehicles. It is therefore important to study alternative fuels that mitigate their ecological footprint, while promoting a gradual transition to fully sustainable mobility.

This study aims to analyze the incorporation of biofuels in conventional fuels, with a special focus on diesel vehicles, whose transition process to clean energy proves to be more complex and time-consuming, especially in terms of long-distance heavy vehicles. The processes for obtaining biofuels and their production, the sustainability of their production, the technical and environmental limitations to their expansion, as well as the associated legislation and environmental ambitions are all analyzed. The main geography under study is the Portuguese territory, but a continuous parallelism with the European reality is made.

Through a global analysis, the impacts of several external and internal factors to biodiesel are evaluated, identifying challenges and opportunities to its penetration in the energy market. Biodiesel obtained from waste materials such as *Used Cooking Oil* (UCO) is a sustainable fuel with serious potential to assist Portugal in meeting its environmental targets.

Palavras-chave

Biodiesel, Biocombustíveis, Avaliação Ciclo de Vida, Incorporação, Sustentabilidade, Produção, Emissões e Desempenho

Resumo

Vive-se num mundo onde cada vez mais importa reduzir o consumo de recursos e a emissão de matéria poluente. O sector dos transportes, é um dos maiores responsáveis pela emissão de matéria poluente, mas também um dos sectores de que o modo de vida atual mais depende. As viaturas movidas a MCI continuam a representar mais de 90% dos parques automóveis nacionais, continuando também a ser dominantes na venda de viaturas novas. Importa por isso estudar combustíveis alternativos que mitiguem a sua pegada ecológica, ao passo que se promove uma transição gradual para uma mobilidade inteiramente sustentável.

Este estudo pretende analisar a incorporação de biocombustíveis no combustível comum, com especial enfoque nos veículos a gasóleo, cujo processo de transição para energias limpas demonstra ser mais complexo e moroso, sobretudo ao nível dos veículos pesados de longo curso. São alvo de análise os processos de obtenção dos biocombustíveis e a sua produção, a sustentabilidade da sua obtenção, as limitações técnicas e ambientais à sua expansão, bem como a legislação e ambições ambientais associadas. A principal geografia em estudo é o território português, no entanto é efetuado um contínuo paralelismo com a realidade europeia.

Através de uma análise global, avaliam-se os impactos dos diversos fatores externos e internos ao biodiesel, identificando-se desafios e oportunidades à sua penetração no mercado energético. O biodiesel obtido a partir de matérias residuais como os Óleos Alimentares Usados (OAU), revela-se um combustível sustentável com sério potencial para auxiliar Portugal no cumprimento das suas metas ambientais.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Situação Energética	2
1.2	Situação Energética em Portugal	4
1.3	O Sector dos Transportes	5
1.4	Metas Europeias	9
1.5	Metas Nacionais	12
1.6	Biocombustíveis	14
1.6.1	Tipos de Biocombustíveis	15
1.6.2	História e Evolução	17
1.7	Outros Combustíveis de Origem Renovável	18
1.7.1	HVO - Hydrogenated Vegetable Oils	18
1.7.2	RCF - Recycled Carbon Fuels	20
1.7.3	Combustíveis Sintéticos/E-Fuels	20
1.8	Motivação	21
1.9	Objetivos	21
1.10	Estrutura da Dissertação	22
2	Biodiesel: Propriedades e Enquadramento regulamentar	23
2.1	O que é o FAME?	23
2.2	Propriedades do Biodiesel	24
2.3	Limitações à Incorporação de Biodiesel: Desempenho, Durabilidade e Emissão de poluentes	26
2.3.1	Incorporação de Biodiesel em Situações de Utilização Real	31
2.4	Enquadramento Regulamentar e Certificações	32
2.4.1	Títulos de Biocombustíveis	33
2.4.2	Taxa de Incorporação	34
2.4.3	Normas Europeias (EN) aplicáveis ao Biodiesel	35
2.4.4	Certificações	35
2.5	Síntese Conclusiva	36
3	Produção de Biodiesel: Processos de Obtenção, Capacidade e Matérias-primas	37
3.1	Processos de Obtenção de Biodiesel	37
3.1.1	O que fazer com os co-produtos da Produção de Biodiesel?	41
3.2	Matérias-primas do Biodiesel	43

3.3	Produção Nacional de Biocombustíveis	44
3.3.1	Produção por Matéria-prima	46
3.3.2	Produção Europeia	46
3.3.3	Perspetivas Futuras	47
3.4	Reciclagem e Valorização de Óleos Alimentares Usados	49
3.5	Síntese Conclusiva	51
4	O Biodiesel no Contexto do Parque Automóvel Nacional	53
4.1	Evolução do Registo de Veículos ligeiros	53
4.2	Evolução do Registo de Veículos pesados e agrícolas	55
4.3	A Compatibilidade do Parque automóvel	56
4.4	Síntese Conclusiva	57
5	Avaliação Ciclo de Vida	59
5.1	O que é uma ACV?	59
5.2	Revisão da ACV do Biodiesel	62
5.3	Síntese conclusiva	71
6	Análise dos Desafios e Oportunidades Futuras	73
6.1	Desafios e Oportunidades Futuras	73
6.2	Análise PESTEL	75
6.3	Análise SWOT	77
7	Conclusão e Trabalhos Futuros	79
	Referências Bibliográficas	81
A	Matérias-primas e combustíveis elegíveis à emissão de 2 TdB por tep de biocombustível sustentável	91

Lista de Tabelas

1.1	Introdução de energias renováveis segundo a RED II [21]	11
1.2	PNEC 2030: Consumo de energias renováveis no sector dos transportes, por fonte de energia, em ktep [18].	13
2.1	Propriedade do biodiesel FAME face ao gasóleo comum (adaptado de [17]).	24
2.2	Problemas resultantes do uso de elevadas misturas biodiesel em MCI [54] [60].	29
2.3	Consumos registados no projeto piloto de introdução de B100 pela Carris (adaptado de [63]).	32
2.4	Principais Decretos-Lei por que se rege o mercado português de biocombustíveis [65].	33
2.5	Incorporação de biocombustíveis nos combustíveis rodoviários introduzidos no mercado.	35
3.1	Principais processos de obtenção de biodiesel (adaptado de [50], [52], [70] e [71]).	38
3.2	Impacto ambiental associado à obtenção de biodiesel a partir de diferentes fontes de matéria-prima, segundo a RED II (adaptado de [21]).	44
3.3	Quantidade produzida e matéria-prima utilizada por os Produtor de Regime Geral (PRG) em Portugal [48].	45
4.1	Idade dos veículos ligeiros em circulação em Portugal [110].	54
4.2	Características dos veículos pesados e máquinas agrícolas em circulação em Portugal [11] [110].	55
4.3	Taxas de incorporação de biodiesel autorizadas pelos principais fabricantes de veículos pesados para viaturas EURO VI (adaptado de [121]).	57
5.1	Diferentes ACV de Biodiesel a partir de OAU.	63
5.2	Impacto sob o aquecimento global do processo de obtenção de biodiesel a partir de OAU.	70

Página intencionalmente em branco

Lista de Figuras

1.1	Evolução do consumo mundial de energia primária [EJ] [5].	2
1.2	Emissões mundiais de CO ₂ [6].	3
1.3	Consumo de energia primária por região mundial [EJ] (adaptado de [5]).	3
1.4	Consumo de energia primária em Portugal por fonte [ktep] [7].	4
1.5	Consumo de energia primária em Portugal por sector, em 2020 (esq.) e ao longo dos últimos anos (dir.) [ktep] [7].	5
1.6	Repartição do consumo nacional de energia no sector dos transportes por modo, em 2019 [7] *respeitante apenas ao consumo registado entre os limites de fronteira portugueses.	6
1.7	Consumo de combustível em Portugal [7].	7
1.8	Emissões de NO _x (esq.) e Matéria Particulada (dir.) pelo modo de transporte rodoviário na União Europeia (adaptado de [13]).	7
1.9	Emissões de CO ₂ associadas ao modo de transporte rodoviário na União Europeia, por comparação com os valores de 1990 (adaptado de [15]).	8
1.10	Emissões de CO ₂ associadas ao sector dos transportes em Portugal e respetivas metas anuais (adaptado de [16]).	9
1.11	Ambições do PNEC 2030: GEE [18].	12
1.12	Evolução expectável do consumo de energia primária em Portugal [24].	13
1.13	Evolução das emissões de CO ₂ no sector dos transportes e respetiva percentagem de incorporação de energias renováveis no sector (face ao consumo total de energia) [24].	14
1.14	Tipos de biocombustível segundo o Decreto-Lei n.º 62/2006 [26].	15
1.15	Constituição do combustível renovável "R33" desenvolvido pelo grupo Volkswagen [40].	19
1.16	Processo de obtenção de combustíveis sintéticos [43].	21
2.1	Emissões associadas à utilização de combustível obtido a partir de óleo de colza com diferentes incorporações de biodiesel num motor de injeção direta, turbo-alimentado, em regime de carga máxima do motor [59].	28
2.2	Autocarros da carris movidos integralmente a biodiesel [63].	31
3.1	Reação de Transesterificação [17].	39
3.2	Processo de Transesterificação completo.	39
3.3	Variantes da reação de transesterificação.	40
3.4	PRG de biocombustíveis em Portugal. [48]	45
3.5	Matéria-prima do biodiesel FAME produzido em Portugal [48].	46

3.6	Produção de biodiesel na UE por matéria-prima em 2021 (esq.) e evolução da quantidade produzida por matéria-prima (dir.) em milhões de toneladas [89] [90].	47
3.7	Ciclo de valorização dos OAU segundo uma infografia da Prio [103].	49
4.1	Evolução previsível da constituição do parque automóvel português em termos de fonte energética [113].	54
5.1	Estrutura de uma ACV segundo a ISO 14040:2016 [124].	60
5.2	Condições de fronteira e respetivo diagrama de blocos de uma ACV [125].	61
5.3	Indicadores intermédios e indicadores finais de uma ACV [126].	61
5.4	Impacto ambiental por categoria, de ambas as matérias-primas [127].	64
5.5	Impacto ambiental global associado aos vários tipos de biodiesel e diesel comum, tendo por base o método ReCiPe [130].	66
5.6	Impacto ambiental relativo às várias fases do processo de obtenção de biodiesel a partir de OAU por comparação com o gasóleo convencional [133].	67
5.7	Impacto ambiental sob o aquecimento global (superior) e distribuição percentual do consumo energético (inferior) para diferentes matérias residuais [134].	68
5.8	Impacto ambiental das várias matérias-primas na obtenção de biodiesel [140].	69
6.1	Análise PESTEL à penetração do biodiesel em Portugal	76
6.2	Análise SWOT à penetração do biodiesel em Portugal	77

Nomenclatura

- ACAP** Associação Automóvel de Portugal. 54
- ACV** Avaliação Ciclo de Vida. ii, iii, vi, 22, 59–66, 69–71, 80
- CaO** Óxido de Cálcio. 68
- CEI** Comunidade de Estados Independentes. 3
- CH₄** Metano. 7, 43
- CO** Monóxido de Carbono. 7, 27, 36
- CO₂** Dióxido de Carbono. v, 3, 7–9, 11, 14, 20, 32, 43, 56, 62, 66, 68, 69, 71
- EGR** *Exhaust Gas Recirculation*. 27
- EN** *European Norm*. 23
- ENSE** Entidade Nacional para o Setor Energético. 23, 32–34
- ETBE** *Ethyl tert-butyl ether*. 44, 45
- FAME** *Fatty Acid Methyl Ester*. iii, v, 17, 19, 23–26, 35, 44–46, 48, 51, 56, 57, 62
- GEE** Gases de Efeito de Estufa. v, 1, 8, 11, 12, 16, 19, 43, 44, 49, 50, 55, 56, 59
- GNC** Gás Natural Comprimido. 55
- H₂SO₄** Ácido Sulfúrico. 69
- HC** Hidrocarbonetos. 7, 18, 36
- HVO** *Hydrogenated Vegetable Oil*. 18, 19, 45
- IC** Índice de Cetano. 24, 25
- K₂SO₄** Sulfato de Potássio. 67
- KOH** Hidróxido de Potássio. 40, 63, 68, 69
- LNEG** Laboratório Nacional de Energia e Geologia. 33

MCI Motor de Combustão Interna. 1, 7, 8, 20, 22, 23, 30, 79

MTBE *Methyl tert-butyl ether*. 44, 45

N₂O Óxido Nitroso. 43

NaOH Hidróxido de Sódio. 63, 69

NO_x Óxidos de Azoto. 7, 27, 28, 36, 42, 71

O₂ Oxigénio. 18

OAU Óleos Alimentares Usados. iii, vi, 1, 14, 16, 19, 37, 40, 43, 46, 48–51, 59, 62–71, 80

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 16

ONU Organização das Nações Unidas. 16

PCI Poder Calorífico Inferior. 24, 25, 29, 30

PM Matéria Particulada. 7

PNEC 2030 Plano Nacional de Energia e Clima 2030. iii, v, 8, 12, 13

PPD Pequeno Produtor Dedicado. 44

PRG Produtor de Regime Geral. iii, v, 44, 45, 47, 51

PRR Plano de Recuperação e Resiliência. 48

RCF *Recycled Carbon Fuels*. 20

RED II *Renewable Energy Directive II*. iii, 10, 11

RED II *Renewable Energy Directive II*. 1, 18, 36, 43, 71

RFNBO *Renewable Fuel of Non Biological Origin*. 18, 20

RNC 2050 Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. 12–14

SAF *Sustainable Aviation Fuel*. 48

SCR *Selective Catalytic Reduction*. 27

SO₂ Dióxido de Enxofre. 18, 26, 36

SUV *Sport Utility Vehicle*. 8

TdB Títulos de Biocombustível. ii, 33, 34, 36, 91, 92

UCO *Used Cooking Oil*. 1

UE União Europeia. 1, 5, 6, 8, 17–19, 21, 46, 54, 55

Capítulo 1

Introdução

A crescente necessidade de mobilidade tem levado a um aumento constante do consumo de energia pelo sector dos transportes ao longo da última década. [1] Importa por isso, encontrar fontes de energia que tenham o menor impacto ambiental possível. O advento de novas tecnologias, apesar da sua pertinência e potencialidade, tem-se revelado insuficiente para satisfazer as necessidades de mobilidade que pessoas e empresas diariamente enfrentam.

O sector dos transportes vive ainda uma grande dependência dos combustíveis fósseis, nomeadamente no que ao modo rodoviário diz respeito. O desenvolvimento de novos produtos, mais confortáveis e fiáveis, a par com uma melhoria gradual da qualidade de vida e do poder económico mundial, colocaram o automóvel na mira dos objetivos de qualquer cidadão. Confrontamos-nos, hoje em dia, com um vasto parque automóvel, constituído maioritariamente por veículos com Motor de Combustão Interna (MCI). No caso português, os veículos movidos a MCI representam 98% de todo o parque automóvel, sendo 66% destes movidos a gasóleo [2]. Em termos absolutos, os motores movidos a gasóleo foram os que mais cresceram na última década, tendo levado ao aparecimento de mais de 1 milhão destes veículos entre 2010 e 2020. Os motores movidos a combustíveis fósseis continuam a ser dominantes mesmo na venda de veículos novos, alertando para a pertinência do estudo de combustíveis alternativos que mitiguem a sua pegada ecológica.

Os biocombustíveis são, desde há várias décadas, uma das tecnologias que tem vindo a evoluir e a apresentar resultados concretos da sua incorporação, nomeadamente ao nível ambiental. As metas da UE para o setor energético, consideram a incorporação destes combustíveis renováveis como um fator chave para alcançar a redução dos Gases de Efeito de Estufa (GEE) em 55% até 2030 [3]. Esta intenção fica expressa na mais recente revisão da *Renewable Energy Directive II* (RED II), onde a UE propõe que até 2030 pelo menos 13% da energia final consumida no sector dos transportes seja de origem renovável [4].

Contudo, os biocombustíveis são um tema bastante vasto, onde existem vantagens, mas também condicionalismos de diversas ordens que têm gerado o debate em torno da sua crescente implementação.

Por forma a combater os condicionalismos existentes, têm sido investigadas novas técnicas de obtenção de biocombustível que reduzam o seu impacto ambiental e aumentem a sua compatibilidade com os MCI. Atualmente há vários tipos de biocombustíveis, obtidos por diferentes processos e a partir de diversas fontes de matéria-prima. A natureza da matéria-prima permite classificar os biocombustíveis como convencionais, residuais ou

avanzados.

A capacidade de aproveitamento da rede de distribuição convencional e a aplicabilidade imediata aos modos de transporte existentes, justifica um olhar atento e isento do papel que os biocombustíveis poderão vir a desempenhar num futuro incerto, onde as únicas evidências são a contínua necessidade de mobilidade do ser humano e a obrigação de procurar alternativas ambientalmente sustentáveis.

1.1 Situação Energética

O crescimento da população mundial e o maior nível de desenvolvimento da sociedade têm levado ao aumento constante do consumo de energia primária. A figura 1.1 transparece este aumento, apenas pontualmente quebrado por situações de crise financeira ou sanitária.

O ano de 2021, apesar de ainda afetado pelas consequências da pandemia Covid-19, registou um crescimento do consumo mundial de energia primária de 5,8%, superando em 1,9% o consumo pré-pandémico [5].

Ao longo da última década (2011-2021) o consumo de energia aumentou 14%. O petróleo consumido aumentou 6% [5], ao passo que o consumo de energias renováveis apresentou um crescimento de 229% [5]. Contudo, esta última fonte continua a representar uma pequena fração das necessidades de energia da população mundial, como é observável na figura 1.1.

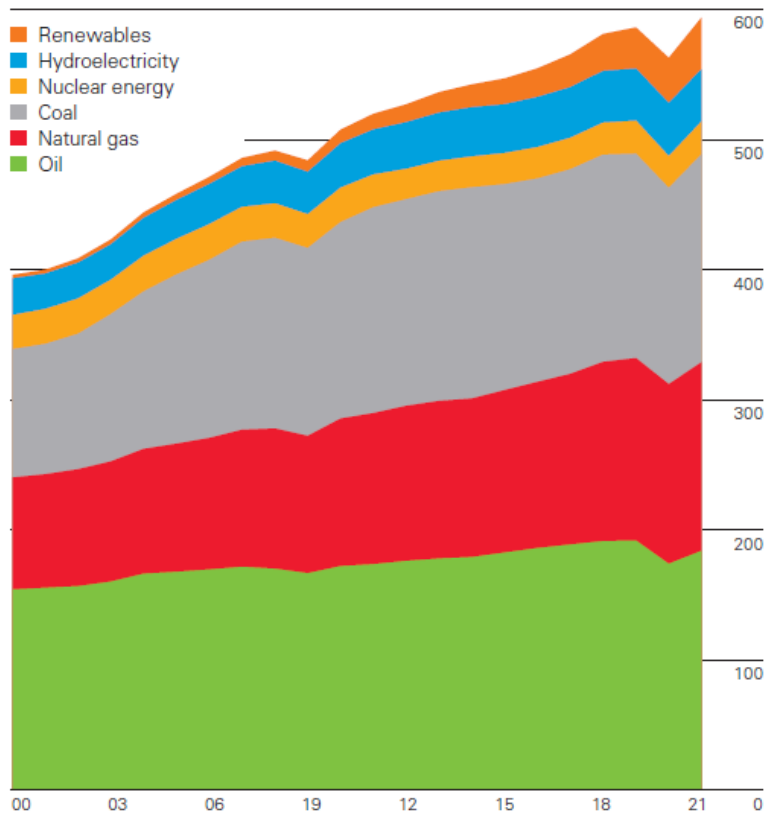


Figura 1.1: Evolução do consumo mundial de energia primária [EJ] [5].

Este aumento do consumo de energia primária reflete-se no aumento das emissões de carbono mundiais, visível na figura 1.2. Em 2021 foram emitidas 33 giga-toneladas de emissões de CO₂. Um valor muito próximo ao do período pré-pandémico, que tem ocasionado o aumento do aquecimento global e dos fenómenos ambientais decorrentes da sua concentração excessiva na atmosfera. Nos últimos 10 anos, apesar do investimento em energias renováveis e da adoção de políticas ambientais sustentáveis, como a economia circular, as emissões de CO₂ para atmosfera aumentaram 6% [6].

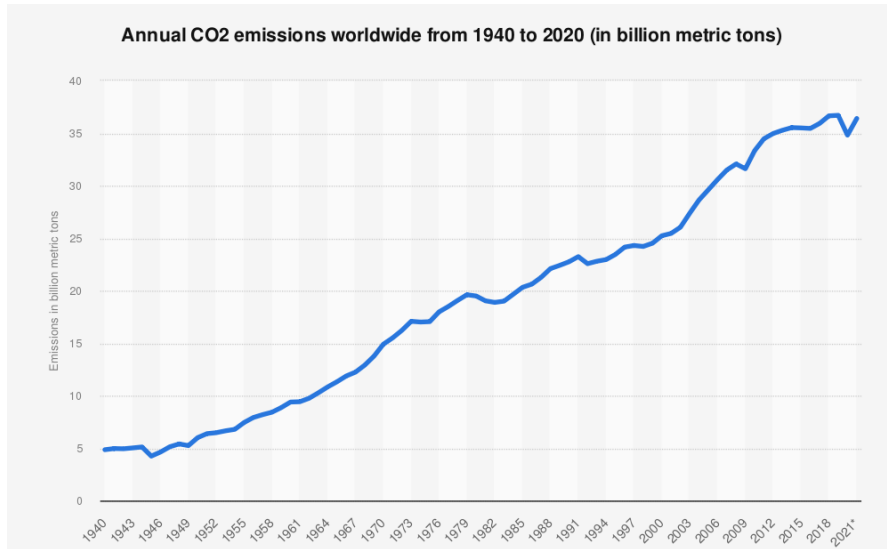


Figura 1.2: Emissões mundiais de CO₂ [6].

A generalidade das regiões do planeta continuam a sustentar a sua atividade económica em energia proveniente de combustíveis fósseis. Os países da Comunidade de Estados Independentes (CEI), Ásia Pacífica, Médio Oriente e África, são os que apresentam uma maior dependência destes compostos carbonados não renováveis (figura 1.3).

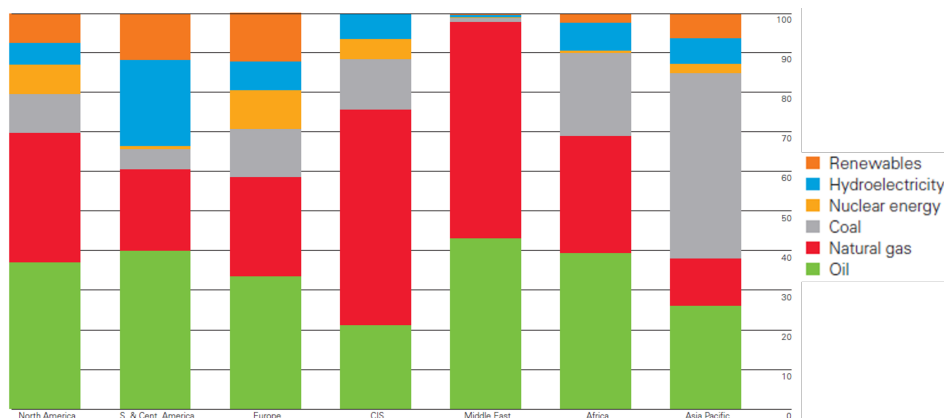


Figura 1.3: Consumo de energia primária por região mundial [EJ] (adaptado de [5]).

A região da Ásia Pacífica, responsável por 47% do consumo de energia primária mundial [5], recorre maioritariamente ao carvão como fonte energética, enquanto que no

Médio Oriente as necessidades energéticas são supridas praticamente apenas com recurso ao petróleo e ao gás natural.

A Europa, a par com a América Central e do Sul, são as regiões que apresentam uma maior diversidade de fontes energéticas. Contudo, o consumo de energia fóssil continua a representar cerca de dois terços do consumo total [5]. Ao nível europeu, o elevado recurso a matéria fóssil, alerta também para a dependência energética face a outras regiões do globo e para a conseqüente instabilidade e fragilidade político-económica que lhe está associada.

1.2 Situação Energética em Portugal

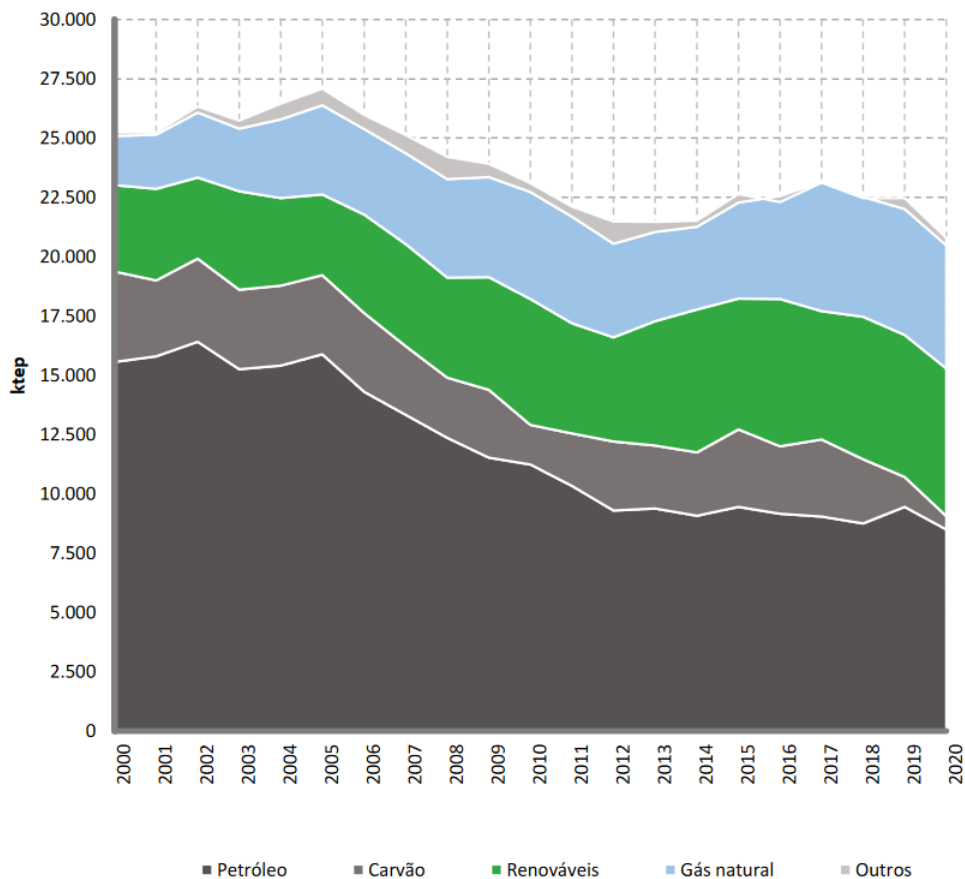


Figura 1.4: Consumo de energia primária em Portugal por fonte [ktep] [7].

Em Portugal, o consumo de energia primária ao longo da última década tem-se mantido relativamente constante (cerca de 22 Mtep anuais) [7]. Os dados mais recentes disponíveis remontam ao ano de 2020, bastante afetado pela pandemia Covid-19, pelo que se deverá atender ao carácter excecional dos mesmos.

Como é perceptível na figura 1.4, o consumo de petróleo no panorama energético nacional apresenta uma clara diminuição desde o início do séc.XXI. Já as energias renováveis apresentam uma crescente preponderância, posicionando-se como a segunda fonte de

energia primária mais consumida (29,9% do total consumido) [7]. Contudo, o petróleo continua a representar a principal fonte energética nacional (40,9%), tendo abrandado ao longo da última década o ritmo de decréscimo que vinha a apresentar. Somando o consumo de gás natural (25%) ao de petróleo, percebe-se que mais de metade do consumo de energia primária em Portugal assenta ainda em derivados do petróleo [7].

A independência energética do país continua refém do elevado consumo de combustíveis fósseis. Em 2020, 65,8% da energia consumida em Portugal proveio de outros países. Esta elevada percentagem coloca Portugal como o 11^o país da UE energeticamente mais dependente, acima da média europeia (58%) [8]. Estes valores são um claro sinal da insuficiente produção nacional de energia face às necessidades de consumo do país.

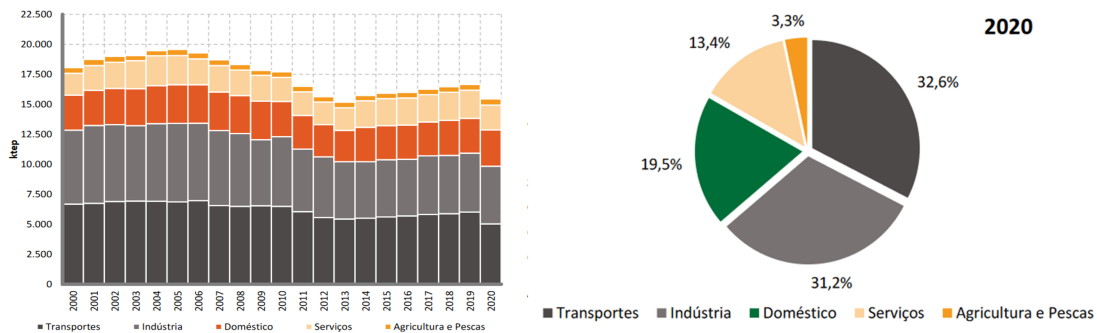


Figura 1.5: Consumo de energia primária em Portugal por sector, em 2020 (esq.) e ao longo dos últimos anos (dir.) [ktep] [7].

Analisando a figura 1.5, percebe-se que o sector dos transportes continua a ser o maior consumidor de energia em Portugal, representando 32,6% de toda a energia consumida em 2020. Uma vez que este foi um ano atípico ao nível dos transportes, fruto dos vários confinamentos existentes, importa analisar o historial de consumo por sector [7]. A análise mostra que, em 2019, o sector dos transportes consumia 36,1% da energia do país, um valor idêntico ao registado em 1999 [7]. O consumo líquido de energia deste sector tem vindo a aumentar desde 2013, ano em que registou o valor mais baixo do século XXI. Ao nível da média dos países da UE, o consumo de energia pelo sector dos transportes é hoje em dia o mais elevado dos últimos 30 anos [9].

Estes dados mostram que as evoluções registadas no sector não se traduziram na diminuição do consumo de energia, importando por isso realizar uma análise mais aprofundada ao mesmo.

1.3 O Sector dos Transportes

O consumo de energia no sector dos transportes deve-se, em grande parte, ao modo rodoviário. Como é observável na figura 1.6, este representa 96% de todo o consumo do sector a nível nacional [7]. Os últimos dados disponíveis da Agência Europeia do Ambiente, de 2017, mostram que a nível Europeu o consumo de energia por parte do sector rodoviário se cifra nos 70% [10].

O elevado consumo de energia pelo sector dos transportes relaciona-se também com a elevada taxa de motorização que Portugal apresenta. Por cada 1000 habitantes, existem em Portugal 530 veículos de passageiros, um aumento de 19% face aos valores de 2010 [9],

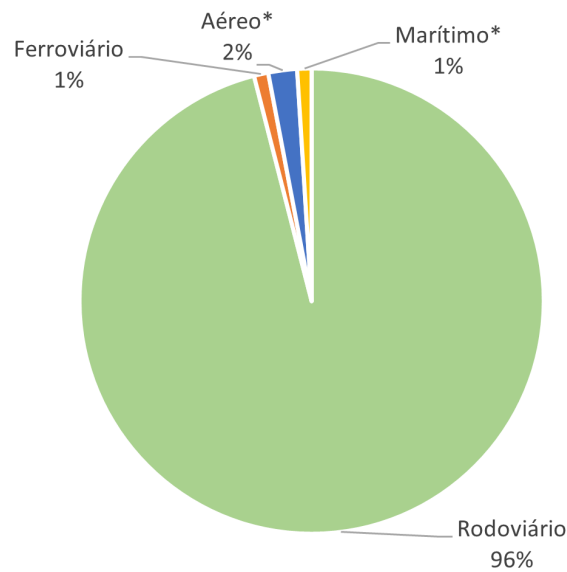


Figura 1.6: Repartição do consumo nacional de energia no sector dos transportes por modo, em 2019 [7] *respeitante apenas ao consumo registado entre os limites de fronteira portugueses.

superior ao registado pela média dos países da UE em período homólogo. Ainda assim, a taxa média de motorização na UE é superior, situando-se nos 553 veículos por cada 1000 habitantes [9]. Grande parte dos veículos que contribuem para esta taxa de motorização incorporam um motor de combustão interna, uma realidade que se reflete na quantidade de combustível consumida em Portugal pelo modo rodoviário, observável na figura 1.7.

Contudo, contrariamente à taxa de motorização, o consumo de combustível da atualidade é inferior aos valores registados em 2010, uma tendência observável na figura 1.7. Esta tendência é em parte justificável pela utilização de motores mais eficientes, nomeadamente os de tecnologia *diesel*. Este combustível, contrariamente à gasolina, tem registado um crescimento contínuo desde o período de crise económico-financeira decorrido entre 2011 e 2012. Atualmente são vendidos praticamente quatro vezes mais litros de gasóleo do que de gasolina (o segundo combustível mais vendido), um valor que alerta para a relevância deste combustível no panorama da mobilidade nacional. Entre 1994 e 2019, o consumo de gasóleo nos transportes rodoviários aumentou de 50% para cerca de 80% [7].

O acelerado crescimento das vendas de veículos com tecnologias de propulsão alternativas, decerto que no futuro trará alterações a este padrão de consumo de combustíveis. Note-se que, embora em termos absolutos estes veículos continuem a representar uma fração bastante pequena do parque automóvel, 24% dos automóveis ligeiros matriculados em Portugal em 2021 apresentavam já uma componente de propulsão elétrica (contabilizando veículos híbridos e integralmente elétricos), a propulsão alternativa mais expressiva atualmente [11].

A elevada quota de consumo energético associada ao modo de transporte rodoviário, repercute-se numa larga emissão de poluentes prejudiciais ao meio ambiente.

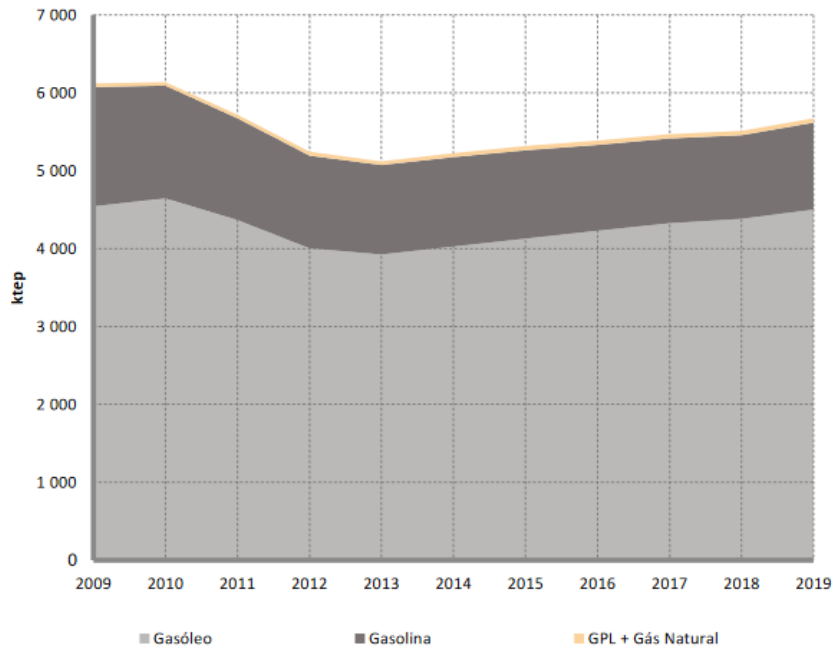


Figura 1.7: Consumo de combustível em Portugal [7].

Emissão de Poluentes

O funcionamento dos MCI, tem associada uma emissão de poluentes locais como o Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Azoto (NO_x), a Matéria Particulada (PM) e os Hidrocarbonetos (HC). Poluentes que se caracterizam por ter um impacto direto na saúde humana e, conseqüentemente, na qualidade de vida do ser humano [12]. Existe ainda a emissão de gases como o Dióxido de Carbono (CO_2) e o Metano (CH_4), cujo impacto se reflete de forma mais direta nos ecossistemas e na natureza, nomeadamente através do aumento do efeito de estufa.

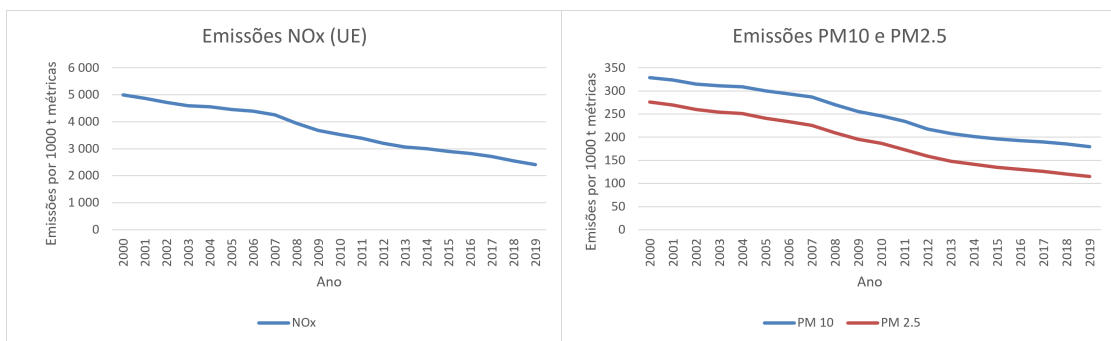


Figura 1.8: Emissões de NO_x (esq.) e Matéria Particulada (dir.) pelo modo de transporte rodoviário na União Europeia (adaptado de [13]).

A evolução registada ao nível dos sistemas de tratamento de emissões tem levado, desde o início do séc. XXI à diminuição da emissão de poluentes locais [13]. A Figura 1.8 traduz essa evolução ao nível dos sector dos transportes rodoviários na União Europeia.

A diminuição deste género de poluentes prende-se em grande parte com as exigências ambientais impostas à comercialização de viaturas novas na União Europeia, comumente designadas de norma EURO. Atualmente vigora a norma EURO VI, caracterizada por restringir fortemente a emissão de matéria particulada e óxidos de azoto por os motores das viaturas comercializadas[14].

No que respeita às emissões de dióxido de carbono, os valores não têm evoluído tão positivamente. A figura 1.9 dá conta de valores, ao nível da UE, consideravelmente superiores aos de 1990. Após um período em que se registou uma ligeira descida, a emissão deste poluente pelo sector rodoviário voltou a aumentar de forma gradual ao longo da última década [15].

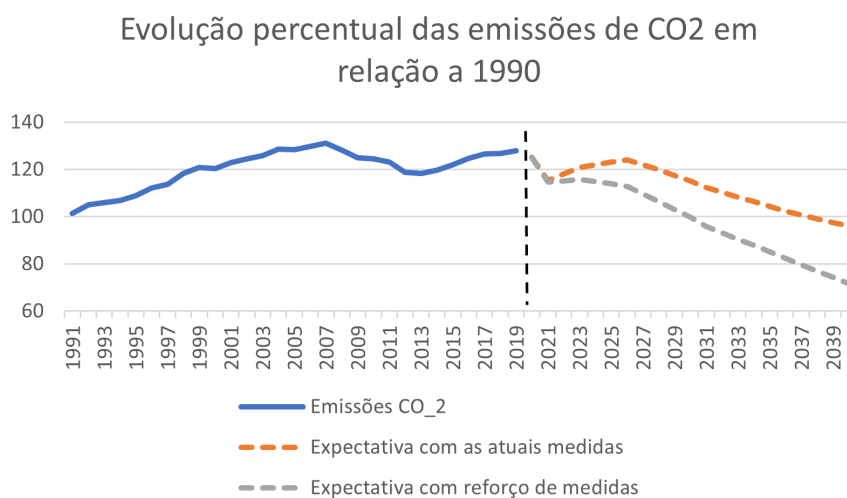


Figura 1.9: Emissões de CO₂ associadas ao modo de transporte rodoviário na União Europeia, por comparação com os valores de 1990 (adaptado de [15]).

Analisando as emissões absolutas de dióxido de carbono por parte do sector dos transportes em Portugal, verifica-se que estas são hoje inequivocamente inferiores a 2010 [16] (figura 1.10). Um decréscimo parcialmente relacionado com a disseminação de carros a gasóleo, uma vez que a emissão de CO₂ por parte destes é marcadamente inferior à dos veículos a gasolina [17]. Contudo, como é observável na figura 1.10, após uma redução acentuada entre 2010 e 2013, a emissão deste poluente tem aumentado gradualmente. Uma tendência que vai de encontro às da UE e que contraria as ambições climáticas de Portugal. Em 2019, a emissão de CO₂ pelo sector superou mesmo em 2,3% as metas previstas no Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) [16].

As restrições impostas aos motores de combustão interna, a par com o desenvolvimento de tecnologias capazes de minimizar o seu impacto ambiental, permitem que as emissões poluentes sejam hoje inferiores às registadas no final do século passado. Todavia, o aumento do número de veículos em circulação tem toldado estes ganhos. As próprias características dos veículos novos, mais pesados e volumosos (fruto da hibridização e, no caso dos veículos de passageiros, da popularidade do formato *Sport Utility Vehicle* (SUV)), ofuscam a redução de emissões de poluentes dos MCI [10].

Os GEE são um dos poluentes mais críticos do sector dos transportes e a sua emissão tem vindo a aumentar em Portugal, onde representam cerca de um quarto das emissões

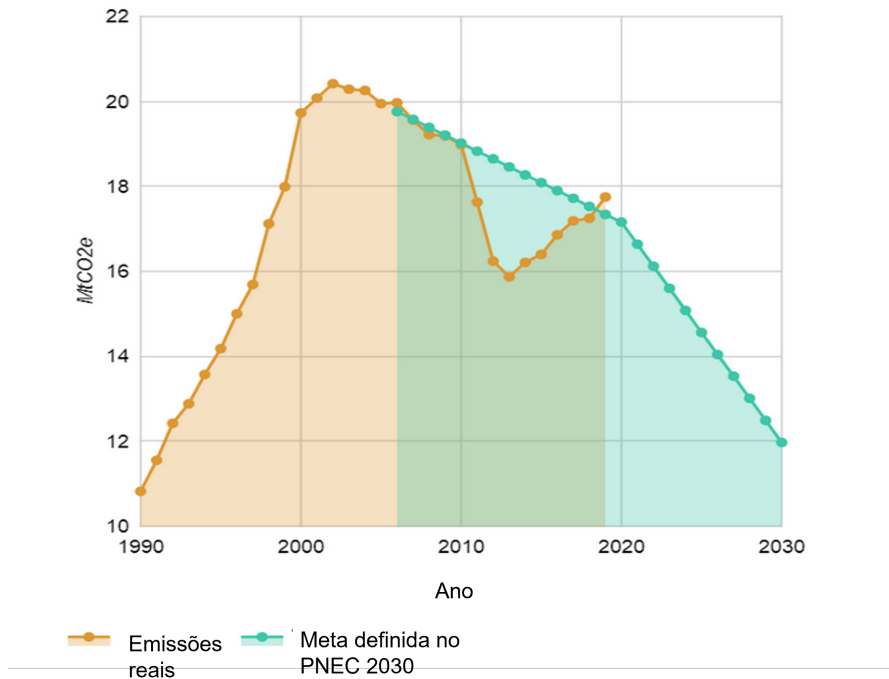


Figura 1.10: Emissões de CO₂ associadas ao sector dos transportes em Portugal e respectivas metas anuais (adaptado de [16]).

inerentes ao sector da energia [18]. Estes dados mostram que é necessário pensar seriamente o sector dos transportes e procurar soluções que permitam reduzir o seu impacto no ambiente e na saúde humana. A utilização de combustíveis com baixas emissões de carbono, de que são exemplo os biocombustíveis, surge como uma das alternativas mais imediatas.

1.4 Metas Europeias

A problemática da emissão de poluentes registada a nível nacional e europeu, estende-se ao sector dos transportes um pouco por o todo o mundo. Nesse sentido, têm surgido a vários níveis metas e medidas políticas que visam mitigar este problema e garantir um futuro mais sustentável e neutro em carbono.

Acordo de Paris

O Acordo de Paris, surgido em 2015, representa um marco importante na descarbonização do planeta. Pela primeira vez, todos os países do mundo concordaram em unir esforços para mitigar as alterações climáticas, procurando limitar o aumento da temperatura média global a valores abaixo dos 2°C face aos níveis pré-industriais [19]. A este compromisso, que visa a redução do aquecimento global, não é alheio o sector dos transportes, dada a sua dimensão e a considerável emissão de gases com efeito de estufa que lhe está associada.

Por forma a cumprir as ambições deste acordo e dar a conhecer o seu contributo,

os países envolvidos desenvolveram um conjunto de programas e metas aplicados às suas realidades. A União Europeia, destacada impulsionadora do combate às alterações climáticas, estabeleceu o *European Green Deal*. O principal intuito deste pacto ecológico é alcançar a neutralidade carbónica do continente europeu em 2050 [20], dotando a UE de uma economia competitiva e eficiente na gestão dos recursos. Por forma a alcançar este objetivo, a UE tem lançado diretivas e pacotes legislativos que estabelecem de forma faseada o caminho a percorrer pelos países-membro.

Na perspetiva da União Europeia, a transição para uma sociedade climaticamente neutra depende do contributo de todos os cidadãos e dos diferentes sectores da economia - indústria, construção, agricultura e mobilidade [20]. Esta transição é encarada como um desafio, mas também uma oportunidade de desenvolvimento de soluções tecnológicas efetivas, capazes de garantir a autonomia energética dos estados-membro, robustecer a economia e promover a equidade social no acesso a fontes de energia com reduzido impacto ambiental.

RED II

A *Renewable Energy Directive II* (RED II), é a principal diretiva da União Europeia em matéria de política energética sustentável e introdução de fontes renováveis em vários sectores da sociedade, estabelecendo metas a médio e longo prazo. Reformulada em 2018, esta diretiva [21], leva ao surgimento de novas soluções e políticas que assegurem o seu cumprimento, nomeadamente através de uma aposta reforçada na utilização de energias renováveis [21].

Esta diretiva europeia, pressupõe que cada Estado-Membro elabore um Plano Nacional de Energia e Clima, onde estabeleça as estratégias e medidas que contribuam para o cumprimento destas metas europeias em cinco vertentes da transição energética:

- Descarbonização
- Eficiência energética
- Segurança energética
- Mercado interno de energia;
- Investigação, Inovação e Competitividade

O novo quadro legal prevê que, até 2030, pelo menos 32% da energia gerada na UE seja proveniente de fontes renováveis [21]. Esta meta, descrita na tabela 1.1, é passível de ser revista em alta em 2023.

O sector dos transportes, responsável por uma extensa fatia do consumo energético europeu, surge amplamente considerado na RED II. Esta diretiva propõe que cada estado-membro exija aos fornecedores de combustíveis, uma incorporação mínima de 13% de energias renováveis na energia final consumida no setor dos transportes [21]. O cumprimento desta meta está de forma pronunciada ligado ao aumento da incorporação de biocombustíveis, nomeadamente de biocombustíveis avançados e de combustíveis líquidos e gasosos de origem não biológica. As quotas mínimas de incorporação de energias renováveis expressas na RED II, encontram-se na tabela abaixo 1.1.

Tabela 1.1: Introdução de energias renováveis segundo a RED II [21]

	Energia produzido a partir de fontes renováveis	Consumo de renováveis no setor dos transportes
Ambições mínimas para 2030	32%	13%

A RED II limita ainda a proliferação de culturas agrícolas e florestais dedicadas à produção de biocombustível, ou seja, que concorram diretamente com a utilização de solo para fins alimentares ou que promovam a desflorestação. Além de critérios para a classificação destas culturas, é proposta a sua diminuição gradual até 2030, ano em que deverá ser extinta [21]. A utilização de combustíveis renováveis de origem não biológica no setor dos transportes deve refletir-se, no mínimo, numa redução de 70% dos GEE emitidos [21]. A forma de cálculo que quantifica a redução dos GEE para cada combustível renovável, encontra-se também expressa na RED II.

Fit for 55

Com o objetivo de acelerar a transição energética, a UE está a trabalhar na implementação de um pacote de medidas que visa rever a legislação em vigor em matéria de clima, energia e transportes, denominado por *Fit for 55* (Objetivo 55). A principal ambição deste novo pacote de medidas é reduzir as emissões líquidas de gases com efeito de estufa em pelo menos 55% até 2030 e aumentar o contributo das energias renováveis para 40% do total de energia consumida nesse mesmo período [3].

Ao nível do sector transportes, além do reforço na adoção de energias renováveis, a revisão legislativa incide na criação de infraestruturas de abastecimento de veículos com fontes energéticas alternativas, incorporação de biocombustíveis no setor dos transportes marítimos (FuelEU) e aéreos (REfuelEU) e redução do valor máximo de emissões de CO₂ permitidas aos veículos ligeiros que venham a ser introduzidos no mercado [3].

Este pacote de propostas legislativas, já debatido em reunião de conselho de ministros, encontra-se em fase de formalização.

REPowerEU

Na sequência da tensão energética vivida na União Europeia, resultante da invasão da Ucrânia por parte da Rússia em Março de 2022, a Comissão Europeia apresentou um plano de resposta a esta situação, intitulado *REPowerEU* [22]. Constituído por medidas de índole financeira e legal, este plano pretende:

- Promover a poupança de energia;
- Aumentar a produção de energia renovável;
- Diversificar as fontes de energia.

O objetivo global é promover a autonomia energética da União Europeia, garantindo a sua soberania nesta matéria. Enquanto maior consumidor de combustíveis fósseis, o sector dos transportes tem vindo a sentir fortemente as repercussões da escalada de

conflito. Além de um acentuado aumento dos preços dos combustíveis, o sector depara-se já com a escassez de combustível nos postos de abastecimento europeus, nomeadamente de gasóleo [23]. Um facto que alerta para a necessidade de este sector, estratégico e crucial para economia, estar mais independente de fontes de energia exteriores à UE.

1.5 Metas Nacionais

A nível nacional, surgem metas alinhadas com os pacotes legislativos da UE e com o compromisso português de alcançar a neutralidade carbónica em 2050. Atualmente, vigora o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) em articulação com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050).

PNEC 2030

O Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) [18] consiste num plano que define metas e objetivos nacionais ao nível energético e climático, em quatro áreas sectoriais: Energia, Transportes, Resíduos e Agricultura. Este plano pretende "Promover a descarbonização da economia e a transição energética, visando a neutralidade carbónica em 2050, enquanto oportunidade para o país, assente num modelo democrático e justo de coesão territorial que potencie a geração de riqueza e o uso eficiente de recursos." [18].

As metas definidas estipulam para 2030 uma redução geral das emissões poluentes entre 45 a 55% face ao que era emitido em 2005. Esta meta pretende regressar à tendência de decréscimo de emissões registada até 2012, como é observável na figura 1.11. No sector dos transportes, como verificado anteriormente, espera-se que esta redução de GEE seja de 40% [18].

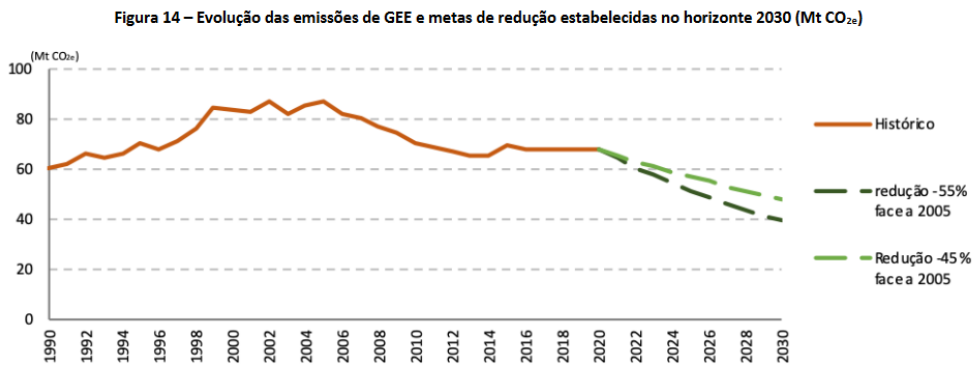


Figura 1.11: Ambições do PNEC 2030: GEE [18].

Esta meta é acompanhada pela ambição de que 47% da energia bruta consumida seja proveniente de energias renováveis. Ao nível do sector dos transportes esta ambição fica-se pelos 20% para 2030 e 13% já para 2025 [18]. O alcance deste objetivo é perspectivado através da eletrificação da mobilidade, aposta em fontes de energia alternativas como o hidrogénio, mas também da incorporação de combustíveis de origem renovável nos atuais combustíveis derivados de petróleo, nomeadamente no sector dos transportes pesados e de longa distância [18]. Ao nível dos biocombustíveis, como é verificável na tabela 1.2, o enfoque das medidas está no aumento da incorporação dos biocombustíveis avançados,

em detrimento dos de primeira geração, cujas matérias-primas concorrem em grande parte com a produção alimentar.

Tabela 1.2: PNEC 2030: Consumo de energias renováveis no sector dos transportes, por fonte de energia, em ktep [18].

(ktep)	2025	2030
Biocombustíveis de primeira geração	255	136
Biocombustíveis avançados	94	155
Hidrogénio renovável	9	65
Eletricidade	208	543
Total	566	900

RNC 2050

O RNC 2050 [24], com o qual o PNEC 2030 surge articulado, pretende identificar e analisar trajetórias alternativas de descarbonização da sociedade, estabelecendo objetivos com um maior horizonte temporal.

No documento consta a ambição de diminuir o consumo de energia primária em cerca de 30% face aos valores verificados atualmente [24]. A figura 1.12 traduz esta diminuição faseada para as várias fontes de energia. Além da redução no consumo, é expectável que grande parte da energia consumida (>80%) provenha de fontes renováveis, como a hídrica, a eólica e a solar [24]. A potencialidade do território português em produzir estas mesmas energias renováveis, permitirá ainda reduzir a dependência energética do país para apenas 20% do total de energia consumida [24].

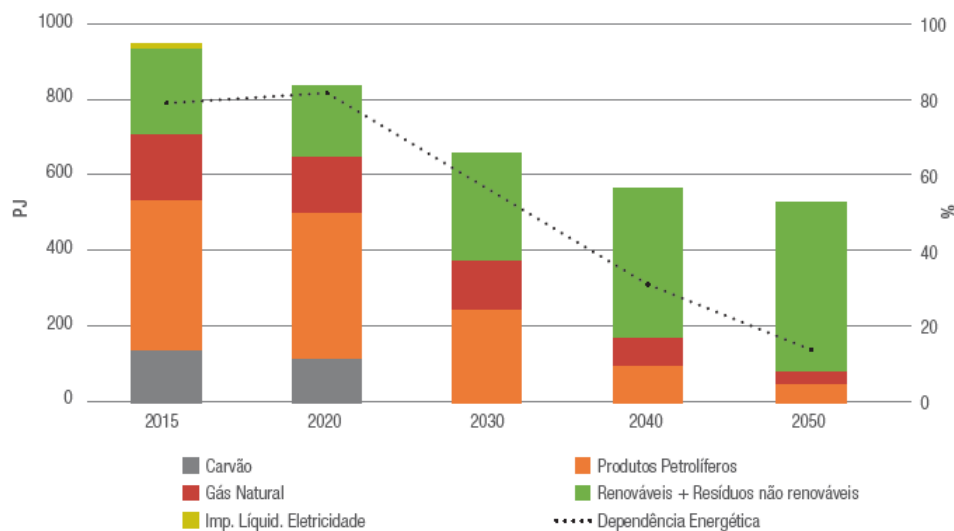


Figura 1.12: Evolução expectável do consumo de energia primária em Portugal [24].

O sector dos transportes surge como um dos que mais contribuirá para alcançar a neutralidade carbónica em 2050. A figura 1.13 relaciona a evolução das emissões poluentes

no sector dos transportes com a percentagem de incorporação de energias renováveis no sector. É perceptível que o período de estagnação na incorporação de energias renováveis entre 2015 e 2020 se refletiu na evolução negativa das emissões do sector. Consta-se ainda que a diminuição das emissões poluentes do sector até 2050, é expectável de ser alcançada através de um aumento exponencial da incorporação de energias renováveis nos transportes.

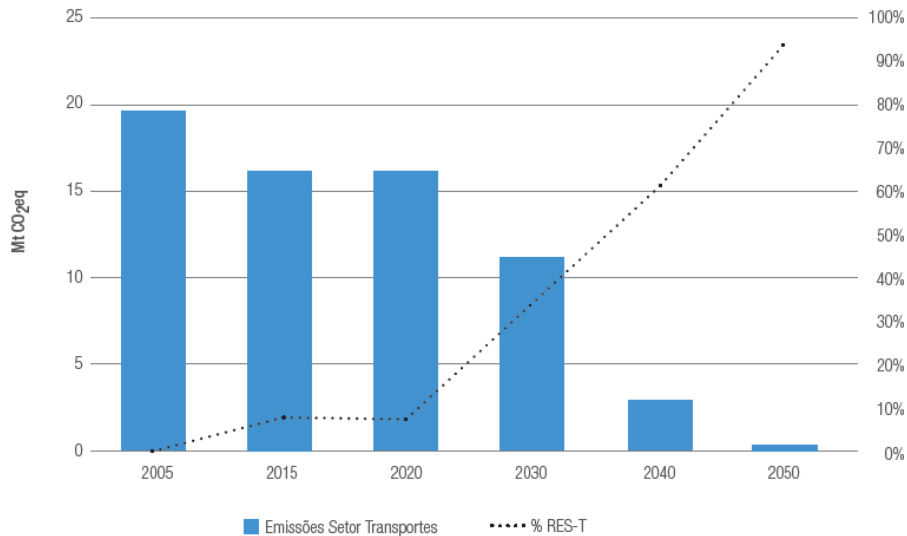


Figura 1.13: Evolução das emissões de CO₂ no sector dos transportes e respetiva percentagem de incorporação de energias renováveis no sector (face ao consumo total de energia) [24].

Além da procura por energias de propulsão com melhor impacto ambiental, o RNC 2050 contempla ainda uma variedade de medidas para o sector que passam por a alteração de hábitos, nomeadamente a maior utilização de transportes coletivos face aos individuais [24].

1.6 Biocombustíveis

Em Portugal, um biocombustível classifica-se como todo o combustível líquido ou gasoso para transportes, produzido a partir de biomassa, entendendo-se por biomassa como a fração biodegradável de produtos e resíduos de origem biológica provenientes da agricultura, silvicultura, pecuária, pesca ou mesmo de resíduos industriais e urbanos (como é o caso dos Óleos Alimentares Usados (OAU)) [25]. Estes combustíveis renováveis subdividem-se em diversos tipos, consoante as suas características, propriedades finais e processo de obtenção. Ainda que ao nível da literatura se encontrem diferentes formas de segmentar estes combustíveis, na legislação portuguesa estes encontram-se classificados segundo o decreto-Lei n.º 62/2006 [26], conforme apresentado na figura 1.14. O biodiesel, biocombustível substituto do gasóleo que aparece destacado na figura 1.14, posiciona-se como o principal foco de estudo desta dissertação, dada a sua maior preponderância no

contexto nacional e europeu.

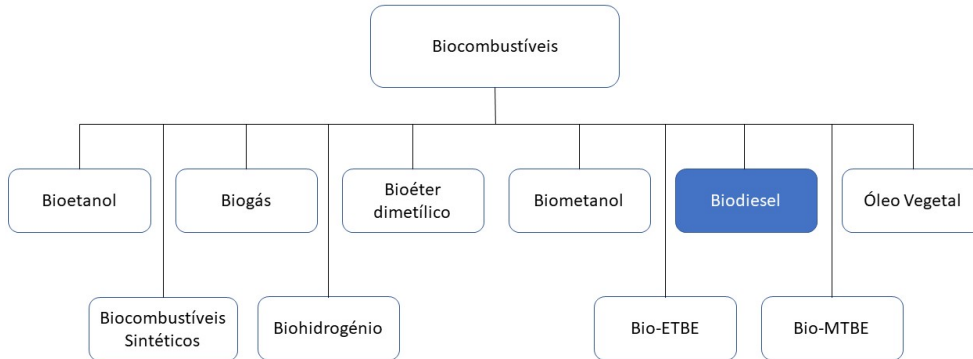


Figura 1.14: Tipos de biocombustível segundo o Decreto-Lei n.º 62/2006 [26].

Os biocombustíveis são também classificados quanto à proveniência e características da matéria-prima que lhes dá origem. De modo geral, consideram-se três tipos de biocombustíveis:

- Convencionais - Biocombustíveis produzidos a partir de cereais e de outras culturas ricas em amido, de culturas açucareiras e oleaginosas, entre outras culturas agrícolas; [25]
- Residuais - Biocombustíveis obtidos através do processamento de matérias-primas resultantes de outras atividades e constantes da parte B do anexo IV do Decreto-Lei n.º 8/2021 (presente no anexo A deste documento), de que são exemplo os óleos alimentares usados [25];
- Avançados - Biocombustíveis produzidos a partir das matérias-primas enumeradas na parte A do anexo IV do Decreto-Lei n.º 8/2021 (presente no anexo A deste documento) [25]. Estes, em geral, recorrem a processos e tecnologias de conversão mais avançados, tais como a conversão termoquímica, a gasificação, o hidroprocessamento, entre outros. Possuem também um menor impacto ambiental, uma vez que não concorrem diretamente com o cultivo de alimentos para consumo humano.

1.6.1 Tipos de Biocombustíveis

Biocombustíveis Convencionais

Um biocombustível convencional é obtido maioritariamente a partir de óleos vegetais provenientes de culturas agrícolas como o girassol, a colza ou o óleo de palma. O combustível proveniente destas fontes apresenta elevada qualidade e características muito próximas às do combustível de origem fóssil [27].

No entanto, a obtenção da matéria vegetal concorre diretamente com a exploração do solo para fins agrícolas. Há assim uma dualidade, entre a ocupação de solos para produzir combustível e para alimentação. Sendo a erradicação da pobreza um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) [28], é com um crescente ceticismo que se vê esta ocupação dos solos agrícolas e florestais para fins não-alimentares. Além disso, o processo de transformação da matéria vegetal em combustível, implica também um grande gasto de recursos naturais como a água. Quando este gasto não é devidamente balanceado, resulta na desregulação dos ecossistemas e na consequente perda de biodiversidade [29].

Cada vez mais se duvida da efetiva sustentabilidade destes biocombustíveis convencionais e da sua contribuição para a redução concreta de emissões poluentes como os GEE. Em certa literatura, os biocombustíveis convencionais aparecem também referidos como biocombustíveis de primeira geração.

Biocombustíveis Residuais

Os biocombustíveis residuais surgem como resposta aos impactos negativos do biocombustível convencional [30], razão que lhes valeu a denominação de "biocombustível de segunda geração" em alguma literatura [31]. Esta geração, não só deixa de competir com a exploração de solos para fins alimentares, como dá uma segunda utilidade a matérias que são resíduos de outras atividades, colmatando ainda a possível poluição associada ao descarte irresponsável das mesmas. A sua produção recorre, maioritariamente, à transformação dos óleos alimentares usados. Contudo podem também ser utilizados outros resíduos como, por exemplo, gorduras de origem animal [17].

Apesar deste biocombustível ser produzida à base de resíduos, isto não implica que o seu custo de obtenção seja inferior. Além dos custos e impactos ambientais do processo de transformação, devem também ser tidos em conta os custos e impactos da logística de recolha e as compensações a atribuir aos grandes produtores deste desperdício (na sua maioria restaurantes ou unidades alimentares), uma vez que há destinos alternativos para esta matéria, como a indústria oleoquímica. [32]. Ademais, a natureza da matéria-prima utilizada, implica que a sua produção esteja dependente dos resíduos produzidos por terceiros e o processo de transformação apresenta também um custo superior, dada a complexidade do mesmo [31].

O facto deste combustível resultar do reaproveitamento de outras matérias torna-o atrativo do ponto de vista da sustentabilidade, contudo, importa também controlar as origens da mesma. Por exemplo, os OAU são frequentemente obtidos em países fora da União Europeia, pelo que devem ser rastreados em toda a sua cadeia, para avaliar com fidelidade o impacto ambiental que lhe está associado.

Biocombustíveis Avançados

Os biocombustíveis avançados, dispõem de propriedades semelhantes às dos biocombustíveis convencionais, sendo considerados uma fonte de bioenergia renovável avançada. A principal diferença destes combustíveis está na matéria-prima que lhes dá origem. Para serem considerados biocombustíveis avançados, estes terão de resultar do processamento de matérias que não concorram com a utilização de solos para fins alimentares e que não desencadeiem um consumo excessivo de uma dada matéria. Estes biocombustíveis são essencialmente produzidos a partir de resíduos florestais e industriais, materiais

lenho-celulósicos e algas. Na legislação portuguesa, todas matérias elegíveis encontram-se descritas na parte A do anexo IV do decreto-Lei nº 8/2021 [33].

Dado o carácter mais sustentável destes biocombustíveis, Portugal e a própria UE pretendem aumentar cada vez mais a sua incorporação. Atualmente, a incorporação mínima obrigatória destes biocombustíveis, em teor energético, é de 0,2% na UE e de 0,5% em Portugal. A UE pretende impor para 2025 uma incorporação mínima de 1% e, para 2030, de 3,5%. Em termos legislativos, como será visto mais adiante, a incorporação destes biocombustíveis é valorizada do ponto de vista da sustentabilidade face a uma quantidade equivalente de outros tipos de biocombustível.

Por vezes, estes biocombustíveis são também denominados de "biocombustível de terceira ou de quarta geração". Esta denominação surgiu mais associada ao biocombustível a partir de micro-algas, continuando ainda hoje a ser utilizada na literatura. Dentro dos biocombustíveis avançados, a menção à quarta geração pressupõe biocombustíveis cujo processo produtivo se destaca pela sua evolução. No caso das micro-algas, por exemplo, o biocombustível de quarta geração pressupõe que estas são alteradas geneticamente e que assim se conseguem reproduzir de forma mais eficiente [34].

Ainda que seja reconhecido bastante potencial futuro dos biocombustíveis avançados, estes continuam a ter como principal desvantagem o elevado custo e complexidade do processo produtivo [31], associado ao parco apuramento por parte da comunidade científica de técnicas mais evoluídas e eficientes de transformação.

1.6.2 História e Evolução

A obtenção de combustíveis a partir de fontes de origem vegetal, remonta ao surgimento do próprio motor *diesel*. Pouco tempo após esta tecnologia ter sido lançada, por volta do final do século XIX, o governo francês instigou o próprio inventor do motor diesel, Rudolph Diesel [35], a desenvolver um combustível de origem vegetal. O objetivo principal era encontrar uma forma de os agricultores produzirem, a partir das suas culturas, o próprio combustível que as máquinas a gasóleo utilizavam. À época, a preocupação não era ambiental. Era sim, a escassez de acesso a fontes de petróleo e a preocupação de ser auto-suficiente num sector chave como a agricultura. Apesar da investigação levada a cabo e dos resultados apresentados na Feira Mundial de Agricultura, esta técnica acabou por ser abandonada, sobretudo devido à crescente facilidade de obter petróleo a preços reduzidos e ao desenvolvimento e otimização dos motores *diesel* em consonância com as especificidades do combustível fóssil. Assim, o gasóleo de origem vegetal produzido à época deixou de poder ser usado nestes motores, que se tornaram incompatíveis com a sua elevada viscosidade [36].

Por volta da década 30 do séc.XX surgiram novos experimentos na Bélgica relacionados com o Biodiesel. Depois de técnicas como a pirólise ou a emulsificação do combustível com água e álcool se terem revelado infrutíferas, surgiu o processo de transesterificação [36]. Este processo, que ainda hoje serve de base à obtenção de grande parte do biodiesel, consistia na conversão de óleo vegetal em *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) através da alteração da sua estrutura molecular. O combustível obtido por este método, era assim menos viscoso e de melhor combustão nos motores *diesel* existentes. Porém, a fraca viabilidade económica não justificou a aposta na produção em larga escala deste combustível.

As preocupações ambientais, o crescente consumo das limitadas jazidas de petróleo

e a dependência da UE em matéria de combustíveis fósseis, motivaram uma recuperação do investimento nos biocombustíveis, sobretudo o biodiesel, nos princípios da década de 90. A aposta que começou a ser feita por países como a Áustria, a Alemanha e a França rapidamente se alastrou a outros países do globo [5]. Além do investimento em estruturas de produção e transformação de matéria biológica em combustível, tem também havido um forte incentivo à investigação e consequente inovação nesta área, que permite a existência de diferentes tipos de biodiesel, obtidos a partir de diferentes matérias-primas. A recuperação do interesse neste combustível de base renovável posiciona o continente Europeu como líder mundial na produção e consumo do mesmo [5].

1.7 Outros Combustíveis de Origem Renovável

A existência de combustíveis renováveis alternativos aos combustíveis fósseis, não se limita aos biocombustíveis. Ainda que estes se assumam atualmente como a alternativa mais expressiva, têm surgido outros combustíveis com baixo teor de carbono, em inglês denominados por *low carbon fuels*. Além dos biocombustíveis, são parte integrante destes combustíveis de baixo carbono, o *Hydrogenated Vegetable Oil* (HVO) e os *Renewable Fuel of Non Biological Origin* (RFNBO). Estes últimos consistem na transformação de matérias-primas não-biológicas com recurso a energia solar ou fotovoltaica para o seu processamento.

Importa conhecer e acompanhar a disseminação de outros combustíveis com baixo teor de carbono, uma vez que cada vez mais são considerados como complementares aos biocombustíveis na descarbonização do sector dos transportes. A RED II prevê que os RFNBO representem, em 2030, 2,6% de toda a energia consumida no sector dos transportes [4].

1.7.1 HVO - Hydrogenated Vegetable Oils

O HVO é um gasóleo de origem renovável, obtido a partir de óleos vegetais e de gorduras portadoras de triglicerídeos e ácidos gordos [37]. Ainda que não possa ser denominado de biodiesel, uma vez que não contém oxigénio na sua composição, o HVO é considerado um bio-gasóleo. Como o nome indica, este combustível deriva de um processo de hidrogenação da matéria que lhe dá origem [17].

Ao apresentar propriedades químicas semelhantes às do gasóleo comum, este é um dos combustíveis renováveis com maior aceitação no mercado. Esta semelhança química permite que seja consumido em mistura com o gasóleo fóssil, sem qualquer limite de incorporação, contrariamente ao que acontece com o biodiesel. Está, no entanto, obrigado a cumprir o valor da densidade mínima do combustível, estipulado na norma EN 590.

Em relação ao biodiesel, apresenta uma menor lubricidade (dada a ausência de O₂) e um ligeiro aumento em termos de emissão de matéria particulada. Apresenta, contudo, melhor capacidade de armazenamento (uma vez que não é sujeito a contaminações de água e de bactérias), uma maior capacidade de utilização em motores sem qualquer tipo de adaptação e, ainda, uma ligeira melhoria em termos de prestação ambiental aquando da combustão. Apesar de ter uma densidade energética ligeiramente inferior à do gasóleo comum, este é livre de substâncias poluentes como o Dióxido de Enxofre (SO₂) e os Hidrocarbonetos (HC) [38] [37] [39].

Uma das matérias-primas que mais tem alimentado a produção deste combustível é o óleo de palma, cuja sustentabilidade de utilização tem vindo a ser posta em causa nos últimos anos, uma vez que o seu consumo tem implicado uma acelerada desflorestação em países como a Indonésia e a Malásia. Depois de a UE ter tentado, sem sucesso, banir definitivamente a utilização de óleo de palma para a produção de biodiesel, têm sido vários os países a aplicar esta proibição, contando-se entre eles a França, a Dinamarca e, mais recentemente, a Bélgica.

Contudo, apesar das limitações ao uso desta matéria-prima, o HVO pode também ser obtido a partir de óleos de colza e girassol, ou mesmo a partir de OAU [38]. O uso de matérias residuais para a obtenção deste combustível pode conduzir a reduções de GEE na ordem dos 90%. Uma vez que o seu processo de transformação consome hidrogénio, a diminuição do impacto ambiental associado à sua produção está também condicionado à obtenção de "hidrogénio verde" (hidrogénio obtido em exclusivo com recursos a energias renováveis) [37].

Além de ser conjugado com o gasóleo fóssil, o HVO pode ainda ser conjugado com o biodiesel (FAME). Esta possibilidade permite exponenciar a introdução de matéria renovável nos combustíveis. Um dos produtos que aplica esta conjugação é o *Bluediesel* R33, descrito na figura 1.15, desenvolvido recentemente pelo grupo Volkswagen [40]. Uma das características deste combustível é a sua comprovada compatibilidade técnica, testada ao longo de mais de 26 milhões de quilómetros.

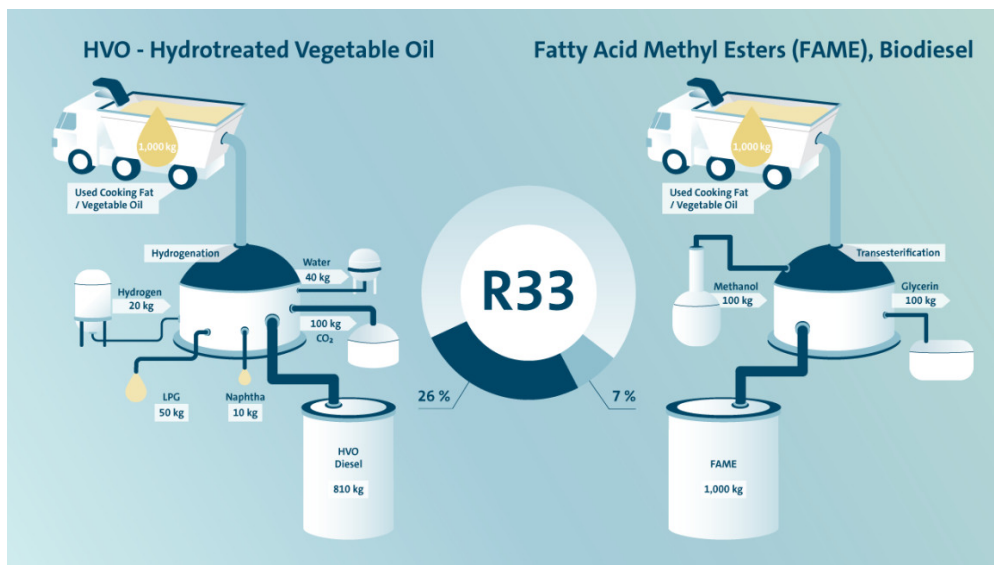


Figura 1.15: Constituição do combustível renovável "R33" desenvolvido pelo grupo Volkswagen [40].

Os dados mais recentes indicam que, em 2019, a produção de HVO na UE foi de 5,1 mil milhões de litros [41], sendo a Finlândia um dos maiores produtores. Os investimentos em capacidade produtiva anunciados pelas refinarias que integram este mercado, fazem crer que este valor irá aumentar nos próximos anos.

1.7.2 RCF - Recycled Carbon Fuels

Os *Recycled Carbon Fuels* (RCF) consistem em combustíveis produzidos a partir de resíduos não biológicos. Esta tecnologia considera a obtenção de combustível por aplicação de processos termoquímicos (como a pirólise e a gasificação) a lixos impossíveis de recuperar ou reciclar. Estes resíduos são maioritariamente provenientes das recolhas de lixo urbanas e dos sobrantes da atividade industrial [17].

Uma das matérias-primas utilizadas para obtenção deste combustível são os plásticos usados, compostos por uma elevada mistura de tipos de substâncias, uma vez que se tornam bastante difíceis de reciclar através de outros meios [42].

A obtenção deste combustível requer uma considerável atenção às emissões que resultam do processo de transformação como a pirólise. Este facto, associado a outros fins que são possíveis de dar a estes resíduos, levam a que seja um processo pouco expressivo na obtenção de combustíveis alternativos.

1.7.3 Combustíveis Sintéticos/E-Fuels

Os combustíveis sintéticos ou *e-fuels* (*electro fuels*) são combustíveis de base carbónica obtidos a partir de H_2O e CO_2 , considerados um RFNBO, uma vez que não utilizam matéria biológica na sua obtenção.

A obtenção destes combustíveis, observável na figura 1.16, remonta aos tempos da Segunda Guerra Mundial, onde a falta de acesso a matéria-prima fóssil determinou o desenvolvimento do processo *Fischer-Tropsch* para a produção de combustível em laboratório. A sua obtenção resulta da mistura e sintetização de H_2 e CO_2 num reator, resultando produtos líquidos ou gasosos como metano, gasolina ou gasóleo (denominado xTL). O processo de sintetização associado à produção destes hidrocarbonetos, explanado na figura 1.16, dá pelo nome de *Fischer Tropsch synthesis*.

O hidrogénio é maioritariamente obtido a partir da eletrólise da água. O CO_2 pode ser capturado diretamente da atmosfera ou da emissão associada a processos produtivos industriais, como o processo de produção de biocombustíveis. O processo de obtenção de ambos pressupõe um elevado custo energético, pelo que a sua sustentabilidade só consegue ser assegurada pela utilização de energias renováveis, como a eólica ou a solar.

A atratividade destes combustíveis tem que ver com a sua aplicabilidade direta em grande parte dos MCI, fruto das suas características bastante semelhantes aos combustíveis convencionais. Ao nível das infraestruturas, não necessitam igualmente de novos investimentos, podendo tirar partido das redes de transporte e distribuição já existentes. Do ponto de vista ambiental, a capacidade de capturar os gases com efeito de estufa e voltar a introduzi-los na produção de combustível torna-se bastante interessante, permitindo assim a reciclagem destes gases inseridos numa lógica de economia circular. Em relação aos biocombustíveis, tem como vantagens não concorrer com a utilização de solos para outros fins e não estar dependente da disponibilidade de biomassa ou de resíduos.

Apesar de a obtenção destes combustíveis de forma sustentável já ter sido testada [44], continuam a não existir fábricas de processamento e infraestruturas de captação de CO_2 a uma escala industrial. O elevado custo de obtenção destes combustíveis face a outras tecnologias renováveis, como os biocombustíveis, é o principal fator dissuasor de investimentos. Este elevado custo de produção está maioritariamente associado à aquisição da infraestrutura e ao processo de eletrólise para obtenção do hidrogénio [43]. Em Portugal, a aliança *P2X Portugal*, estabelecida entre a *Navigator* e *P2X Europe*,

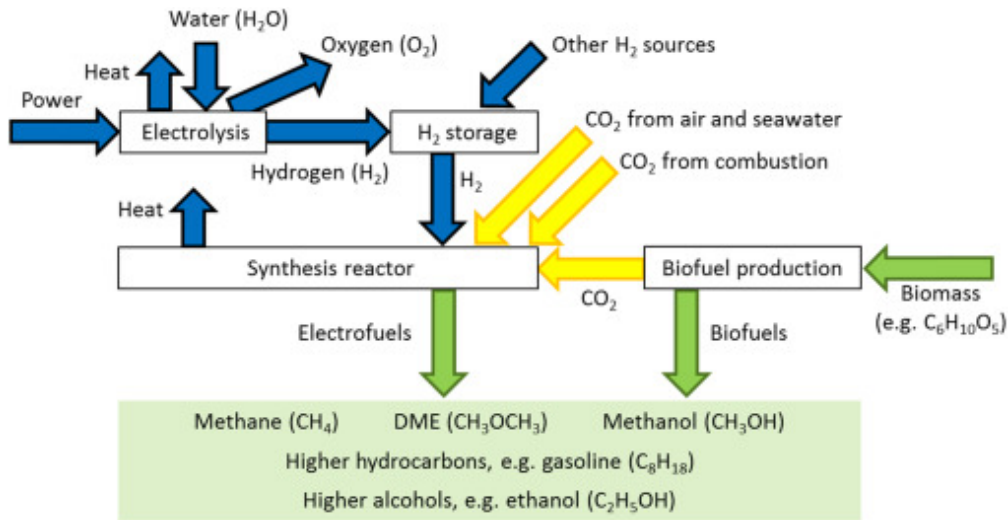


Figura 1.16: Processo de obtenção de combustíveis sintéticos [43].

estuda a instalação de uma inovadora unidade de obtenção destes combustíveis sintéticos na Figueira da Foz, com início de atividade para 2026 [45].

Os combustíveis sintéticos estão a começar a ser implementados em algumas provas desportivas motorizadas como o MotoGP ou a Fórmula 1 [46]. Além disso, construtores de automóveis como a Porsche, a Audi e a Toyota investigam também a sua viabilidade na utilização quotidiana. O contínuo desenvolvimento e investigação deste combustível, pode torná-lo uma alternativa interessante a médio-longo prazo [47].

1.8 Motivação

A principal motivação para a realização desta dissertação reside em tentar contribuir com conhecimento capaz de promover uma transição energética eficiente, célere, mas também justa e socialmente responsável. A mobilidade de pessoas e bens representa um setor chave para a efetividade da transição energética, facto que motiva a procura por soluções de mobilidade sustentável que potenciem a qualidade de vida dos ecossistemas, sem comprometer o desenvolvimento, conforto e liberdade conquistados ao longo das últimas décadas graças aos veículos motorizados.

1.9 Objetivos

Esta dissertação tem como principal propósito proceder a um levantamento completo do estado de arte do biodiesel, de modo a avaliar a sua preponderância futura. A geografia em estudo é o território português, contudo, sempre que possível é feito o paralelismo com a realidade europeia, dada a esfera de influência da UE sob os seus estados-membro. Assim, este objetivo principal subdivide-se em quatro subobjetivos:

- Desenvolver uma compreensão geral dos combustíveis renováveis, nomeadamente dos biocombustíveis, avaliando a sua preponderância no contexto das atuais metas e ambições ambientais;

- Interpretar a produção nacional de biodiesel, a legislação a que este está sujeito e identificar a sua pertinência no contexto do parque automóvel existente;
- Analisar o estado de arte atual sobre os impactos ambientais do biodiesel, nomeadamente através de uma revisão das ACV existentes;
- Identificar os fatores externos à penetração do biodiesel no mercado (de ordem técnica, política, legal, social e ambiental) e reconhecer os desafios e oportunidades que estes constituem.

Uma vez alcançados estes objetivos, será possível delinear o percurso e a integração do Biodiesel nas soluções de mobilidade do futuro.

1.10 Estrutura da Dissertação

Os tópicos em estudo nesta dissertação são de natureza vasta e algo densa. De forma a favorecer a navegação entre os vários conteúdos, o presente documento encontra-se dividido em 7 capítulos que, por sua vez, se dividem em secções e subsecções. Cada capítulo conta com um texto introdutório e uma síntese conclusiva relativa aos conteúdos nele abordados.

O **primeiro capítulo** procede a uma contextualização da situação energética, do sector dos transportes e das principais metas europeias e nacionais em matéria de energias renováveis e transição energética. São ainda caracterizados os diversos combustíveis renováveis alternativos aos combustíveis fósseis, com destaque para os biocombustíveis.

O **segundo capítulo** foca-se no biodiesel e relata as propriedades físicas e químicas que lhe são características, assim como a sua influência sob o desempenho, a durabilidade e a emissão de poluentes de um MCI. É ainda analisado o enquadramento regulamentar do biodiesel na legislação portuguesa.

O **terceiro capítulo** escrutina a produção de biodiesel. São estudados os principais processos e matérias-primas, é descrita a produção nacional de biodiesel (quantidades, intervenientes, matérias-primas e respetivas fontes) e compilados os principais investimentos previstos no setor das biorefinarias.

O **quarto capítulo** dedica-se a interpretar a simbiose entre o parque automóvel e a utilização do biodiesel. Neste são sondadas as características dos diferentes tipos de veículos, a sua evolução, volume de vendas e a compatibilidade dos mesmos com a incorporação física de biodiesel.

O **quinto capítulo** consiste numa revisão das principais Avaliações Ciclo de Vida (ACV) realizadas nos últimos anos, numa perspetiva do "poço ao tanque". Este capítulo, além de uma sucinta contextualização sobre o teor de uma ACV, analisa a sustentabilidade do biodiesel obtido a partir de diferentes matérias-primas e a influência que a geografia e as características do processo produtivo têm na pegada ambiental do produto final.

O **sexto capítulo** identifica os desafios e as oportunidades futuras para o biodiesel, num género de sumário do conteúdo colocado nos capítulos anteriores. De forma a melhor concluir acerca da penetração do biodiesel no mercado português são ainda realizadas duas análises pluridimensionais: a análise SWOT e a análise PESTEL.

O **sétimo e último capítulo** descreve as conclusões retiradas do trabalho desenvolvido e identifica futuros trabalhos na senda desta dissertação.

Capítulo 2

Biodiesel: Propriedades e Enquadramento regulamentar

O presente capítulo aprofunda os conhecimentos acerca do biodiesel, o biocombustível substituto do gasóleo cujas especificações seguem a norma EN 14214 [25]. O biodiesel é o biocombustível mais difundido na Europa e em Portugal, onde corresponde praticamente à totalidade da produção nacional de biocombustíveis. A nível europeu, o biodiesel representa 85% de todos os biocombustíveis consumidos [48]. Os elevados valores de consumo face a outros biocombustíveis justificam o maior foco que será atribuído ao biodiesel na presente dissertação. Como se verá no capítulo 4, este é um aprofundamento justificável também pelo parque automóvel predominantemente a gasóleo, sobretudo nos sectores mais difíceis de descarbonizar da economia, como o transporte de longo curso.

O capítulo começa por abordar as propriedades físicas e químicas do biodiesel e os impactos decorrentes da sua utilização em MCI. Indicadores como o desempenho, a emissão de poluentes e a durabilidade de um MCI são analisados com base em estudo anteriores. Esta análise é complementada pela observação de um caso real de incorporação de biodiesel puro (B100) por uma empresa portuguesa de transportes rodoviários.

O capítulo relativo ao biodiesel fica completo, com um enquadramento regulamentar e legislativo da sua produção e comercialização. Esta secção descreve a legislação a que este está sujeito e contextualiza a sua aplicação na realidade portuguesa, contando com os testemunhos recolhidos junto da Entidade Nacional para o Setor Energético (ENSE).

2.1 O que é o FAME?

Falar em biodiesel, segundo a legislação, é falar de *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME), em português éster metílico de ácidos gordos. Este consiste num combustível renovável, biodegradável e com baixo nível de toxicidade, que apresenta propriedades semelhantes ao gasóleo convencional de origem fóssil.

O FAME resulta da transformação de diversas matérias-primas que, tal como verificado no capítulo introdutório, lhe conferem diferentes classificações. Tem ainda associadas diversas técnicas produtivas, que têm inerentes também diferentes implicações ambientais e económicas.

Em termos químicos, o FAME é composto por ácidos gordos de ésteres, originados pela reação entre um óleo e um álcool na presença de um catalisador. A molécula de

FAME, $C_nH_{32}O_2$, tem uma composição química bastante semelhante à do gasóleo fóssil, sendo constituída maioritariamente por átomos de carbono e hidrogénio. A presença do oxigénio (inexistente na molécula de gasóleo) confere-lhe melhor capacidade de combustão.

2.2 Propriedades do Biodiesel

O biodiesel apresenta características semelhantes ao gasóleo fóssil, contudo, apresenta algumas propriedades físicas e químicas distintas. Estas propriedades, ao nível do biodiesel, variam mesmo consoante a proveniência da matéria-prima e as exigências impostas à sua transformação. Na figura 2.1 é possível comparar as propriedades do biodiesel FAME com as do gasóleo comum, de origem fóssil.

Tabela 2.1: Propriedade do biodiesel FAME face ao gasóleo comum (adaptado de [17]).

	Gasóleo	Biodiesel (FAME)
Fórmula Química	$C_nH_{1.8n}$	$C_{17}H_{32}O_2$
Densidade Líquido (kg/m^3)	820-870	850-885
Temperatura de Ebulição ($^{\circ}C$)	180-360	250-350
Temperatura de Ignição ($^{\circ}C$)	210	220
Poder Calorífico Inferior (PCI) (MJ/kg)	43	37
PCI líquido (MJ/L)	36	33
Estequiometria Air-Fuel	14	13
Índice de Cetano (IC)	45-55	45-65
Viscosidade (a $40^{\circ}C$)	2,0-3,5	3,5-5,5
Ponto de Inflamação($^{\circ}C$)	60-80	62

Em seguida explica-se de forma breve em que consistem estas propriedades e qual o seu impacto no funcionamento do motor de ignição por compressão.

Ponto de Inflamação

O ponto de inflamação, comumente designado por *flash point*, dá conta da inflamabilidade de um combustível. Este indica a temperatura a que se dá a ignição do combustível, quando o seu vapor se mistura estequiometricamente com o ar e é exposto a uma fonte externa de ignição (ex: faísca) [49]. O biodiesel, ao apresentar um *flash point* mais elevado demonstra ser um combustível ainda mais seguro que o gasóleo fóssil em termos de transporte e armazenamento.

Poder calorífico

Sinteticamente, o poder calorífico de um combustível consiste na quantidade de energia química que este tem disponível. O biodiesel apresenta um Poder Calorífico Inferior (PCI) abaixo ao do gasóleo, seja em volume (onde as reduções rondam os 9%), seja por litro. Ainda assim, a energia contida num litro deste combustível é bastante superior ao apresentado por outros combustíveis alternativos como o hidrogénio ou o GNC (Gás Natural Comprimido) para uma mesma quantidade. O menor poder calorífico do biodiesel, justifica o ligeiro aumento de consumo de combustível esperado aquando da utilização

deste combustível [17].

É de notar que o menor PCI se deve à própria composição molecular do FAME, uma vez que este tem presente o oxigénio. A própria relação estequiométrica acaba por ser inferior à do gasóleo comum, devido a essa mesma razão [50].

Potência

Como consequência de um poder calorífico inferior, ocorre uma redução de potência aquando da queima de Biodiesel. Teoricamente consideram-se perdas médias de potência na ordem dos 8%, contudo, vários estudos práticos mostram que este valor é bastante variável consoante as condições de utilização ou mesmo a própria matéria-prima do biodiesel [17] [51] [52]. Há estudos a reportar perdas de potência de apenas 5%, outros de 15% e há ainda autores a reportarem ligeiros ganhos de potência.

Densidade

Densidade é o peso por unidade de volume. A densidade do biodiesel é semelhante à do gasóleo comum, não se antevendo qualquer influência direta no desempenho do motor.

Viscosidade

A viscosidade determina a capacidade de um fluido se mover. Nos motores de combustão interna, o valor da viscosidade do combustível é particularmente importante. Sobretudo nas modernas tecnologias de injeção a alta pressão como o *common-rail* ou os injetores-bomba. A fluidez do combustível tende a diminuir quando este se encontra a temperaturas mais baixas, como acontece no momento de arranque do motor [50].

O biodiesel, fruto de uma maior estrutura e massa moleculares, apresenta maior viscosidade que o gasóleo comum. Esta menor fluidez pode mesmo provocar entupimentos e danos no sistema de injeção, sobretudo em situações de arranque nos climas mais frios [53], pelo que importa monitorizar de forma estrita a viscosidade do biodiesel que é colocado no mercado.

Índice de cetano

O Índice de Cetano (IC) representa a capacidade de um combustível se auto-inflamar após ser injetado. O biodiesel apresenta um valor mais elevado de IC, o que se traduz numa ignição facilitada e na possibilidade de alcançar maiores pressões e temperaturas durante a combustão [17], uma vez que se reduz o iato temporal entre o momento de injeção do combustível e a ignição propriamente dita. O IC acaba por influenciar também a emissão de gases de escape [50].

Lubricidade

Uma das propriedades inerentes ao gasóleo é a sua lubricidade, essencial ao bom funcionamento dos motores de ignição por compressão. Esta característica representa uma vantagem para o biodiesel, sobretudo após as limitações ambientais impostas à incorporação de enxofre no gasóleo comum (pois era um dos responsáveis por conferir lubricidade ao fluido). Esta crescente lubricidade permite, a par com a redução de atritos, um prolongamento da vida útil do motor [17] [51].

A isenção de enxofre na composição do FAME permite desde logo eliminar a possibilidade de geração de Dióxido de Enxofre (SO_2), o principal responsável pelas chuvas ácidas.

Capacidade de armazenamento

O biodiesel apresenta um teor de água bastante superior ao do gasóleo fóssil [50]. Este teor pode originar a corrosão de alguns componentes do motor e, ao mesmo tempo, promove um ambiente favorável ao desenvolvimento de bactérias [54]. Estas bactérias geram sedimentos e lamas no depósito que acabam por também promover a obstrução dos canais e filtros de combustível. Dada esta suscetibilidade à contaminação e formação de depósitos, considera-se que o biodiesel tem fraca capacidade de armazenamento por longos períodos de tempo.

Poder dissolvente

O biodiesel tem uma acidez que se relaciona com a quantidades de ácidos gordos livres presentes. Estes compostos carbonatados surgem naturalmente nos óleos e nas gorduras. A elevada presença destes ácidos aumenta a acidez do combustível e, consequentemente, a sua capacidade dissolvente [54] [17]. Se por um lado permite que não se gerem depósitos de resíduos no motor, por outro lado pode provocar entupimentos aquando das primeiras utilizações. Elementos como filtros de combustíveis devem ser mudados mais frequentemente, fruto da maior agressividade do combustível. Esta agressividade é também responsável por a destruição precoce de alguns elastómeros do motor [50].

2.3 Limitações à Incorporação de Biodiesel: Desempenho, Durabilidade e Emissão de poluentes

A incorporação de biodiesel leva a algumas alterações do comportamento do motor ao nível do desempenho, durabilidade e emissão de poluentes. Estas alterações diferem consoante diversos fatores como:

- Compatibilidade e estado de conservação do motor;
- Condições de utilização;
- Matéria-prima e respetivo processo de obtenção do biodiesel;
- Percentagem de incorporação de biodiesel.

A variabilidade de cenários em que os diferentes estudos ocorrem, torna difícil tirar ilações dos vários artigos revistos. Uma comparação fiável exigia que todos os testes fossem realizados sob as mesmas condições de operação.

A utilização de combustível com elevada quantidade de biodiesel pode levar, em parte, à alteração do comportamento do motor. Os maiores problemas decorrentes da utilização de biodiesel foram reportados aquando da sua introdução inicial no mercado. Estes problemas deveram-se a um menor grau de desenvolvimento do biocombustível produzido à época, mas também à não compatibilidade de certos motores e dos próprios planos de manutenção com as incorporações usadas.

Emissões Poluentes

As emissões associadas à queima de biodiesel são, teoricamente, inferiores às resultantes da queima do gasóleo comum. Contudo, esta sentença não se aplica a todos os poluentes por igual. Ademais, a medição destas emissões revela-se bastante sensível às condições em que decorre (tipo de motor, carga do motor, condições ambiente, origem e qualidade do biodiesel, condições de manutenção, velocidade de rotação do motor...)[51].

Os estudos existentes aprofundam as medições relativas aos principais poluentes resultantes da combustão: **CO**, **NO_x**, **HC** e **Matéria particulada**.

A generalidade dos estudos reportam uma diminuição das emissões de Hidrocarbonetos, Matéria Particulada e Monóxido de Carbono aquando da incorporação de biodiesel no combustível [51] [55] [56][57]. Contrariamente, as emissões de NO_x registam valores mais elevados face à queima de gasóleo comum. A emissão deste poluente pode ser superior em 10 a 30% consoante o biocombustível utilizado e as condições em que as medições são efetuadas. A maior emissão de NO_x deve-se ao maior índice de cetano e teor de oxigénio do biodiesel, que proporcionam uma menor temperatura de combustão. Uma vez que a emissão de NO_x está inversamente relacionada com a temperatura de combustão, a emissão deste poluente acaba por aumentar. Um aumento que se regista proporcional à carga aplicada ao motor [57] [58]. O uso de sistemas de tratamento de gases de escape, como os sistemas *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) e *Selective Catalytic Reduction* (SCR), permitem reduzir a emissão de NO_x. Porém, a eficácia deste sistema está dependente da sua otimização para funcionar com as condições de operação do biodiesel. Segundo o estudo [51], o atraso do momento da injeção poderá reduzir as emissões de NO_x até 40% [58][51][57]. Contudo, esta alteração acaba por impactar negativamente a emissão de outros poluentes, estando a sua aplicação dependente das especificidades de cada motor. Alguns estudos sugerem ainda a incorporação de aditivos metálicos e emulsificantes como forma de reduzir estas emissões [58]. Contudo, é sugerida uma maior investigação relativa às possíveis consequências da sua utilização. Outro estudo [58] sugere a adição de pequena quantidade de hidrogénio no momento em que o combustível se encontra na câmara de combustão, como forma de reduzir as emissões resultantes da combustão, nomeadamente os NO_x.

A incorporação de biodiesel reduz as emissões de Monóxido de Carbono em cerca de 25%, consoante a matéria-prima que dá origem ao biodiesel [57]. A redução é proporcional ao aumento de incorporação de biodiesel. Esta redução é explicada pelo maior teor de oxigénio do biodiesel, que permite uma queima mais eficaz deste combustível [51]. Constata-se ainda o importante impacto nestas emissões da carga aplicada ao motor. As emissões de CO tendem a diminuir com o aumento da velocidade do motor [57].

A emissão de hidrocarbonetos, à semelhança do monóxido de carbono, reduz proporcionalmente ao aumento da incorporação de biodiesel [57]. Esta redução pode ir até 20% face ao gasóleo comum. Contrariamente aos outros poluentes, não há uma correlação explícita entre a carga aplicada ao motor e a emissão de hidrocarbonetos. [55]

Uma maior incorporação de biodiesel, gera também uma redução ao nível da matéria particulada emitida, fruto dos menores compostos sulfurosos e aromáticos deste combustível [57]. Porém, é de ressaltar o aumento destas emissões em condições de arranque a frio. Nessa situação, as emissões podem mesmo ser ligeiramente superiores às do gasóleo comum [51]. A incorporação de aditivos à base de metais pode resultar numa maior diminuição destas emissões, por via do efeito catalisador gerado [57].

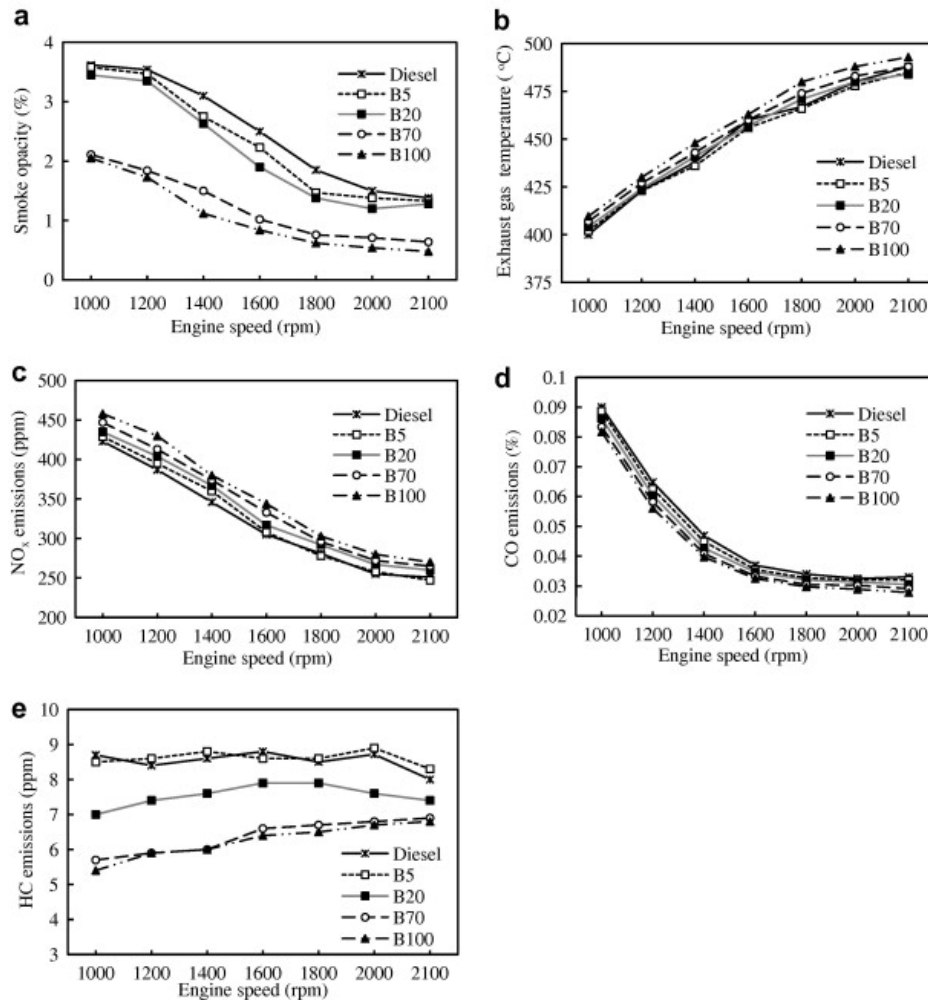


Figura 2.1: Emissões associadas à utilização de combustível obtido a partir de óleo de colza com diferentes incorporações de biodiesel num motor de injeção direta, turbo-alimentado, em regime de carga máxima do motor [59].

O estudo [59] analisa as emissões de um motor de um veículo pesado, seis cilindros com injeção direta, turbo-alimentado e com 164 kW. A análise foi realizada tendo em conta diferentes cargas aplicadas ao motor e contemplou a utilização de misturas B0, B5, B20, B70 e B100 de biodiesel proveniente de óleo de colza. Excetuando as emissões de NO_x , onde se registou um aumento de emissões na ordem dos 12%, todos os outros poluentes mostraram vantagem em utilizar maiores incorporações de biodiesel.

Durabilidade

Esta dissertação não tem como foco de estudo aprofundar as consequências técnicas decorrentes da utilização massiva de biodiesel. Contudo, foi efetuada uma pesquisa de forma a perceber os impactos que este pode ter na durabilidade do motor. A tabela 2.2 compila alguns dos principais problemas reportados por diversos autores que estudaram a utilização de biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas. Problemas estes

associados às diferenças físicas e químicas observadas na secção 2.2.

Tabela 2.2: Problemas resultantes do uso de elevadas misturas biodiesel em MCI [54] [60].

Possível problema	Causa
Obstrução de filtros e injetores	Presença de glicerina e produtos polimerizados
Deterioração acelerada do óleo do motor	Gorduras polinsaturadas
Dificuldades de arranque a frio	Viscosidade elevada
Acumulação de compostos de cera nos componentes da câmara de combustão	Viscosidade elevada, oxidação
Corrosão de componentes do sistema de injeção	Presença de água e ácidos corrosivos
Dificuldades na injeção de combustível	Elevada viscosidade
Perda de elasticidade dos elastómeros	Presença de metanol e água

A variedade de condições em que os estudos de durabilidade existentes são efetuados, não permitem inferir uma conclusão exata acerca dos efeitos do biodiesel na durabilidade de um motor. A generalidade dos estudos dão conta de resultados positivos decorrentes da utilização de biodiesel [57], verificando-se inclusivamente algumas melhorias ao nível da durabilidade do motor (fruto da maior lubrificidade) e da reduzida formação de depósitos (dada a menor formação de fuligem na combustão).

Segundo um outro artigo [61], as principais diferenças percecionadas ao nível da manutenção consistiram numa degradação mais acelerada da viscosidade do óleo do motor e uma maior degradação dos elastómeros. Mesmo em testes de duração prolongada (> 50.000km) não são reportadas outras diferenças ao nível da manutenção e desgaste.

Ainda assim, mesmo que pontuais, importa ter conhecimento dos problemas decorrentes da utilização de biodiesel. O reporte destes problemas técnicos tem levado ao desenvolvimento de motores adaptados à utilização de biodiesel. Esta tendência é observável na maior compatibilidade que vem sendo assegurada pelos fabricantes automóveis.

Desempenho

O desempenho ou *performance* de um motor reflete-se sobretudo no binário que este disponibiliza, na eficiência térmica (*brake thermal efficiency*) e no consumo de combustível específico (*brake specific fuel consumption*). Ao nível do utilizador, de forma simplista, percebe-se através de uma maior ou menor solicitação do motor para uma mesma posição do acelerador.

É esperado que o menor PCI do biodiesel observado na secção 2.2, se traduza num maior consumo de combustível para uma mesma taxa de eficiência [17].

O estudo [62] analisou o comportamento de misturas B20 e B40 de biodiesel proveniente de OAU's. Para o efeito utilizou um moderno motor common-rail. Ao nível da performance não foram registadas diferenças entre o combustível com 20% de biodiesel e o diesel fóssil. Quando a incorporação escalou para os 40% foi registado um ligeiro aumento no consumo [62].

Um outro estudo [57], procurou compilar os trabalhos mais relevantes da primeira década do presente século relativos ao desempenho de MCI alimentados por biodiesel. Ao nível da potência, na generalidade dos estudos, são relatadas perdas de potência na ordem dos 5 a 10%. No entanto, estas perdas não são perceptíveis numa comum utilização quotidiana. Há, contudo, autores que reportam um aumento de potência decorrente da incorporação de biodiesel. Segundo estes autores, a potência aumenta até uma certa percentagem de incorporação (não superior a 20-30%). Após esse valor é registada uma perda de potência gradual à medida que o combustível se aproxima do biodiesel puro (B100) [57]. O ligeiro aumento de potência para misturas até 30% de biodiesel, decorre da maior lubricidade (que conduz a menores perdas por atrito) e do índice de cetano mais elevado (que proporciona um avanço do momento de ignição) que lhe são inerentes [57].

Ao nível do consumo, é consensual o seu aumento proporcionalmente à quantidade de biodiesel incorporado, uma consequência do menor PCI e maior viscosidade do biodiesel. O aumento do consumo surge no sentido de compensar a perda de potência. Embora diferindo entre os diversos autores, os aumentos de consumo situaram-se entre os 4 e os 10% [57]. A generalidade dos estudos compilados [57] mostram ainda que a incorporação de aditivos que melhorem a ignição e *performance* da combustão influenciam positivamente a potência gerada pelo motor (e, consequentemente, o consumo de combustível).

Um artigo do autor Lapuerta [51] compila também os efeitos decorrentes da utilização de biodiesel na performance do motor. Este autor restringe a pesquisa a estudos realizados em motores de quatro cilindros, turbo-alimentados e de injeção direta. Uma das estruturas de motor mais comuns no mercado automóvel europeu a gásóleo. O artigo analisou cerca de uma centena de estudos. Noventa e oito destes estudos reportaram aumentos no consumo de combustível proporcionais à quantidade de biodiesel incorporada no combustível [51]. A utilização de biodiesel puro originou aumentos de consumo na ordem dos 9% (em volume). Já as maiores perdas de potência são reportadas em situações onde se aplica pressão máxima no acelerador, onde as perdas de potência rondam os 8%. Contudo, tal como no estudo anterior, há autores que reportam aumentos de potência para certos valores de incorporação [51].

A eficiência térmica não registou diferenças consideráveis decorrentes da utilização de biodiesel. As diferenças registadas atribuem um aumento da eficiência decorrente da utilização de biodiesel [51]. Estas observações mostram que a diminuição de potência não resulta da eficiência do motor, mas sim do menor poder calorífico do combustível.

O estudo [51] concluiu que a utilização de biodiesel só causa perdas de potência em situações onde se necessita de extrair a potência máxima do motor. A perda de potência acaba por ser inferior à diferença de poder calorífico entre o biodiesel puro e o gásóleo comum (em volume), uma vez que a menor formação de fuligem e o avanço do momento da combustão permitem recuperar parcialmente a mesma [51].

Uma revisão de artigos mais recente [56], efetuada em 2017, corrobora as conclusões retiradas nos artigos de revisão anteriores. O estudo procurou sintetizar informação relativa ao biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas, concluindo ainda que a

incorporação de 20% de biodiesel (B20) pode ser aplicada nos MCI sem necessidade de alterações prévias [56].

2.3.1 Incorporação de Biodiesel em Situações de Utilização Real

A variabilidade de considerações encontradas na literatura no que concerne à prestação do biodiesel, motivou a procura de casos concretos de incorporação em situações reais de utilização. Procurou-se encontrar casos relativamente recentes que fossem de encontro à realidade nacional, principal geografia em estudo nesta dissertação. O estudo levado a cabo recentemente pela Carris, incorporando em algumas das suas carreiras biodiesel produzido em Portugal, motivou o contacto com esta entidade para a recolha de informações e testemunho acerca do projeto piloto.

A Carris é a principal empresa de transportes públicos rodoviários da região de Lisboa, contando com 745 autocarros a circular diariamente. A procura por soluções de mobilidade mais sustentável motivou a empresa a testar a implementação de biodiesel puro (B100) em alguns dos seus autocarros



Figura 2.2: Autocarros da carris movidos integralmente a biodiesel [63].

As especificidades dos autocarros utilizados constam da tabela 2.3. A fase comparativa decorreu entre novembro de 2018 e junho de 2019, contando com 3 autocarros movidos inteiramente a biodiesel (B100) e outros três autocarros movidas a gasóleo comum (B7). Os autocarros, com iguais especificidades técnicas, efetuavam habitualmente o mesmo percurso. As características do percurso eram relativamente heterogéneas, percorrendo zonas com diferentes declives e volumes de tráfego. O biodiesel consumido derivou da transformação de Óleos Alimentares Usados e foi fornecido pela biorrefinaria portuguesa Prio.

Os autocarros inteiramente movidos a biodiesel registaram um aumento de consumo face ao gasóleo convencional na ordem dos 4,56% [63]. Não foram relatadas perdas de potência por parte dos condutores ou quaisquer outras alterações ao nível da condução.

Tabela 2.3: Consumos registados no projeto piloto de introdução de B100 pela Carris (adaptado de [63]).

	B100	B7
Modelo	MAN 14.240 HOCL	
Ano	2008 (Euro IV*)	
Quilómetros percorridos	104 879	83 150
Consumo total (em litros)	61975	46 992
Consumo médio (l/100km)	59,08	56,50

Segundo este relatório, a utilização de biodiesel permitiu evitar, na totalidade do projeto, a libertação de 500 toneladas de CO₂ para a atmosfera.

Os autocarros foram ainda acompanhados pelo departamento de manutenção de viaturas da empresa, que não identificou quaisquer alterações nos componentes do motor (filtros, sistema de injeção, fluidos...) [63].

A empresa mostrou-se satisfeita com os resultados, expressando interesse em expandir a utilização de biodiesel nas suas frotas. Aquando do contacto com a empresa, a mesma reconheceu estar já a trabalhar junto de diversos *stakeholders* para a implementação de novas iniciativas na área dos biocombustíveis. O único ponto negativo identificado, prendeu-se com o custo da opção B100. Ainda que não tenha sido revelado, a empresa confirmou um maior custo por quilómetro face ao gasóleo comum comercializado em igual período.

2.4 Enquadramento Regulamentar e Certificações

Os biocombustíveis, além de estarem sujeitos aos critérios estipulados nas metas ambientais, são ainda sujeitos a leis e normas que regem a sua qualidade, aplicabilidade e sustentabilidade, discriminadas na tabela 2.4. Os regulamentos estendem-se aos próprios incorporadores e produtores de biocombustíveis e são determinados em concordância com as metas europeias e nacionais. Perceber o enquadramento regulamentar dos biocombustíveis revela-se essencial à compreensão dos investimentos e potencialidades futuras dos mesmos.

As normas têm um carácter mais técnico e universal, com o intuito de assegurar a qualidade e propriedades dos biocombustíveis colocados no mercado. Já as leis, resultam da conjugação dos fatores de ordem técnica, económica e social, procurando, através da obrigatoriedade, garantir a convergência dos vários intervenientes com as metas e objetivos estipulados em matéria ambiental. Embora sejam de cariz nacional, resultam maioritariamente da transposição das diferentes legislações europeias.

Existem ainda as certificações, emitidas por entidades creditadas, que acabam por realçar e reconhecer práticas destacadas em relação aos critérios mínimos obrigatórios. No caso concreto dos biocombustíveis estas certificam a adoção de práticas sustentáveis.

Em Portugal é a Entidade Nacional para o Setor Energético (ENSE), a principal responsável por garantir o cumprimento da legislação no que concerne aos biocombustíveis, competindo-lhe periodicamente [64]:

- Fiscalizar as metas de incorporação nacionais obrigatórias nos combustíveis rodoviários;

- Fiscalizar o cumprimento das normas de promoção da utilização de biocombustíveis por parte dos produtores e incorporadores;
- Emitir e cancelar Títulos de Biocombustível (TdB);
- Efetuar recolhas de combustível, com o intuito de controlar a sua qualidade;
- Realizar ações de fiscalização e controlo em matéria de biocombustíveis;

Dado o âmbito de atuação da ENSE, foi levada a cabo uma reunião com a mesma, por forma a melhor compreender o sistema legislativo dos biocombustíveis, nomeadamente em matéria de incorporação e emissão de TdB. As informações recolhidas são expressas nesta secção.

Tabela 2.4: Principais Decretos-Lei por que se rege o mercado português de biocombustíveis [65].

Decreto-lei	Data de publicação	Âmbito
Decreto-Lei n.º 8/2021	20 de janeiro de 2021	O presente decreto-lei procede à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 117/2010, procedendo também à atualização das metas de incorporação de biocombustíveis no mercado nacional.
Decreto-Lei n.º 12/2020	6 de abril de 2020	Estabelece o regime jurídico aplicável ao comércio de licenças e emissão de gases com efeito de estufa, transpondo a diretiva (UE) 2018/410.
Diretiva (UE) 2008/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho	11 de dezembro de 2018	Procede à reformulação da Diretiva (UE) 2009/28/CE, promovendo a utilização de energia proveniente de fontes renováveis.
Decreto-Lei n.º 152-C/2017	11 de dezembro de 2017	Transpõe a Diretiva (UE) 2015/1513, que altera a Diretiva 98/70/CE relativa à qualidade da gasolina e do combustível para motores diesel e a Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

2.4.1 Títulos de Biocombustíveis

Os Títulos de Biocombustível (TdB) são uma unidade de medida criada para comprovar a incorporação de biocombustíveis no mercado. Um TdB representa a incorporação de 1 Tep de biocombustível. A sua emissão, a cargo da ENSE, está pendente do cumprimento dos critérios de sustentabilidade descritos no Decreto-Lei em vigor [25], cabendo esta verificação ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Os TdB poderão também vir já associados ao biocombustível importado pelos incorporadores nacionais, desde que acompanhados por documentação que comprove a sua natureza e origem. Os títulos de biocombustíveis são classificados, consoante o combustível fóssil que visam substituir, da seguinte forma:

- TdB-A, corresponde a um TdB de biocombustível avançado;
- TdB-D, corresponde a um TdB de um biocombustível substituto do gasóleo;
- TdB-G, corresponde a um TdB de um biocombustível substituto da gasolina;
- TdB-O, corresponde a um TdB de um biocombustível que substitua outro combustível que não a gasolina ou o gasóleo.

A incorporação de biocombustível obtido a partir de matérias-primas constantes do anexo IV do Decreto-Lei n.º 117/2010, de 25 de outubro, na redação dada pelo Decreto-Lei n.º 152-C/2017 (ver anexo A do presente documento), pressupõe que sejam emitidos 2 TdB por cada tep incorporada. O biocombustível obtido a partir destas matérias-primas é considerado avançado ou residual, funcionando este sistema de dupla contagem como um incentivo à incorporação do mesmo.

Em 2021, Portugal registou uma elevada importação de títulos de biocombustível. As importações ocorreram maioritariamente para os títulos de biocombustível avançado (TdB-A), uma vez que a produção deste género de combustíveis em Portugal é praticamente inexistente [66]. Em diálogo com a ENSE, foi possível constatar que a importação de TdB's se deve também, em parte, à inexistência de um mercado nacional robusto de compra e venda destes títulos.

2.4.2 Taxa de Incorporação

O biodiesel é maioritariamente consumido em mistura com gasóleo fóssil. Estas misturas podem ter diferentes taxas de incorporação, dependentes da legislação em vigor.

A quantidade de biodiesel presente na mistura (em percentagem) corresponde ao número que sucede à letra B. Ou seja, um gasóleo B10 apresenta uma incorporação física de biodiesel, em volume, no valor de 10%. Os restantes 90% desta mistura B10 correspondem a gasóleo fóssil. Já o biodiesel B100 refere-se a um combustível constituído inteiramente por biodiesel. Presentemente, em Portugal, comercializa-se gasóleo com uma incorporação física de 7 por cento de biodiesel em volume (B7) [49].

O Decreto-Lei nº 8/2021 [25] estipula como obrigatória a incorporação de 11% de biocombustíveis, em teor energético, no combustível rodoviário introduzido a consumo pelos incorporadores nacionais (exceto GPL e Gás Natural). O cumprimento desta meta não pode recorrer a uma incorporação de biocombustíveis convencionais superior a 7% em volume energético. Este teto máximo prende-se com a ambição de diminuir o consumo destes biocombustíveis concorrentes com culturas alimentares. Por sua vez, é estabelecida como sub-meta mínima obrigatória, a incorporação de 0,5% biocombustíveis avançados, em teor energético. Estes biocombustíveis são obtidas a partir das matérias-primas constante da parte A do anexo IV do Decreto-Lei 8/2021 [25] e encontram-se discriminadas no anexo A da presente dissertação.

Em Portugal, segundo a ENSE, a taxa média de incorporação física de biocombustível em 2021 foi de 6,45% (em volume de combustível). Um valor, ainda assim, abaixo dos 7% de incorporação em volume permitidos pela legislação. A incorporação de biocombustíveis avançados foi três vezes superior (1,7%) ao mínimo estipulado por lei.

O não cumprimento das metas de incorporação estipuladas por lei obriga ao cumprimento de determinadas sanções. Por cada TdB não incorporado, é imposta atualmente uma sanção de 1198 euros [25]. O incumprimento destas obrigações tem vindo a aumentar paulatinamente, situando-se em 2021 nos 6%. Em 2013, a percentagem de incorporadores que desrespeitavam os valores a incorporar de biocombustíveis era de apenas 0,5%. Segunda a ENSE, este desrespeito pelas obrigações estipuladas pode estar relacionado com a diminuição da obrigação sancionatória para cerca de metade. Uma diminuição a que a ENSE se mostra relutante, reafirmando que a existência de um mercado nacional de TdB ajudaria a diminuir esta taxa de incumprimento.

Tabela 2.5: Incorporação de biocombustíveis nos combustíveis rodoviários introduzidos no mercado.

	% de Incorporação em Teor Energético
Biocombustíveis (em geral)	$>11\%$
Biocombustíveis Convencionais	$\leq 7\%$
Biocombustíveis Avançados	$\geq 0,5\%$

2.4.3 Normas Europeias (EN) aplicáveis ao Biodiesel

Qualidade do Combustível: EN 590

A norma EN 590 descreve as propriedades do gasóleo, garantindo a qualidade do mesmo a nível europeu. Esta norma autoriza uma incorporação de biodiesel FAME em até 7% em volume, desde que este biodiesel cumpra os requisitos da norma EN14214. Para efeitos de qualidade, o gasóleo com incorporação física de FAME (B7) é considerado exatamente igual ao gasóleo sem incorporação. O volume de incorporação máximo definido, conjuga as aspirações ambientais com as limitações técnicas dos motores por compressão existentes no mercado e tem vindo a aumentar ao longo dos anos [67]. Todos os construtores automóveis que desenvolvem motores a gasóleo têm de ter em conta a sua compatibilidade com esta norma. É também esta norma que garante as diferentes especificidades do combustível consoante a estação do ano e a região geográfica.

Especificidades do biodiesel FAME: EN 14214, EN 16709 e EN 16734

A EN 14214 é uma norma europeia que estabelece as especificidades do biodiesel FAME e descreve os métodos de teste a essas mesmas especificidades. É assim garantida a qualidade do biodiesel colocado no mercado, independentemente da matéria-prima que lhe dá origem ou do processo de transformação que este sofre. Além desta norma, existem ainda outras específicas a diferentes incorporações de biodiesel nos veículos comercializados na União Europeia. Os veículos adaptados à utilização de dada percentagem de biodiesel, são desenvolvidos tendo por base a norma correspondente. Por exemplo, a norma EN 16709 menciona os métodos e testes a realizar ao combustível empregue em motores compatíveis com B20 ou B30, enquanto que a norma EN 16734 é relativa ao combustível de veículos adaptados à utilização de B10. Já para veículos adaptados à utilização de B100, a norma que garante a compatibilidade do biodiesel é a EN 14214[67].

2.4.4 Certificações

Além das entidades fiscalizadoras, existem entidades habilitadas a certificar especificamente a efetiva sustentabilidade do biodiesel e do seu processo produtivo, bem como os seus padrões de qualidade.

A nível internacional, o sistema de certificação **ISCC** (International Sustainability and Carbon Certification) é a maior referência. Esta reconhecida entidade certificadora atua em vários sectores da sociedade, nomeadamente o da energia [68]. O maior produtor de biodiesel em Portugal conta já com largos anos de certificação por parte desta entidade.

A certificação **REDcert** surge num contexto mais Europeu, onde tem o seu principal mercado de atuação. Esta norma, direcionada à certificação de sistemas de biomassa sustentável e biocombustíveis surge alinhada com as exigências da diretiva RED II. O seu objetivo é apoiar os vários atores deste setor, certificando-os e orientando-os na implementação de práticas sustentáveis. Ao nível dos biocombustíveis, esta certificação abrange todo o processo de produção, desde o cultivo e obtenção da matéria-prima [69].

2.5 Síntese Conclusiva

O biodiesel, ainda que bastante semelhante ao gasóleo fóssil, pressupõe algumas diferenças físicas e químicas que se materializam em alterações à emissão de poluentes, ao desempenho do motor e ao consumo de combustível. No entanto, as alterações decorrentes da utilização de biodiesel não são lineares e dependem de fatores como: a qualidade do processo de obtenção de biodiesel e respetivo armazenamento, as especificidades técnicas e estado de conservação do MCI e das condições de utilização que são impostas aos veículos movidos por este biocombustível.

Os vários estudos já realizados, são consensuais quanto à diminuição de poluentes como os HC, os SO₂, o CO e a Matéria Particulada de forma proporcional ao aumento de incorporação de biodiesel. O consumo de combustível e a emissão de NO_x tendem também a aumentar com a percentagem de incorporação, ainda que no caso do NO_x o aumento esteja relacionado com a calibração dos sistemas de tratamento dos gases de escape. O desempenho e durabilidade do motor, não são regra geral afetados em situações de condução quotidianas, fruto também da crescente qualidade imposta pelos processos de certificação ao biodiesel comercializado.

As implicações da utilização de biodiesel são um dos fatores determinantes na definição de medidas legislativas que promovam e regulem o seu consumo. A legislação, através das obrigações de incorporação em TdB, é responsável por a crescente disponibilidade deste biocombustível, que é ainda reforçada pela fiscalização do cumprimento das obrigações legislativas. A existência de um mercado nacional para a comercialização de títulos de biocombustíveis fomentaria também o cumprimento das obrigações, contudo este é praticamente inexistente em Portugal.

A incorporação de biodiesel em teor energético tem vindo a aumentar, contudo, o mesmo não se verifica para os limites impostos pela legislação à sua incorporação física. Este aumento, além das limitações de ordem técnica, está dependente da capacidade produtiva e da sustentabilidade do próprio processo de obtenção. Este facto justifica a atenção que será dedicada, no capítulo seguinte (capítulo 3), à produção de biodiesel.

Capítulo 3

Produção de Biodiesel: Processos de Obtenção, Capacidade e Matérias-primas

O presente capítulo aborda o processo produtivo do biodiesel, começando por uma breve caracterização das técnicas de obtenção. São exploradas as vantagens e desvantagens dos principais métodos produtivos, apresentando-se as técnicas capazes de transformar a produção de biodiesel no futuro. É ainda explorado o fim a dar ao principal co-produto da produção atual de biodiesel, o glicerol.

São também analisadas as principais matérias-primas que originam o biodiesel, bem como a teórica vantagem ambiental que lhe está associada.

O capítulo retrata ainda a produção de biodiesel, de forma extensiva em Portugal, e de forma mais geral no contexto Europeu. São analisadas as fontes de matéria-prima, os principais produtores e as quantidades produzidas por estes. A predominância do biodiesel obtido a partir de OAU, justifica ainda um olhar atento sobre a reciclagem desta matéria-prima em Portugal e do seu potencial futuro na obtenção de biodiesel.

3.1 Processos de Obtenção de Biodiesel

O processo produtivo de biodiesel pressupõe a existência de diferentes fases e métodos produtivos, consoante a matéria-prima em causa e as suas características. Associados aos diferentes processos produtivos, estão também diferentes custos e impactos ambientais.

A utilização de matérias como sementes e algas pressupõe duas fases principais. Uma primeira fase, onde é extraído e refinado o óleo vegetal da matéria-prima (ex: sementes, algas, etc) e uma segunda fase onde esse mesmo óleo é convertido no biodiesel propriamente dito [70]. Os OAU's, por sua vez, pressupõem apenas a existência da fase de conversão em biodiesel, uma vez que já se encontram sob a forma de óleo.

A fase de conversão de óleos vegetais ou residuais em éster metílico pode seguir vários processos. A tabela 3.1 resume os principais processos de conversão e os pontos positivos e negativos que lhes estão associados.

Tabela 3.1: Principais processos de obtenção de biodiesel (adaptado de [50], [52], [70] e [71]).

Processo	Vantagens	Desvantagens
Destilação Catalítica	Fácil separação dos produtos	Uso de solventes e taxa de conversão volátil
Diluição	Processo simples	Alta viscosidade Baixa volatilidade Baixa estabilidade Má qualidade do produto final
Craqueamento	Processo simples Baixo impacto ambiental	Gasto energético Custo do equipamento Baixa pureza do produto final
Destilação reactiva	Processamento de grandes quantidades de matéria Facilidade do processo	Gasto energético Baixa eficiência do catalisador
Esterificação	Eficiência do processo de conversão Custo reduzido	Consumo de água Consumo energético Limitada compatibilidade com as várias matérias-primas
Transesterificação	Eficiência do processo de conversão Custo reduzido Boa adaptabilidade	Consumo de água Consumo energético Separação dos produtos da reação
Transesterificação supercrítica (não-catalítica)	Tempo curto de reação Boa adaptabilidade Ausência de solventes e catalisadores	Custo do equipamento Consumo energético Necessidade de altas pressões e temperaturas
Transesterificação assistida por microondas	Boas propriedades do produto final Baixo custo de obtenção Conversão eficiente	Necessidade de neutralizar e lavar previamente os produtos da reação

Craqueamento

A obtenção de **biodiesel por craqueamento** pode ocorrer através de um processo térmico (hidrólise) ou catalítico. O biodiesel obtido por craqueamento não requer o uso de álcoois, nem produz glicerina. No processo térmico, a degradação dos óleos e gorduras é obtida através da sua submissão a temperaturas e pressões muito elevadas na ausência de oxigénio. Por sua vez, o processo catalítico recorre a esta mesma decomposição através da presença de agentes catalisadores como os óxidos de alumínio e de sílica. O processo catalítico, ao utilizar pressões menos elevadas e apresentar um maior rendimento da reação, posiciona-se como alternativa evolutiva face ao processo de hidrólise [70] [71].

Contudo, independentemente do método, o processo de craqueamento está associado a alguns problemas técnicos e a um elevado consumo energético, resultando também num custo de produção mais elevado. Razões estas que levam à sua desconsideração face a outros processos, nomeadamente para produções de larga escala.

Transesterificação

O **processo de transesterificação** é o mais comum na obtenção de FAME [52] [72] [73]. Genericamente, consiste na reação entre um álcool e um triglicerídeo na presença de um catalisador, originando a produção de éster metílico e glicerol 3.1.

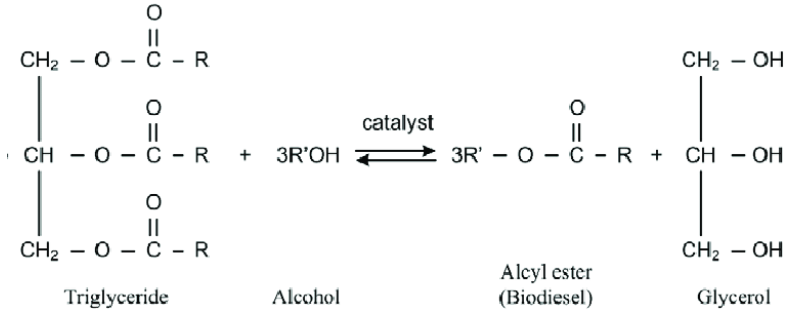


Figura 3.1: Reação de Transesterificação [17].

O processo pressupõe a existência de mais duas fases além da reação de transesterificação, como é observável na figura 3.2. Uma fase de pré-tratamento, a ocorrer antes da reação, e uma fase de purificação do produto final, a ocorrer após a reação principal.

A **fase de pré-tratamento** varia consoante a matéria-prima a introduzir no processo, contudo o seu intuito é transversal: eliminar impurezas e compostos indesejáveis, fomentando um maior rendimento da reação e uma melhor qualidade do produto final. Os processos de pré-tratamento mais comuns são a redução de ácidos gordos livres (no caso dos OAU's), a filtração, a secagem e o branqueamento.

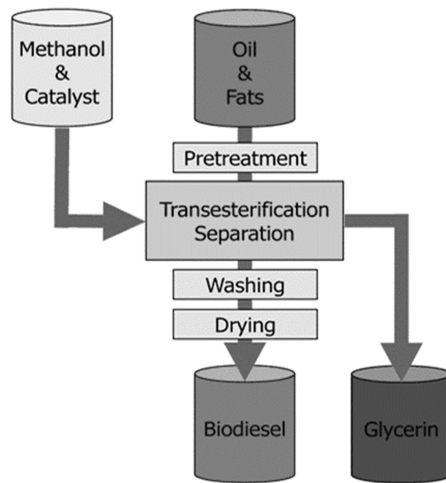


Figura 3.2: Processo de Transesterificação completo. [74]

A **fase de purificação** consiste num tratamento dos produtos da reação onde se procede à separação da glicerina do biodiesel. Esta etapa é seguida de um processo de descontaminação do biodiesel, por forma a garantir a sua qualidade e compatibilidade com a norma de qualidade do combustível. Nesta fase pode ainda ser contemplada a recuperação do álcool utilizado como reagente [50].

A **reação de Transesterificação**, onde se processa o triglicerídeo para obter o estér, pode recorrer a dois tipos de álcool: metanol e etanol. O etanol, apesar da vantagem ambiental, é pouco comum, uma vez que é mais caro e menos reativo que o metanol.

A Reação de Transesterificação pode ainda ser **catalítica** ou **não-catalítica**. A reação não-catalítica surge como mais eficiente e sustentável (uma vez que não emprega catalisadores), contudo tem ainda um custo bastante elevado associado, fruto de ser uma técnica ainda em desenvolvimento. A reação catalítica pode ocorrer com recurso a catalisadores ácidos, alcalinos ou enzimáticos [52] [75] [76] [77]. Os alcalinos são mais resistentes à presença de ácidos gordos livres, no entanto também necessitam de uma maior temperatura de reação e tornam a reação mais demorada. Os catalisadores alcalinos, mais comuns, apesar da sensibilidade à presença de ácidos gordos livres, são mais baratos e não carecem de condições tão complexas para a sua atuação. Os catalisadores enzimáticos são biodegradáveis e não produzem sub-produtos, contudo têm menor poder reativo e um custo muito mais elevado [78]. A figura 3.3 compila as diferentes variações que estão associadas ao processo de transesterificação.

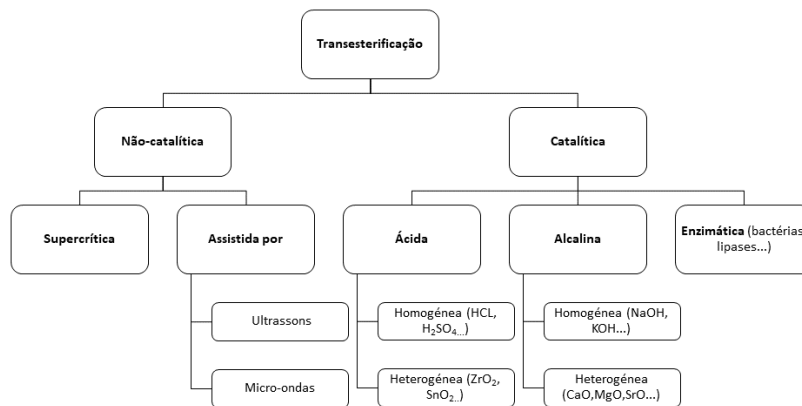


Figura 3.3: Variantes da reação de transesterificação.

A escolha do catalisador a adotar está também dependente da matéria-prima. Ainda que a transesterificação com recurso a catalisador alcalino (ex: KOH) seja uma das mais comuns, no caso de a matéria-prima conter um número elevado de ácidos gordos livres ou de água, um catalisador ácido resulta tendencialmente melhor, uma vez que não produz compostos ensabonados.

Esterificação

Existe ainda o **processo de esterificação**, que consiste numa reação bastante parecida à de transesterificação, recorrendo ao uso de um álcool e de um catalisador para promover a reação. É um processo maioritariamente associado à produção de OAU uma vez que a composição química (através da presença de ácidos gordos livres) assim o

permite. A principal diferença reside no facto de não ser necessário pré-tratamento de purificação. No entanto, esta técnica acaba por ser pouco utilizada.

Transesterificação Supercrítica

A **transesterificação supercrítica** é uma reação não-catalítica, com recurso ao metanol. Ou seja, não necessita da presença de um catalisador para que a reação de transesterificação ocorra. A ausência de um catalisador permite evitar a complexa fase de separação entre o produto e o catalisador [79]. Esta fase tem associado um elevado consumo de energia e evitá-la significa reduzir bastante o impacto ambiental e a morosidade do processo [52]. Este método não-catalítico mostra-se mais ecológico e célere, contudo, requer maiores quantidades de metanol e tem ainda associado um elevado custo de aquisição de equipamento compatível, uma vez as condições de operação requerem temperaturas e pressões bastante elevadas. A criação dessas condições, consoante a localização da unidade de produção, pode incorrer em custos acrescidos à operação [80]. A transesterificação supercrítica pode ainda ser assistida por tecnologia ultrassónica ou microondas, com o intuito de aumentar a eficiência do processo. A técnica continua a ser vista como promissora e o seu desenvolvimento futuro pode levar a mudanças significativas nas unidades de produção industrial em larga escala. A dissertação da aluna Ana Barbosa [81], não obstante as dificuldades associadas à indisponibilidade do equipamento desejado ou as mais exigentes condições do projeto, conclui positivamente acerca da viabilidade de construção de uma unidade de produção industrial de biodiesel por via da transesterificação supercrítica ultrassónica [81].

Transesterificação assistida por microondas

O processo de **Transesterificação assistida por microondas** consiste, genericamente, num processo onde a mistura da reação é aquecida pela irradiação de microondas. O processo pode ser conjugado com reações catalíticas (heterogéneas e homogéneas) e não-catalíticas. O aquecimento por este processo permite intensificar a reação, poupando energia face a outras técnicas [71]. A aplicação em unidades de produção em larga escala, está ainda condicionada pela baixa capacidade de penetração destas microondas [82]. A utilização de microondas, resulta bem quando conjugada com a transesterificação supercrítica, ao permitir satisfazer as elevadas necessidades de energia do processo de forma bastante mais célere [83].

3.1.1 O que fazer com os co-produtos da Produção de Biodiesel?

A produção de biodiesel, nomeadamente através do processo de transesterificação, pressupõe a produção de alguns co-produtos, que de forma simplista podem ser entendidos como sobranes da reação principal. O glicerol é o principal co-produto desta reação. Cerca de 10% (em massa) de uma dada quantidade de biodiesel obtida, corresponde a glicerol (ou seja, por cada 100 kg de biodiesel obtidos, são gerados 10 kg de glicerol). É comum ouvir referências a este composto como glicerina, uma vez que esta é a designação comercial dada a produtos constituídos em mais de 95% por glicerol puro.

O glicerol é um co-produto com valor comercial que, antes da produção de biodiesel em larga escala, era relativamente escasso e caro [17]. As suas aplicações mais comuns são as indústrias cosmética, alimentar e farmacêutica. Contudo, é o sector industrial que

tem registado o maior aumento no consumo desta matéria. Em seguida apresentam-se algumas das aplicações do glicerol sob a forma de glicerina [84]:

- Rações de animais - Apenas aplicável a glicerina proveniente exclusivamente da obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais.
- Produtos alimentares (ex: adoçante, conservantes...)
- Produtos cosméticos (ex: cremes, vaselina...)
- Produtos de aplicação técnica (ex: anti-congelantes)
- Hidrogénio - Processos de transformação a vapor e oxidação podem originar hidrogénio a partir de glicerol.
- Etanol - Processos de conversão biológica permitem obter etanol que, entre outros fins pode ser usado em motores de combustão interna. Pode também ser aplicado à transesterificação etílica.
- Aditivos para combustível - Capacidade de produzir aditivos que melhoram a a viscosidade e estabilidade do biocombustível.
- Produtos Químicos - Obtenção de produtos químicos aplicáveis em diversas indústrias como a têxtil, detergentes ou de produção de plásticos.
- Fármacos (ex: supositórios)

Existem ainda outras aplicações menos comuns para a glicerina, mas igualmente bastante promissoras. Na Fórmula E, por exemplo, a glicerina é usada como combustível para os geradores de eletricidade [85] que depois alimentam os carros elétricos. Esta utilização tem revelado resultados bastante positivos, uma vez que o combustível é bastante eficiente e a emissão de poluentes, como NO_x e Matéria Particulada, é praticamente inexistente [85]. Os equipamentos desenvolvidos pela empresa britânica *Aquafel* consistem em geradores a gás adaptados para a utilização de glicerina. Está também a ser explorada a queima do glicerol para a obtenção de calor. Contudo, a sua queima tem ainda associadas algumas condicionantes técnicas e tecnológicas que, além de a tornarem difícil, podem levar à emissão de compostos tóxicos.

A utilização do glicerol nos diversos fins aqui mencionados, nem sempre ocorre por aplicação direta da matéria obtida na reação de transesterificação. O glicerol resultante da reação encontra-se em forma bruta, sob a forma de "crude". A sua aplicação em indústrias como a cosmética ou a alimentar, exigem um pós-processamento baseado em refinação e purificação [84]. Este pós-processamento acarreta um consumo de energia e recursos, que podem colocar em causa a viabilidade da sua purificação, consoante o fim a que se destine.

O glicerol é um produto com múltiplas aplicações, cuja produção escalará com o aumento da produção de biodiesel. A sua utilidade está dependente de desenvolvimentos tecnológicos que permitam descobrir novas aplicações e que otimizem as já existentes, procurando reduzir o impacto ambiental do tratamento e utilização deste sub-produto [84].

Além do glicerol, a produção de biodiesel tem associada a si outros co-produtos como as águas residuais, o metanol (ou etanol) e a matéria vegetal que resulta do processo de extração do óleo vegetal [86]. O metanol é, por norma, parcialmente recuperado para voltar a introduzir na reação. A matéria vegetal pode ter diversos fins, nomeadamente a produção de compostos orgânicos para a agricultura. As águas residuais, acabam por não ter outra utilidade direta, carecendo de um processo de tratamento que permita a sua descontaminação e, assim, a sua reutilização para outros fins.

3.2 Matérias-primas do Biodiesel

As propriedades do biodiesel verificadas no capítulo 2, variam consoante a matéria-prima que lhe dá origem. Diferenças ao nível físico (viscosidade, estabilidade térmica, índice de cetano...) são principalmente explicadas por diferentes comprimentos da cadeia de carbono e pelo nível de insaturação das moléculas, características próprias de cada matéria-prima. A variabilidade de propriedades entre matérias-primas não permite escolher uma como preferencial às outras, contudo, deve ser privilegiada a boa prestação do combustível em situações de baixa temperatura e a própria estabilidade oxidativa. A título de exemplo, as melhores propriedades do combustível obtido a partir de óleo de colza em situações de baixa temperatura [53], levam a que se aumente a sua incorporação nos meses de Inverno e nos países mais frios.

As matérias-primas mais comuns à obtenção de biodiesel na Europa são:

- Óleos Alimentares Usados (OAU)
- Óleo de girassol
- Óleo de colza
- Óleo de palma
- Óleo de soja
- Gorduras animais

As diferentes matérias-primas refletem-se também em diferentes impactos ambientais, nomeadamente no que concerne à redução de emissões de GEE. A diretiva RED II [21] define os critérios para o cálculo deste impacto ambiental, ao contabilizar as emissões associadas ao cultivo da matéria-prima, ao processamento, ao transporte e distribuição (da matéria-prima e do combustível em si) e ainda à alteração do uso dos solos. Ao valor resultante da soma destes parâmetros, subtrai as emissões resultantes da captura de CO₂ na atmosfera e da reutilização dos co-produtos da reação [21]. O quadro 3.2 ilustra as emissões de gases com efeito de estufa (CO₂, N₂O e CH₄) associadas às principais matérias-primas utilizadas na obtenção de biodiesel.

Os OAU e as gorduras animais apresentam uma clara vantagem face às culturas de origem vegetal. A menor redução das emissões associadas à utilização de óleos vegetais, deve-se ao impacto do processo de conversão em óleo e ao efeito ambiental que decorre do cultivo das culturas, nomeadamente no que concerne ao uso de pesticidas. A contabilização das emissões associadas à conversão de um dado solo agrícola ou florestal para a produção de matéria-prima para biodiesel, diminui ainda mais a capacidade de redução

Tabela 3.2: Impacto ambiental associado à obtenção de biodiesel a partir de diferentes fontes de matéria-prima, segundo a RED II (adaptado de [21]).

Matéria-prima	Redução de emissões de GEE [%]	Emissão de GEE no processo de cultivo (g CO ₂ eq/MJ)	Emissão de GEE no processamento (g CO ₂ eq/MJ)	Emissão de GEE no processo de transporte e distribuição (g CO ₂ eq/MJ)	Emissão de GEE totais (g CO ₂ eq/MJ)
Colza	52	32	11,7	1,8	45,5
Óleo de Palma (bacia de efluentes a céu aberto)	33	26	30,4	6,9	63,3
Óleo de Palma (c/ captura de metano)	33	26	13,2	6,9	46,1
Girassol	57	26,1	11,8	2,1	40,0
Soja	55	21,2	12,1	8,9	42,2
Óleos Alimentares Usados	88	0	9,3	1,9	11,2
Gorduras de restos animais	84	0	13,6	1,6	15,2

de emissões dos biocombustíveis convencionais. Entre as culturas vegetais, é a utilização de óleo de palma que apresenta maior emissão de GEE, mesmo considerando o processo que envolve a captura de metano.

3.3 Produção Nacional de Biocombustíveis

O mercado dos biocombustíveis em Portugal pressupõe a existência de três atores: os produtores, os importadores e os incorporadores.

Os produtores, à semelhança do que o nome indica, transformam matéria-prima em biocombustível que, posteriormente, é incorporado nos combustíveis fósseis pelos incorporadores, sendo ainda estes responsáveis por a sua disponibilização no mercado de combustíveis. Segundo o Decreto-Lei nº 8/2021 [25], de 20 de Janeiro, os produtores de biocombustíveis classificam-se como Produtor de Regime Geral (PRG) ou Pequeno Produtor Dedicado (PPD). Os primeiros caracterizam-se por maiores volumes de produção, destinado à venda a incorporadores, enquanto que os segundos correspondem a produtores com capacidade máxima anual de 5000 toneladas de biocombustível, destinando-se esta produção a frotas e consumidores cativos previamente identificados.

Na figura 3.4 identificam-se apenas os PRG nacionais, e na tabela 3.3 é possível dar conta do tipo de biocombustível, matérias-primas e respetivas quantidades produzidas por cada um [48].

Da análise da figura 3.4 e tabela 3.3, facilmente se verifica que o combustível substituto do gasóleo, é o único combustível renovável com uma produção nacional expressiva, sendo o biodiesel FAME, o mais representativo. A produção de biocombustível substituto da gasolina, ainda que não seja aqui o objeto de estudo, é quase inexistente. A parca produção existente diz respeito à produção de Bio-ETBE/MTBE em Sines.

O mais recente relatório nacional dos biocombustíveis [48], dá conta que grande parte da produção nacional se destina a consumo interno. O biodiesel FAME representa 86% da incorporação física de combustíveis renováveis no gasóleo. Este facto, aliado à assinalável produção nacional de biodiesel, resulta em taxas de importação (em estado puro ou previamente misturado com combustíveis fósseis) relativamente baixas, exprimindo a autossuficiência de Portugal nesta matéria.

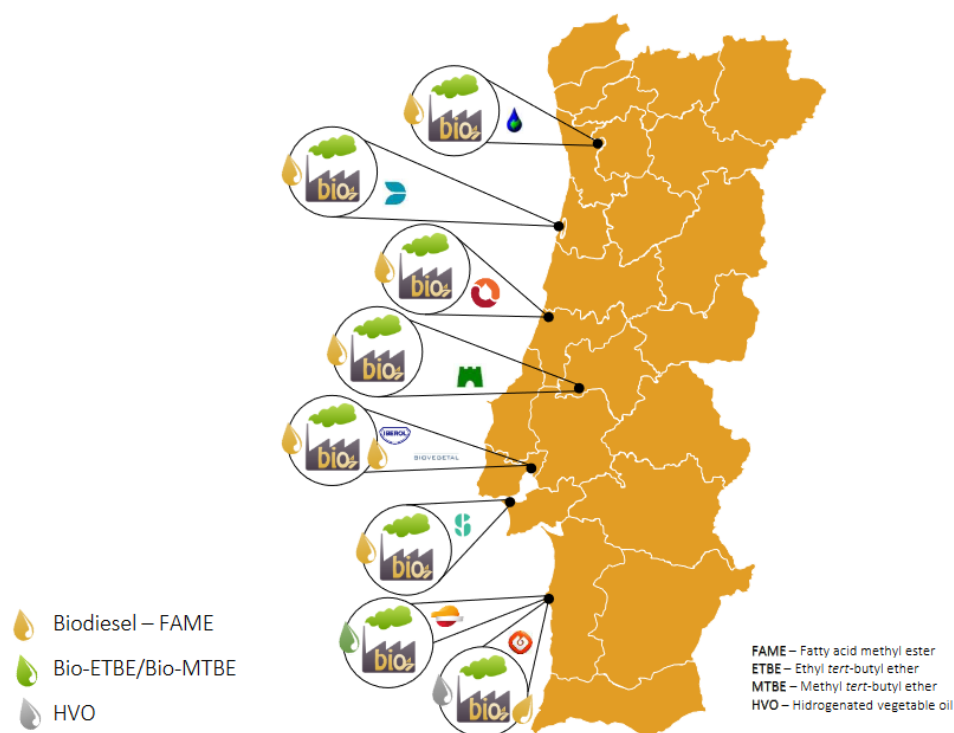


Figura 3.4: PRG de biocombustíveis em Portugal. [48]

Tabela 3.3: Quantidade produzida e matéria-prima utilizada por os Produtor de Regime Geral (PRG) em Portugal [48].

PRG	Tipo de Combustível	Quantidade [ton/ano]	Matéria-Prima
Prio Biocombustíveis, S.A.	FAME	113 800	Óleos Alimentares Usados
IBEROL - Sociedade Ibérica de Biocombustíveis e Produtores e Oleaginosas, S.A.	FAME	110 000	Óleos Vegetais, Gorduras Animais e OAU
Fábrica Torrejana, S.A.	FAME	300 ton/dia	Óleos Vegetais
Sovena Oilseeds Portugal, S.A.	FAME	300 ton/dia	Óleos Vegetais
Biovegetal - Combustíveis Biológicos e Vegetais, S.A.	FAME	133 800	Resíduos Alimentares e OAU
Biopordiesel, S.A.	FAME	30 000	OAU
BioAdvance - The Next Generation, Lda	FAME	10 000	OAU
Petrogal S.A. & Enerfuel	FAME HVO	25000 30 000	OAU e Gorduras Animais Óleos Vegetais
Repsol Polímeros, Unipessoal Lda	MTBE/ETBE	48 000	fração C4 do Steam Cracker

3.3.1 Produção por Matéria-prima

A figura 3.5 representa as matérias-primas e respetivas quantidades percentuais que estiveram na origem do biodiesel FAME produzido em Portugal.

Pela análise do gráfico e das informações presentes no relatório nacional de biocombustíveis [48], facilmente se inferem algumas conclusões:

- Os OAU são a matéria-prima dominante na produção de biodiesel em Portugal;
- A utilização de matérias-primas que potencialmente competem com a utilização de solos agrícolas ou a desflorestação, apresentam uma tendência de decréscimo;
- O recurso a matérias-primas residuais constantes da parte A do Anexo IV do Decreto-Lei 8/2021 (disponíveis no anexo A do presente documento) tem vindo a aumentar.

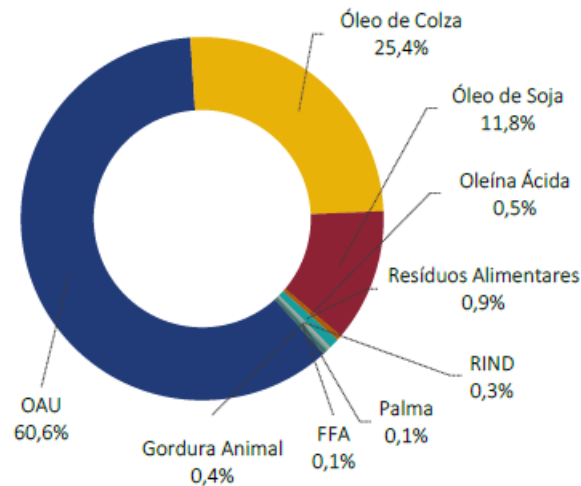


Figura 3.5: Matéria-prima do biodiesel FAME produzido em Portugal [48].

3.3.2 Produção Europeia

A União Europeia é responsável por um terço da produção mundial de biodiesel. Um valor que, como já foi visto, se justifica face ao elevado consumo interno deste biocombustível.

Fruto das políticas de incentivo à sua comercialização, a produção tem registado um aumento contínuo nos últimos anos. Exceção feita ao ligeiro abrandamento resultante da pandemia Covid-19. Os cinco países europeus com maior produção absoluta são a Alemanha, a França, os Países Baixos, a Espanha e a Itália. Portugal surge como o 12º maior produtor de biodiesel na UE [87].

Contemplando os valores da União Europeia e do Reino Unido contabilizaram-se, em 2019, 188 biorrefinarias dedicadas à produção de biodiesel, com capacidade para a produção de 21 milhões de litros [87]. Em geral, as refinarias europeias de biodiesel encontram-se a funcionar a 60% da sua capacidade [88].

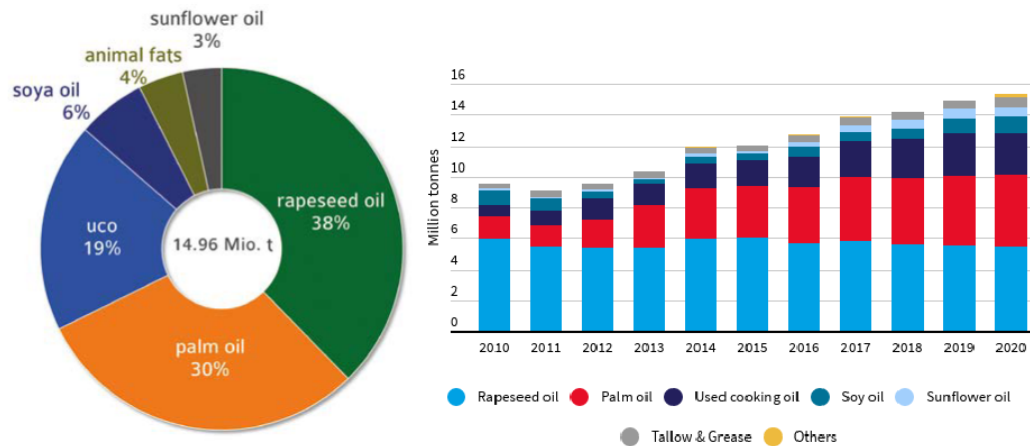


Figura 3.6: Produção de biodiesel na UE por matéria-prima em 2021 (esq.) e evolução da quantidade produzida por matéria-prima (dir.) em milhões de toneladas [89] [90].

A matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel regista, contudo, uma distribuição diferente. Grande parte da produção é obtida a partir de óleos vegetais, originando assim maioritariamente biocombustíveis convencionais. A colza surge como a matéria mais utilizada, seguida do óleo de palma e dos óleos alimentares usados. Estes últimos, apesar de contribuírem apenas para 19% do biodiesel produzido na União Europeia, a sua utilização tem vindo a aumentar ao longo dos tempos [90]. Contrariamente, a utilização de óleo de palma tem vindo a diminuir prevendo-se que, em breve, deixe de ser utilizado.

Além de questões relacionadas com as políticas de incentivo ao consumo de dadas matérias-primas, a disponibilidade e o custo destas, são fatores que também influenciam a sua maior ou menor utilização.

3.3.3 Perspetivas Futuras

As metas de energias renováveis para os sectores dos transportes, têm incentivado a instalação de novas unidades de produção de combustíveis sustentáveis, nomeadamente de biocombustíveis avançados e residuais. Os projetos vão além da produção de combustível para fins rodoviários, havendo um crescente interesse na produção desta matéria para utilização no setor da aviação e dos transportes marítimos.

A BioAdvance, PRG português que atua no sector dos biocombustíveis avançados, tem planeada a instalação de uma unidade industrial na Figueira da Foz [91]. O avultado investimento pretende posicionar-se como uma das unidades de produção de biodiesel mais sustentáveis da Europa. A capacidade de produção anual de biodiesel avançado, estima-se vir a ser entre 20 mil a 60 mil toneladas, não havendo ainda referência às técnicas de processamento a utilizar.

A Prio, atualmente a maior produtora nacional de biocombustíveis, lidera um investimento para a produção de biocombustíveis avançados à base de hidrogénio verde e matérias-primas residuais. O projeto, pertencente ao consórcio "M-ECO 2", tem planeado um investimento inicial de 492 milhões de euros visando a produção anual de 1

milhão e 200 mil litros de combustíveis verdes. Já no ano passado a Prio tinha dado início a um projeto piloto com a Delta Cafés, do grupo Nabeiro, para a produção de biodiesel avançado a partir de borras de café [92]. Um projeto que se encontra em fase de análise da viabilidade produtiva em larga escala.

A Petrogal, empresa detentora da refinaria Galp, lidera também um consórcio candidato aos fundos do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) para a descarbonização dos transportes, *Moving2Neutrality*. O âmbito deste consórcio é promover a produção de hidrogénio verde e biocombustíveis avançados, tanto para o setor rodoviário como para a aviação [93].

Os próprios importadores de combustíveis, face às necessidades e perspetivas futuras do mercado, investem em infraestruturas de importação de biocombustíveis. A título de exemplo, o grupo português *RNM* anunciou recentemente o investimento numa unidade de receção e armazenamento de combustíveis no porto de Aveiro, destacando a parte da infraestrutura que será totalmente alocada ao biodiesel FAME [94]. Esta atenção à importação de biocombustíveis advém do aumento das unidades de produção que está a ocorrer também em outros países Europeus.

A Shell tem planeada para 2024 a conversão de uma das suas refinarias tradicionais, nos Países baixos, para uma das maiores unidades europeias de produção de biocombustíveis [95]. O objetivo será produzir biodiesel para fins rodoviários e combustível sustentável para aviação (*Sustainable Aviation Fuel* (SAF)) a partir do tratamento de matérias residuais. O projeto estima obter 820.000 toneladas anuais de combustíveis com baixo teor de carbono, recorrendo para isso a avançadas técnicas de produção desenvolvidas pela própria marca.

Recentemente, a Cepsa inaugurou a sua unidade de produção de biocombustíveis avançados, nomeadamente Biodiesel, no sul de Espanha. A matéria-prima é de natureza residual e, por enquanto, maioritariamente à base de OAU [96] [97]. A produção atual é de meio milhão de toneladas por ano, mas a empresa tem por objetivo aumentar gradualmente este valor para 2,5 milhões de toneladas em 2030 [97]. Além do biodiesel para fins rodoviários, esta unidade espera também vir a produzir combustível renovável para a aviação (SAF) e para o transporte marítimo.

Também em Espanha, encontra-se em construção uma unidade de produção de biocombustíveis avançados, que a Repsol espera colocar em funcionamento em 2023 [98]. Seguindo uma lógica de economia circular, transformará matérias residuais em biocombustíveis. Esta unidade cuja produção inicial será de 250.000 toneladas ao ano, espera vir a produzir, em 2030, 2 milhões de toneladas de biocombustíveis ao ano. O combustível produzido será variado e transversal aos vários modos de transporte [98].

Um pouco por toda a Europa, inclusivamente em Portugal, estão a surgir novas unidades de produção de combustíveis com baixo teor de carbono. Estas novas unidades surgem já adaptadas à produção de combustíveis para os vários modos de transporte (rodoviário, aviação e marítimo). É também transversal a procura por novos processos de conversão das matérias residuais em biocombustível, recorrendo muitas vezes a técnicas desenvolvidas e adaptadas por os próprios departamentos de investigação das empresas envolvidas. O recurso a OAU como matéria-prima e a produção de combustíveis substitutos do gasóleo, nomeadamente o biodiesel, são uma constante em todos estes projetos.

3.4 Reciclagem e Valorização de Óleos Alimentares Usados

Os óleos alimentares fazem parte da dieta alimentar seguida em Portugal. Os aquecimentos e frituras sucessivas a que estes óleos são sujeitos aquando da sua utilização, originam alterações químicas irreversíveis no produto inicial. A alteração destas propriedades leva a que, após algumas utilizações, estes tenham de ser substituídos, sob pena de causar danos à saúde humana.

Anualmente são comercializadas em Portugal cerca de 120.000 toneladas de óleos alimentares [99], entre o sector doméstico, o canal HoReCa (hotelaria, restauração e cafés) e a indústria. Note-se que uma família de quatro pessoas gera, em média, um litro de óleo alimentar usado por semana [100]. Apesar de parte do óleo utilizado ser absorvida pelos alimentos, uma outra parte bastante considerável transforma-se em resíduo, mencionado como óleo alimentar usado.

Após a utilização, os OAU devem ser devidamente reciclados. O seu despejo indiscriminado no meio ambiente causa sérios problemas ambientais, nomeadamente ao nível da contaminação dos recursos hídricos. Um litro de óleo alimentar usado pode contaminar até 1 milhão de litros de água[101], com o conseqüente dano para os ecossistemas aquáticos. O seu despejo na rede saneamento, além de prejudicar o processo de tratamento de águas residuais, gera a obstrução e degradação das canalizações por acumulação de gordura [101]. O tratamento dos OAU permite ainda evitar a emissão de GEE associados à sua biodegradação anaeróbica em aterros sanitários (por cada litro evita-se a emissão de 14 toneladas de GEE [101]).

Valorização dos OAU na produção de biodiesel

Em Portugal existem várias entidades ligadas à recolha e valorização dos OAU. A rede de recolha deste resíduo encontra-se em franca expansão pelos vários municípios do país [102].

Os OAU coletados são reaproveitados e valorizados, como explana a figura 3.4. O seu principal destino é a indústria dos biocombustíveis.



Figura 3.7: Ciclo de valorização dos OAU segundo uma infografia da Prio [103].

Por cada 1000 litros de OAU reciclado é possível obter entre 920 a 980 litros de

biodiesel, promovendo assim a geração de um combustível renovável e com efetivo contributo na redução de GEE. Em Portugal, como visto na secção 3.3, os OAU constituem a matéria-prima dominante na obtenção de biodiesel.

A fábrica da Prio, em Aveiro, é o principal consumidor nacional de OAU's e recebe diariamente cerca de 300 toneladas desta matéria [104]. Contudo, à semelhança de outros PRG portugueses, uma parte considerável dos OAU é importada de outros países. Segundo o relatório da Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal importou em 2020 cerca de 73.190,5 toneladas de OAU [99]. Em sentido inverso, as exportações representaram um valor residual de 651,22 toneladas.

A necessidade de importar OAU, deve-se à baixa taxa de reciclagem destes por parte dos portugueses. Segundo dados avançados pela Prio, apenas 10% dos óleos alimentares vendidos em Portugal são reciclados [105]. Não obstante, o investimento na disseminação da rede de recolha tem gerado um resultados positivos no que concerne à taxa de reciclagem. A Prio, de forma a reduzir a pegada ambiental dos seus biocombustíveis e melhorar o destino das matérias residuais, tem investido nos processos de recolha e na sensibilização do consumidor. A empresa está empenhada em conseguir reciclar pelo menos 30% dos óleos alimentares vendidos em Portugal.

O avanço tecnológico tem também permitido o desenvolvimento de oleões (unidades de recolha dos OAU) cada vez mais inovadores e integrados no conceito de *Smart Cities*. A incorporação de tecnologias IoT (*Internet of Things*), além de permitir uma melhor monitorização remota do estado do oleão (fugas, danos...) e da matéria reciclada, possibilita o aumento da eficiência das rotas de recolha. Esta melhoria de eficiência permite reduzir o impacto ambiental da recolha dos OAU e, portanto, da cadeia de produção de biodiesel em geral [106].

A reciclagem dos OAU no contexto Europeu

A coleta de OAU entre os países da União Europeia tem registado um aumento significativo, impulsionado pelo investimento em sistemas de recolha. Em 2019, foram recolhidos 1,1 milhão de toneladas de OAU's, um valor três vezes superior ao coletado em 2011 [107]. Em igual período foram consumidos cerca de 24 milhões de toneladas de óleos vegetais [108]. Ainda que não existam dados concretos acerca da taxa de reciclagem de OAU por parte da União Europeia, o diferencial entre os óleos vegetais consumidos e os OAU's coletados, permite deduzir acerca da relativamente baixa taxa de reciclagem desta matéria.

A Alemanha, a Suíça, a Itália, a Suécia e os Países Baixos apresentam taxas de reciclagem de OAU que rondam os 50%, quando considerado o sector doméstico, industrial e da restauração. A Bélgica, a Suíça e os Países baixos destacam-se por conseguirem elevadas taxas de reciclagem no sector doméstico [109].

Contrariamente, países como a Hungria, a Grécia e a Espanha apresentam baixos valores de reciclagem de OAU a nível doméstico. Alguns estudos estimam que em média, na União Europeia, apenas cerca de 5% dos óleos alimentares usados de origem doméstica são reciclados [109].

3.5 Síntese Conclusiva

A produção de FAME pode ocorrer por diversos processos, no entanto, é a transesterificação catalítica o método mais disseminado na produção em larga escala, dada a sua boa relação custo-benefício. A proliferação de técnicas inovadoras e mais eficientes, como a transesterificação supercrítica, devem ser estudadas e desenvolvidas, de modo a virem a ser aplicadas em unidades de produção industrial de biodiesel.

Em Portugal, grande parte do biodiesel produzido resulta da transesterificação de Óleos Alimentares Usados (OAU), contrariamente à produção europeia, que continua bastante dependente da transformação de óleos vegetais provenientes de culturas agrícolas. A baixa taxa de reciclagem de OAU's que ainda se verifica, obriga a alguma importação desta matéria-prima por parte dos PRG portugueses. O consumo de biodiesel nacional é responsável pelo escoamento de grande parte da produção interna, pelo que um aumento da incorporação física, carece igualmente de um aumento da produção nacional e da disponibilidade de matéria-prima. A disponibilidade de matéria-prima deve ser assegurada pela crescente valorização dos OAU já que, além de originar um dos biocombustíveis mais sustentáveis, evita ainda a contaminação do meio ambiente decorrente do seu descarte indevido. A capacidade produtiva, por sua vez, revela-se capaz de assegurar uma maior procura por este biocombustível, dado o número de novos investimentos em modernas unidades para a produção de combustíveis renováveis que estão previstos a nível nacional e europeu, bem como a folga produtiva que ainda existe nas biorrefinarias atuais.

Contudo, o aumento da incorporação física de biodiesel a nível nacional e europeu, além de estar dependente da capacidade produtiva e das diretivas legislativas, está sobretudo dependente da evolução do parque automóvel e da sua compatibilidade para com este biocombustível. Este vínculo justifica a atenção que é dedicada ao parque automóvel no capítulo seguinte (capítulo 4).

Página intencionalmente em branco

Capítulo 4

O Biodiesel no Contexto do Parque Automóvel Nacional

Delinear medidas promotoras de uma mobilidade mais sustentável no setor rodoviário implica conhecer a realidade do parque automóvel nacional, sobretudo quando se trata da introdução de fontes de energia alternativas aos combustíveis tradicionais, como é o caso dos biocombustíveis. Portugal conta atualmente com mais de 8 milhões de veículos em circulação [110]. Nos últimos 5 anos, este valor aumentou cerca de 16%, materializando-se num acréscimo de mais de 1 milhão de veículos a circular nas estradas nacionais [110].

Neste capítulo é analisada a evolução do parque automóvel português, atentando em características como o tipo de veículo e sua idade, o fim a que se destina e a fonte de energia a que recorre. O estudo destas características permite inferir, ainda que de forma qualitativa, acerca da composição futura do parque automóvel e da consequente procura por biodiesel. A análise é efetuada em separado para veículos ligeiros e pesados, uma vez que apresentam características e finalidades distintas. É ainda tida em conta a predisposição do consumidor em adquirir determinadas viaturas. Avalia-se também, mediante as informações disponíveis, a compatibilidade dos diferentes veículos com diferentes incorporações físicas de biodiesel. A análise realiza, sempre que possível, um paralelismo com a realidade europeia.

4.1 Evolução do Registo de Veículos ligeiros

Os automóveis ligeiros representam 82,7% do total de veículos em circulação no país. A idade média de um veículo ligeiro em Portugal tem vindo a aumentar e atualmente é de 13,5 anos [11], um valor superior à média europeia de 11,8 anos [111]. Perto de dois terços dos veículos em circulação apresentam uma idade igual ou superior a 10 anos (64,4%), como é observável na tabela 4.1. Apenas cerca de 1 em cada 6 automóveis apresenta uma idade inferior a 5 anos [110].

Apesar do crescimento nas vendas de veículos elétricos e a gasolina, o gasóleo continua a representar a principal fonte de energia do parque automóvel ligeiro português. Em cada 3 veículos, 2 continuam a ser movidos a gasóleo (65,8%). Valores alinhados com a realidade europeia, onde se consome o triplo do gasóleo em relação à gasolina [112]. Em Portugal, em 2021, os veículos ligeiros a gasóleo representaram 22% das vendas, ao passo que os veículos a gasolina representaram 43%. Vinte e quatro por cento das vendas corresponderam a veículos híbridos, entre os quais se contabilizam também veículos hí-

bridos a gasóleo. Por fim, os veículos totalmente elétricos representaram 9% das vendas. Uma repartição por fontes de energia semelhante à observada em grande parte dos países da União Europeia [111].

Tabela 4.1: Idade dos veículos ligeiros em circulação em Portugal [110].

	Idade média	Idade <5anos (%)	Idade 5-10 anos (%)	Idade >10 anos (%)
Veículos Ligeiros	13,4 anos	16,6 %	19 %	64,4%

As energias alternativas continuam a ganhar quota de mercado, e parte das vendas de automóveis a *diesel* têm vindo a ser substituídas por vendas de veículos a gasolina. Uma tendência influenciada pela recente subida do preço do gasóleo, em parte resultante da retirada de incentivos ao consumo deste combustível por parte dos vários estados.

Um estudo revelado pela Associação Automóvel de Portugal (ACAP) prevê a quantidade de carros movidos a gasóleo que existiria em 2035, assumindo que não se venderiam mais carros novos a gasóleo de 2021 em diante e que se manteria a atual taxa média de abate. O estudo indica que, em 2035, os veículos ligeiros a gasóleo continuariam a representar 31% de todo o parque automóvel português, como é observável na figura 4.1. Contudo, a percentagem de carros movidos a gasóleo em 2022 continua a ser superior à prevista e as vendas de veículos a gasóleo continuam a representar praticamente um quarto das matrículas de automóveis novos. Este facto indica que, assumindo iguais condições às do estudo da ACAP, os automóveis movidos a gasóleo em 2035 representarão mais do que os 31% previstos.

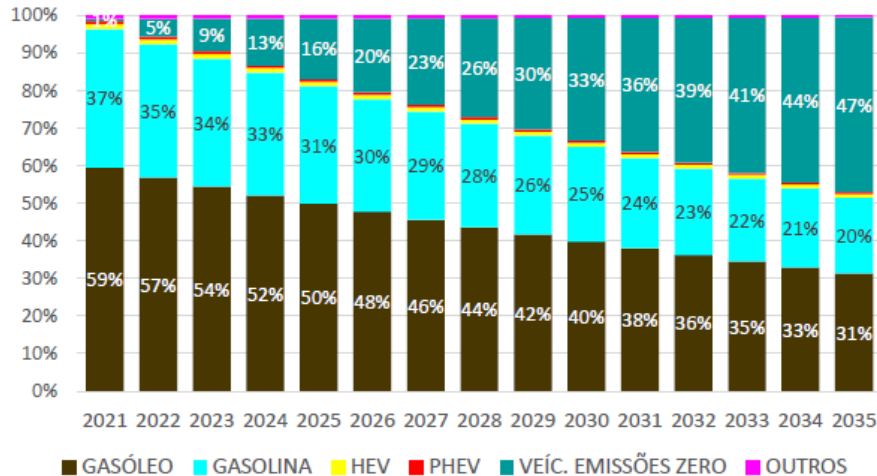


Figura 4.1: Evolução previsível da constituição do parque automóvel português em termos de fonte energética [113].

A previsível demora da conversão do parque automóvel para veículos sem emissões locais de poluentes, é sustentada por um outro estudo levado a cabo pelo "Studio Gear Up" em 2021, acerca do poder de compra dos europeus. Segundo este, nos países ocidentais da UE (nos quais se insere Portugal), só 40% a 60% da população tem capacidade de comprar um carro novo [114]. Entre as pessoas que manifestam vontade em adquirir um automóvel novo, também nem todas estão dispostas a migrar para veículos integralmente elétricos. Um outro estudo acerca das intenções de compra futura conclui que,

atualmente, 72% dos europeus continua a ter intenção de comprar um carro com motor de combustão (onde se incluem as opções híbridas) [115].

4.2 Evolução do Registo de Veículos pesados e agrícolas

Em Portugal existem cerca de 140.000 veículos pesados (passageiros e mercadorias) em circulação, representando 1,7% de todo o parque automóvel. Um valor inferior ao das máquinas agrícolas registadas em Portugal, que correspondem a 4,3% do total de veículos [110]. Os pesados de mercadorias apresentam uma idade média superior aos de passageiros, como é observável na tabela 4.2. Quanto às máquinas agrícolas, apresentam uma das idades mais elevadas [110], fruto de um maior ciclo de vida. Cerca de 82% das máquinas agrícolas em circulação apresentam uma idade superior a 10 anos, sendo esta uma tipologia de veículos que tem ainda poucas alternativas sustentáveis que confirmam o mesmo desempenho e capacidade de trabalho.

Em Portugal, 99,8% dos **veículos pesados de mercadorias** em circulação recorrem ao gasóleo como fonte de energia [11]. Um valor que é transversal aos vários países da União Europeia [116], face à escassez de alternativas no mercado que permitam fazer face às exigências que resultam da utilização deste tipo de veículos e à inadaptação das infraestruturas de apoio a esta atividade.

Ainda que os veículos pesados de mercadorias constituam, em termos absolutos, uma pequena fração do parque automóvel, a sua circulação é por demais importante para a economia e representa um elevado impacto no meio ambiente. Segundo o Eurostat, o transporte de mercadorias em Portugal, é suportado em 87% pelo modo rodoviário. Ao nível da União Europeia, apesar da maior preponderância do modo ferroviário, o transporte rodoviário representa também 77% do transporte de mercadorias [117]. Em termos poluentes, embora os pesados de mercadorias representem apenas 2% de todos os veículos em circulação na UE, a sua atividade foi responsável por a emissão de 23% dos GEE associados ao modo rodoviário [118].

Tabela 4.2: Características dos veículos pesados e máquinas agrícolas em circulação em Portugal [11] [110].

	Idade média	Veículos a Gasóleo	Veículos a Gasolina	Outros (PHEV, GNC...)
Veículos Pesados de Passageiros	13,4 anos	94,9%	<0,1%	5,1%
Veículos Pesados de Mercadorias	17,6 anos	99,8%	<0,1%	0,2%
Máquinas Agrícolas	-	99,7%	<0,1%	0,3%

Os **veículos pesados de passageiros** apresentam igualmente uma elevada dependência do gasóleo, dado que cerca de 95% da frota nacional utiliza este combustível [11]. Nos últimos anos têm surgido algumas fontes energéticas alternativas para o sector, como a eletricidade ou o Gás Natural Comprimido (GNC) [11], cuja introdução tem ocorrido maioritariamente em frotas de veículos urbanos, onde os trajetos mais curtos e previsíveis facilitam as rotinas de abastecimento. Apesar destas alternativas, a elevada idade média destes veículos fruto também de um maior ciclo de vida, pressupõe ainda alguma demora

na conversão para tecnologias de propulsão mais recentes e menos poluentes.

4.3 A Compatibilidade do Parque automóvel

A anterior análise à evolução do parque automóvel, leva a crer que haverá uma crescente presença de veículos isentos de emissão de poluentes mas que os automóveis com motor de combustão interna, nomeadamente a gasóleo, continuarão a representar uma fração bastante considerável. A introdução de biodiesel no consumo de combustíveis permite uma redução do impacto ambiental resultante da utilização deste parque automóvel. No entanto, o seu desenvolvimento futuro está dependente da compatibilidade do mesmo com os veículos em circulação.

No que concerne aos **veículos ligeiros** não existe uma informação que compile a taxa de incorporação autorizada por cada fabricante para os respetivos modelos. Todos os carros comercializados atualmente são compatíveis com B7. Contudo, a compatibilidade de um motor com biocombustível não é estanque dado que, consoante a evolução registada também pelo próprio combustível, esta compatibilidade pode ser aumentada. A título de exemplo, o grupo Volkswagen aprovou recentemente a compatibilidade com gasóleo inteiramente renovável, de uma dada gama de motores que já não é comercializada, mas que ainda se encontra bastante presente em circulação [119]. A realização de aprovações semelhantes para a utilização de FAME pode vir a revelar uma compatibilidade de certos modelos superior à atual incorporação de apenas 7% de biodiesel em volume. A título de exemplo, há certos países fora da União Europeia onde o gasóleo fornecido contém 20% de biodiesel (B20). O estudo [56], por exemplo, defende que incorporações até 20% podem ser aplicadas sem necessidade de adaptações.

Atualmente, a Prio disponibiliza já gasóleo B15 em alguns dos seus postos de abastecimento. Este combustível constituído por 15% de biodiesel puro (em volume) emite menos 18% de emissões de CO₂ para atmosfera e apresenta uma redução de consumo na ordem dos 5% face ao gasóleo convencional [120]. A crescente procura por esta alternativa tem motivado a sua disponibilidade num número cada vez maior de postos de abastecimento.

Os **veículos pesados** contam com informação concreta e oficial acerca da compatibilidade com elevadas incorporações de biodiesel [121]. Esta informação oficial garante assim a cobertura de garantia para hipotéticas avarias que decorram da utilização destes combustíveis. Hoje em dia, é já possível que muitos dos veículos pesados em circulação em Portugal e na União Europeia, reduzam em mais de 80% as suas emissões de GEE através da utilização de FAME. A tabela 4.3 dá conta das incorporações autorizadas pelos principais revendedores de veículos pesados em território nacional, bem como das normas a respeitar por o combustível.

A pensar nestes veículos, a Prio disponibiliza atualmente em Portugal soluções B30 e B100 para clientes profissionais que expressem vontade na sua utilização. Segundo um relatório da empresa, o combustível B30 disponibilizado é compatível com 30% da frota nacional de veículos pesados (tanto de mercadorias como de passageiros) e 15% da frota de veículos ligeiros. A sua utilização permite reduzir um quarto das emissões de GEE [120].

Apesar de ter sido discriminada apenas a compatibilidade dos propulsores EURO VI na tabela 4.3, uma análise à extensa lista fornecida pelos fabricantes, mostra que

Tabela 4.3: Taxas de incorporação de biodiesel autorizadas pelos principais fabricantes de veículos pesados para viaturas EURO VI (adaptado de [121]).

Marca	Incorporação (FAME)	Norma
DAF	B30	EN 16709
Iveco	B100	EN 14214
MAN	B100	EN 14214
Daimler/ Mercedes-Benz	B100	EN 14214
Renault Trucks	B100/B30	
/B10	EN 14214/EN 16709 /EN 16734	
SCANIA	B100	EN 14212
Volvo	B100	EN 14214

muitos outros veículos mais antigos são também compatíveis com elevadas quantidades de biodiesel, nomeadamente os EURO V[121] .

É comum as marcas terem diferentes condições de manutenção consoante a percentagem de incorporação, sobretudo para biodiesel puro (B100). Estas diferentes condições traduzem-se maioritariamente em ciclos de manutenção ligeiramente mais curtos, para fazer face a algumas das condicionantes técnicas verificadas na secção 2.3 do capítulo 2.

4.4 Síntese Conclusiva

Muito embora se verifique uma presença crescente de veículos isentos de emissões locais de poluentes, os veículos movidos a gasóleo continuarão a ser uma realidade durante largos anos, sobretudo no que concerne a veículos pesados em trajetos de longo curso. No caso destes últimos, a procura por tecnologias de propulsão alternativas assume uma elevada importância, tanto pela sua relevância para a economia e a sociedade como pelo impacto ambiental que lhes está associado. A alternativa menos poluente, no imediato, consiste na adoção de veículos elétricos, porém, além da escassa oferta que ainda existe deste veículos, não há sequer uma rede de abastecimento europeia.

A compatibilidade que os veículos pesados apresentam com incorporações elevadas de biodiesel, justificam a disponibilidade de maiores incorporações deste biocombustível no gasóleo profissional que se encontra no mercado, uma vez que se constitui como a melhor alternativa disponível no imediato para reduzir a pegada ambiental destes veículos.

Ao nível dos veículos ligeiros, o parco poder de compra dos consumidores, agravado ainda mais pela recente inflação, dificulta a renovação do parque automóvel atual. Os próprios fabricantes de automóveis estão a ter dificuldades em colocar viaturas novas no mercado para fazer face à procura existente. Além disso, a transição para veículos elétricos, a curto prazo, é ainda dificultada pelo preço mais elevado destas viaturas face aos automóveis com motor de combustão interna. Contudo, o aumento da incorporação física de biodiesel no combustível consumido por estes, carece ainda de uma maior disponibilização de informação acerca deste tema por parte dos construtores europeus.

Página intencionalmente em branco

Capítulo 5

Avaliação Ciclo de Vida

A avaliação ciclo de vida, é uma ferramenta que permite quantificar de forma fidedigna o impacto ambiental global de um dado produto. Este capítulo tem como objetivo avaliar o impacto ambiental do "poço ao tanque"(em inglês, *Well-to-Tank*) do biodiesel obtido por diferentes processos e a partir de diferentes matérias-primas. A crescente preponderância dos OAU enquanto fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel e a capacidade de redução de GEE que lhe é apontada, levam a que o biocombustível obtido a partir desta fonte seja o principal objeto de estudo neste capítulo.

O caráter desta dissertação, leva a que seja realizada uma revisão das ACV já levadas a cabo por outros autores em matéria de OAU e processos produtivos, ao invés do seu cálculo com recurso a *softwares* dedicados. Ainda assim, de forma a compreender o que é uma ACV e qual a estrutura e critérios que lhe estão associados, é feita também uma breve introdução teórica ao tema.

Com este capítulo pretende-se concluir acerca da efetiva sustentabilidade e vantagem ambiental associada à obtenção de biodiesel a partir de OAU.

5.1 O que é uma ACV?

A Avaliação Ciclo de Vida (ACV), denominada em inglês por *Life Cycle Assessment* (LCA) é uma ferramenta capaz de quantificar, avaliar e comparar o potencial impacto ambiental de um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida. Por ciclo de vida, entende-se de forma genérica como a distância temporal entre a extração das matérias-primas necessárias à conceção de um produto e o momento de desmantelamento e reciclagem do mesmo após a sua utilização. Contudo, este ciclo pode apresentar outras fronteiras temporais consoante o âmbito do estudo. [122]

A crescente necessidade de tomar decisões e identificar oportunidades que resultem num menor impacto ambiental, tem levado a um progressivo desenvolvimento das ferramentas de ACV e à expansão do seu âmbito de aplicação. Uma das mais valias que os responsáveis por tomada de decisão encontram nesta análise, é a possibilidade de comparar objetivamente o impacto ambiental de diferentes produtos e soluções, isentando-se assim da perceção errada que a intuição por vezes transmite. A título de exemplo, nem sempre a utilização de menos matéria-prima por parte de um produto implica que este tenha menor impacto ambiental embora, intuitivamente, assim o pareça. [122]

Conforme descrito na norma ISO 14040:2016 [123], que define os princípios e estrutura base de uma ACV, esta pressupõe a existência de quatro fases, sendo a respetiva interação

entre estas descrita na figura 5.1 [124].

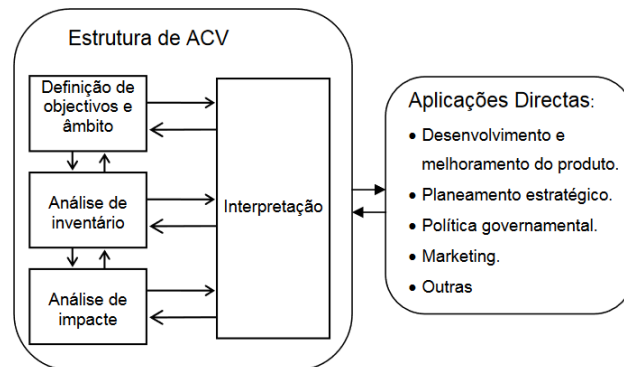


Figura 5.1: Estrutura de uma ACV segundo a ISO 14040:2016 [124].

O trabalho inerente a cada uma das fases da ACV é descrito em seguida [124]:

- Definição de âmbito e objetivos - Estabelecer o contexto (geográfico, temporal, tecnológico...), os limites, os pressupostos iniciais e o objeto (produto, processo, atividade...) em análise. Definir ainda a unidade funcional e as razões que levam a cabo a realização do estudo;
- Análise de Inventário - Definir as condições de fronteira do sistema e retratar o respetivo diagrama de blocos. Identificar e quantificar os fluxos de entrada e saída de materiais, energia e poluentes. A figura 5.2 mostra um diagrama de blocos genérico e a correspondente delimitação fronteira;
- Análise de Impacto - Analisar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas na análise de inventário. Esta análise poderá seguir diferentes métodos, com a respetiva diferença nos resultados obtidos;
- Interpretação - Avaliar, de forma crítica, os resultados das duas análises anteriores (Impacto e Inventário) por forma a retirar conclusões relevantes, conscientes das incertezas e suposições ocorridas durante o processo.

À semelhança da estrutura, também os requisitos e diretrizes de uma ACV se encontram especificados por uma norma, a ISO 14044:2006 [123]. Esta fornece sobretudo orientações sobre a avaliação de impactos ambientais, primando por uma análise crítica e rigorosa dos resultados obtidos. Consoante o âmbito de estudo, outras normas podem ser aplicadas, como é o caso dos biocombustíveis.

Análise de Impacto

A fase de análise de impacto pode seguir diferentes métodos (Eco-indicator 99, Impact 2002,...), sendo que consoante o método escolhido variam também as categorias dos indicadores em que são agregados os impactos ambientais [125].

A análise de impacto é avaliada segundo dois modelos, um deles mais orientado para indicadores intermédios e outro para indicadores finais [124]. Os indicadores finais, ainda que menos precisos, são mais voltados para as consequências ambientais do objeto em

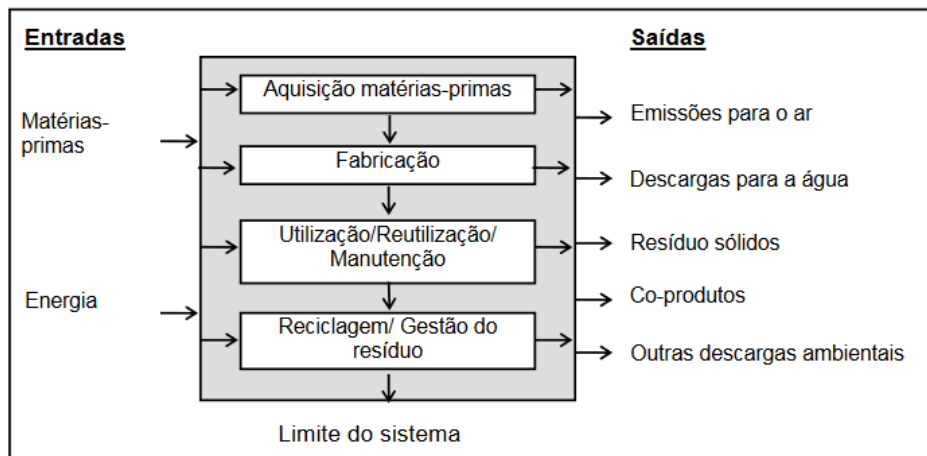


Figura 5.2: Condições de fronteira e respetivo diagrama de blocos de uma ACV [125].

estudo (impacto na saúde humana, deterioração de recursos...) e resultam da agregação dos indicadores intermédios num menor número de categorias [125], como é observável na figura 5.3.

A revisão da ACV levada a cabo neste capítulo incide maioritariamente na análise de impacto de cada estudo, uma vez que esta fase é responsável por promover a interpretação dos dados calculados. Ao longo do capítulo é privilegiada a análise com base nos indicadores finais, uma vez que são precisamente as consequências ambientais que mais se pretendem analisar neste estudo.

Em suma, a Avaliação Ciclo de Vida é capaz de devolver resultados bastante fidedignos, contudo, a validade e utilidade destes resultados está bastante dependente da quantidade e qualidade dos dados introduzidos [125]. A elevada necessidade de informação para a realização de uma ACV implica a dispensa de muito tempo, pelo que este ponto pode ser apontado como uma desvantagem desta ferramenta.

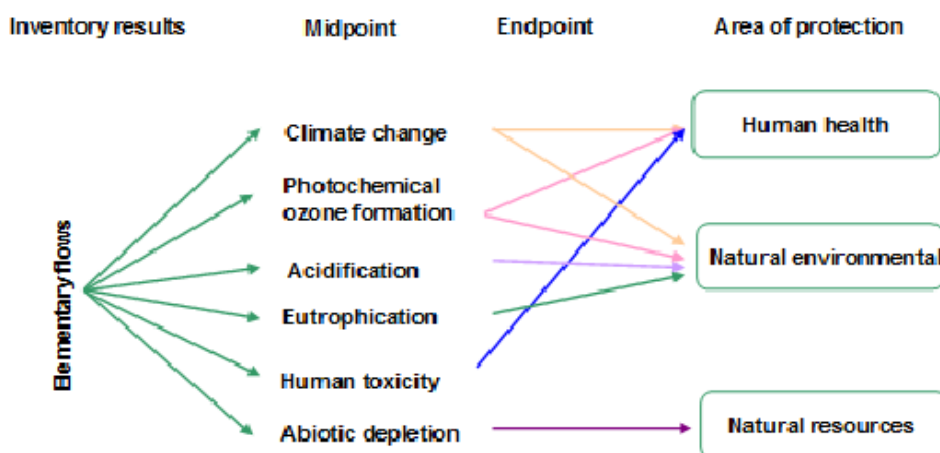


Figura 5.3: Indicadores intermédios e indicadores finais de uma ACV [126].

5.2 Revisão da ACV do Biodiesel

Âmbito

No âmbito desta dissertação, faz-se uma breve revisão das Avaliações de Ciclo de Vida publicadas por outros autores.

Pretende-se que esta seja uma análise W2T (*Well-to-Tank*), "do poço ao tanque", com o objetivo maior de compreender o impacto ambiental do biodiesel obtido por diferentes processos e a partir de diferentes matérias-primas. Pretende-se assim perceber qual o biodiesel com menor impacto ambiental. Dada a maior preponderância nacional e a teórica vantagem ambiental do biodiesel obtido a partir de OAU, esta matéria-prima constitui o principal objeto de estudo. As ACV contempladas baseiam-se na comparação do uso de OAU face a outras matérias-primas e na avaliação de diferentes alterações introduzidas no processo produtivo de FAME a partir deste resíduo.

As condições em que decorre uma ACV influenciam bastante os resultados obtidos. De forma a combater um pouco essa variabilidade, são consideradas apenas ACV efetuadas segundo os padrões da norma ISO nesta matéria. São também apenas considerados os estudos realizados nos últimos 11 anos, correspondentes ao período 2011-2022.

A influencia da matéria-prima no impacto ambiental

Vários estudos dão conta do impacto ambiental associado à produção de biodiesel a partir de diferentes matérias-primas. O processo dominante para a obtenção do mesmo a partir de OAU é o processo de transesterificação, precedido de um momento de pré-tratamento da matéria residual. A matéria residual, consoante o ponto de recolha, apresenta características distintas que justificam diferentes quantidades de catalisadores e de energia. Essa diferença de quantidades faz-se notar no impacto ambiental do processo de transformação, que varia consoante o estudo em causa.

O estudo [127] dá conta da vantagem ambiental de utilizar OAU como matéria-prima face a óleos de *jatropha*, uma cultura não elegível para consumo humano. Neste estudo, o impacto ambiental é medido por comparação relativa entre a utilização de ambas as matérias-primas. Ambos os combustíveis foram obtidos por um processo de transesterificação assistido por um catalisador alcalino. A vantagem ambiental dos OAU é evidente em três das quatro categorias pertencentes aos indicadores finais, notando-se apenas, ao nível dos recursos necessários ao processamento, um impacto ambiental superior em 10,58% face ao biodiesel obtido a partir dos óleos de *jatropha*. Este impacto deve-se, em parte, à maior necessidade de recursos energéticos e químicos associados ao processo de recolha e transformação dos OAU. Ainda assim, inferior ao impacto que os fertilizantes, químicos e consumo de água inerentes ao crescimento e cultivo das plantações de *jatropha* apresentam. No cômputo geral, o impacto ambiental associado à utilização dos OAU cifra-se em 26,32% do impacto causado pela obtenção deste biocombustível a partir dos óleos de *jatropha*. Para este resultado contribui a assinalável vantagem ambiental do primeiro no que respeita às alterações climáticas e, por sua vez, ao impacto para o aquecimento global, onde as emissões em gramas de CO₂ equivalente são inferiores em 70,21%. Resultados justificáveis sobretudo pelo impacto acentuado que os fertilizantes, os químicos e o consumo de água inerentes ao crescimento e cultivo das plantações de *jatropha* apresentam. Contudo, a escolha entre um e outro deve também contemplar a vertente económica e está dependente da disponibilidade dos recursos no local de produção, bem

Tabela 5.1: Diferentes ACV de Biodiesel a partir de OAU.

Titulo	Ano	Unidade Funcional	Assessment Method	Localização Geográfica
Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production [127]	2016	1t Biodiesel	Impact 2002+	EUA
Life cycle assessment of waste cooking oil for biodiesel production using waste chicken eggshell derived CaO as catalyst via transesterification [128]	2019	1t Biodiesel/day	CML 2001 Eco-indicator 99	Malásia
Consequential LCA of two alternative systems for biodiesel consumption in Spain, considering uncertainty [129]	2014	1 MJ Biodiesel	CML 2 baseline 2000	Espanha
Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and third-generation biofuel [130]	2020	1t Biodiesel	ReCiPe	Grécia
LCA studies comparing alkaline and immobilized enzyme catalyst processes for biodiesel production under Brazilian conditions [131]	2017	1t Biodiesel	CML baseline 2001	Brasil
Incorporating uncertainty in the life cycle assessment of biodiesel from waste cooking oil addressing different collection systems [132]	2016	1 Mj biodiesel	ReCiPe method	Portugal
Converting waste cooking oil to biodiesel in China: Environmental impacts and economic feasibility [133]	2021	1t Biodiesel	ReCiPe 2016	China
Life cycle assessment of biodiesel production from free fatty acid-rich wastes [134]	2012	1t Biodiesel	CML method	Espanha
Biodiesel from Waste Cooking Oils in Portugal: Alternative Collection Systems [135]	2015	1 Mj Biodiesel	ReCiPe method	Portugal
Comparison of waste plastic fuel, waste cooking oil biodiesel, and ultra-low sulfur diesel using a Well-to-Exhaust framework [136]	2021	1 kg Biodiesel	-	EUA
Process design accompanying life cycle management and risk analysis as a decision support tool for sustainable biodiesel production [137]	2013	1 kg Biodiesel	CML	Alemanha
Biofuels and their potential to aid the UK towards achieving emissions reduction policy targets [138]	2012	1 GJ Biodiesel	-	Reino Unido
Probabilistic multi-criteria analysis for evaluation of biodiesel production technologies from used cooking oil	2020	1t Biodiesel	Impact 2002+	Itália
A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils [139]	2012	50kg Biodiesel	Eco-Indicator 99	Espanha
Life cycle analysis of biodiesel production [140]	2011	1 kg/h Biodiesel	Impact 2002	Portugal

como a distância aos mesmos.

O estudo [128] compara também o impacto ambiental do biodiesel produzido a partir de OAU (com recurso ao CaO) ao impacto associado à obtenção de biodiesel a partir de óleo de *jatropha* (cujo processo de transesterificação recorre a catalisadores homogêneos de base alcalina como o KOH ou o NaOH) [141].

À semelhança dos resultados obtidos no estudo [127], o biodiesel obtido a partir de OAU apresenta melhor prestação ambiental, como dá conta a figura 5.4.

O processo produtivo de biodiesel a partir dos óleos de *jatropha* apresenta um impacto ambiental cerca de 14 vezes superior ao processo produtivo a partir de OAU. Uma diferença que, no presente estudo, se deve também à utilização de um catalisador homogêneo

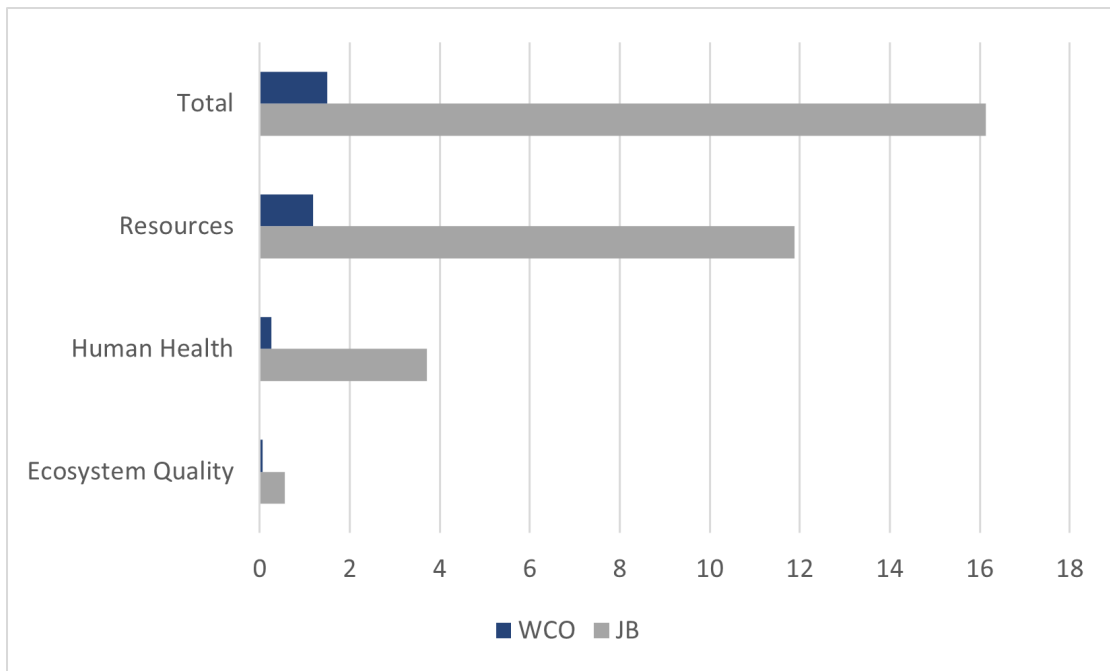


Figura 5.4: Impacto ambiental por categoria, de ambas as matérias-primas [127].

no processo de transformação desta matéria-prima.

O estudo [131], efetuado na realidade do Brasil, analisa o impacto ambiental decorrente da utilização de um catalisador enzimático no processo de transesterificação recorrendo à utilização de duas matérias-primas distintas, óleo de soja e OAU. No âmbito geral, o biodiesel obtido a partir de OAU (por meio do processo de transesterificação enzimática) apresenta um melhor desempenho ambiental ao nível das várias categorias analisadas. Em relação ao impacto no aquecimento global, este apresenta uma redução de 60% face ao biodiesel obtido a partir de óleo de soja (para um mesmo processo de transformação). O impacto mais significativo dos OAU é ao nível do processo de transesterificação, uma vez que o processo de pré-tratamento tem uma acrescida complexidade face ao processo de obtenção a partir de óleo de soja. Esta vantagem ambiental da utilização de OAU em relação ao óleo de soja prende-se sobretudo, à semelhança dos outros estudos, com a ausência do impacto ambiental associado ao processo de cultivo. Nesta análise não foi tido em conta o impacto ambiental associado à infraestrutura nem à ocupação do solo por parte das culturas e da unidade de produção. A contabilização do impacto ambiental associado à alteração do uso dos solos decorrente do cultivo da soja, destacaria ainda mais a vantagem ambiental de utilização dos OAU.

O estudo [133] analisa o impacto ambiental e económico da produção de biodiesel a partir de OAU na China, comparado ainda o impacto deste biocombustível ao do gasóleo fóssil. Fruto da situação energética em que o processo produtivo ocorre, o impacto ambiental do biodiesel acaba por não ser consideravelmente inferior face ao gasóleo fóssil. Contrariamente a outros países, a China continua a obter grande parte da sua energia elétrica e térmica a partir do carvão (portador de um elevado teor de carbono), levando a que qualquer ACV que envolva energia produzida a partir desta matéria, apresente um acentuado impacto ambiental ao nível do aquecimento global e da degradação dos

recursos naturais. A qualidade dos OAU que dão entrada na unidade de transformação é outro dos fatores que influencia negativamente a pegada ambiental do biodiesel produzido. Os OAU recolhidos na China, apresentam uma qualidade tipicamente inferior à dos países ocidentais, fruto de uma utilização mais intensiva, obrigando ao reforço dos "ácidos" utilizados no processo de pré-tratamento, com o conseqüente agravamento do impacto ambiental.

Um estudo levado a cabo em Espanha [134], compara o impacto do biodiesel obtido a partir de diferentes matérias-primas residuais ricas em ácidos gordos livres (gorduras animais, OAU's e lamas de esgoto). É ainda efetuada uma ACV *well-to-wheel* que compara a utilização de matérias residuais com a utilização de óleos vegetais (canola e soja) e gasóleo fóssil. O estudo focou-se em analisar o impacto ambiental associado a dois indicadores específicos: o potencial de aquecimento global e o consumo energético. O biodiesel a partir de OAU apresentou o desempenho ambiental mais favorável entre as matérias-primas analisadas. Um outro estudo realizado em Espanha [129], dá igualmente conta da vantagem em utilizar biodiesel produzido a partir de OAU. O estudo em questão compara o impacto ambiental deste biodiesel produzido em Espanha com o custo ambiental do biodiesel extraída de matérias vegetais e importado da América do Sul. A comercialização do biodiesel produzido a partir de OAU é taxativamente melhor para o ambiente, devendo-se à matéria-prima mas também à localização geográfica da sua transformação.

O estudo [130] analisa de forma extensa o impacto ambiental associado à produção de biodiesel a partir de OAU na Grécia, identificando os pontos mais críticos deste processo e comparando o impacto ambiental decorrente da utilização de diferentes matérias-primas.

Por comparação com um outro estudo [142], também ele realizado na Grécia e sob condições fronteira semelhantes, é comparado o impacto ambiental do biodiesel obtido a partir de OAU com o biodiesel de primeira geração (convencional) e terceira geração (avanzado). É ainda efetuada uma comparação com o gasóleo fóssil, cujo impacto ambiental foi calculado por simulação no *software SimaPro* (este, tendo por base o mesmo valor calorífico 1 unidade biodiesel = 0,873 unidades de diesel). A análise efetuada considera parâmetros como o tempo de vida útil dos tanques de recolha, a alteração decorrente da ocupação do solo por a unidade fabril e pelos pontos de recolha, ou a degradação associada à utilização de infraestruturas (como estradas) para o transporte de matéria. O estudo tem também em conta a energia que seria necessária para desengordurar as águas residuais nas ETAR, caso os OAU's não fossem reciclados, mas sim despejados no esgoto. Segundo o estudo, considerar este fator na ACV permite reduzir a pegada ambiental do OAU em 6%. No entanto, não é contabilizado o benefício ambiental decorrente da não-contaminação da natureza por este resíduo. O impacto ambiental global associado à utilização de cada uma das matérias-primas é observável na figura 5.5. O biodiesel a partir de OAU mostra-se, globalmente, três vezes menos poluente que o gasóleo tradicional à base de petróleo. Quando comparado com o biodiesel de primeira geração obtido a partir de óleo de girassol, o impacto ambiental de utilizar OAU é cerca 40% menor. A vantagem ambiental do biodiesel obtido a partir de matéria residual é ainda mais evidente face ao biodiesel de terceira-geração, obtido a partir de micro-algas. Um resultado devido em grande parte ao parco desenvolvimento científico e tecnológico que este tipo de biodiesel ainda apresenta.

O artigo [140], além de analisar a utilização de diferentes catalisadores no processo de transesterificação com álcool, analisa também os impactos ambientais de cada uma das

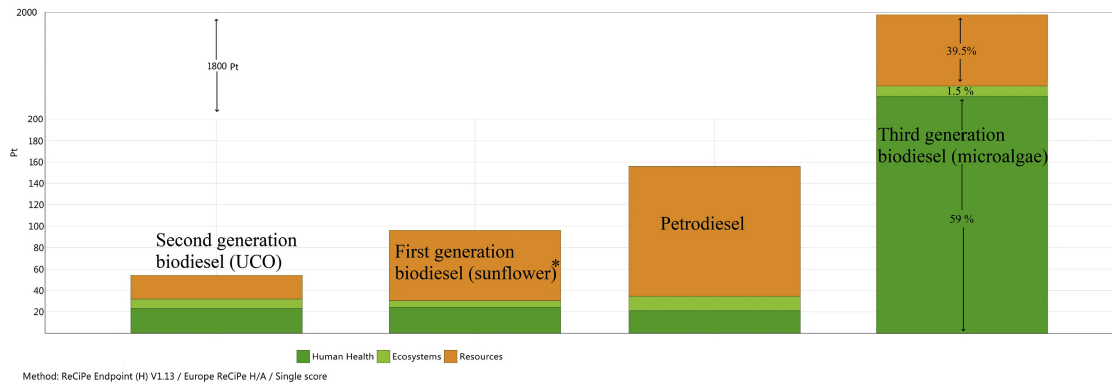


Figura 5.5: Impacto ambiental global associado aos vários tipos de biodiesel e diesel comum, tendo por base o método ReCiPe [130].

matérias-primas utilizadas. A ACV tem em conta os co-produtos da reação, mas exclui o solo por estas utilizado e a fase de recolha e distribuição do biodiesel.

Os processos de obtenção de biodiesel a partir de OAU's apresentam menores impactos ambientais face à sua obtenção a partir de óleos vegetais. Uma análise aos indicadores finais permite verificar que a transesterificação a partir de OAU apresenta um maior impacto ao nível da degradação dos recursos naturais, enquanto que a transformação de óleos vegetais apresenta maior impacto ao nível da saúde humana.

O estudo [137], cujo principal propósito é analisar a transesterificação de OAU sob condições supercríticas, firma a importância de utilizar matéria residual (como os OAU) para a obtenção de um biocombustível ambientalmente benéfico.

O estudo [138] confirma o biodiesel obtido a partir de OAU's como o biocombustível substituto dos combustíveis fósseis que apresenta o melhor cenário em termos de redução de emissões. O estudo afirma que a redução das emissões poluentes do biodiesel produzido a partir de OAU é cerca de 89% superior em relação à sua produção a partir de óleos vegetais. Também o estudo [139] confirma a superior sustentabilidade dos OAU face aos óleos vegetais virgens.

O estudo [136] conclui acerca da efetiva sustentabilidade do biodiesel obtido a partir de matéria residual (OAU e resíduos urbanos) face ao gasóleo fóssil. Ao nível do biodiesel obtido a partir de OAU é relatada uma diferença substancial do impacto ambiental associada à sua produção e distribuição, consoante a localização da biorrefinaria. A produção de biodiesel em locais com elevada disponibilidade de recursos renováveis e matérias-primas permite-lhe um bom desempenho ambiental face aos outros combustíveis. A produção de biodiesel a partir de OAU revelou o maior potencial de redução das emissões de CO₂.

Contributo do processo produtivo para o impacto ambiental

O processo produtivo do biodiesel divide-se em várias fases, implicando cada uma delas diferentes impactos ambientais. A fase de transformação é, regra geral, a que apresenta um maior impacto ambiental. Nesta fase, além do consumo de energia, é o recurso a catalisadores de natureza ácida e alcalina que mais adensam o impacto do produto final. Diversos estudos contemplam nas suas ACV a utilização de diferentes

tipos de catalisadores.

Segundo o estudo [130], que analisa o impacto ambiental associado à produção de biodiesel a partir de OAU na Grécia, 85,4% da pegada ambiental associada à obtenção do biodiesel a partir de OAU é atribuída ao processo produtivo. A restante percentagem diz respeito ao processo de recolha e transporte. O estudo dá conta ainda, que o reaproveitamento do glicerol e do K_2SO_4 , co-produtos da reação, permite reduzir em 16,37% o impacto ambiental associado ao produto final.

O estudo [133] analisa o impacto ambiental e económico da produção de biodiesel a partir de OAU na China. O processo de pré-tratamento recorre ao ácido sulfúrico e hidróxido de sódio e a reação de transesterificação recorre a um catalisador ácido (metanol). O maior impacto resultante da obtenção de biodiesel advém da etapa correspondente ao processo de transesterificação, responsável por cerca de 70% do impacto contabilizado. Este impacto é observável na figura 5.6. As consequências refletem-se sobretudo na disponibilidade de recursos naturais e na saúde humana. Os valores mais elevados verificados neste estudo devem-se à fonte de energia usada no processo, o carvão (tanto na produção de eletricidade como na caldeira de aquecimento). A análise sensitiva relativamente a este tópico demonstra que a quantidade de carvão consumida nas várias fases de obtenção do biodiesel faz aumentar até 50% o dano ambiental de todo o processo ao nível do aquecimento global.

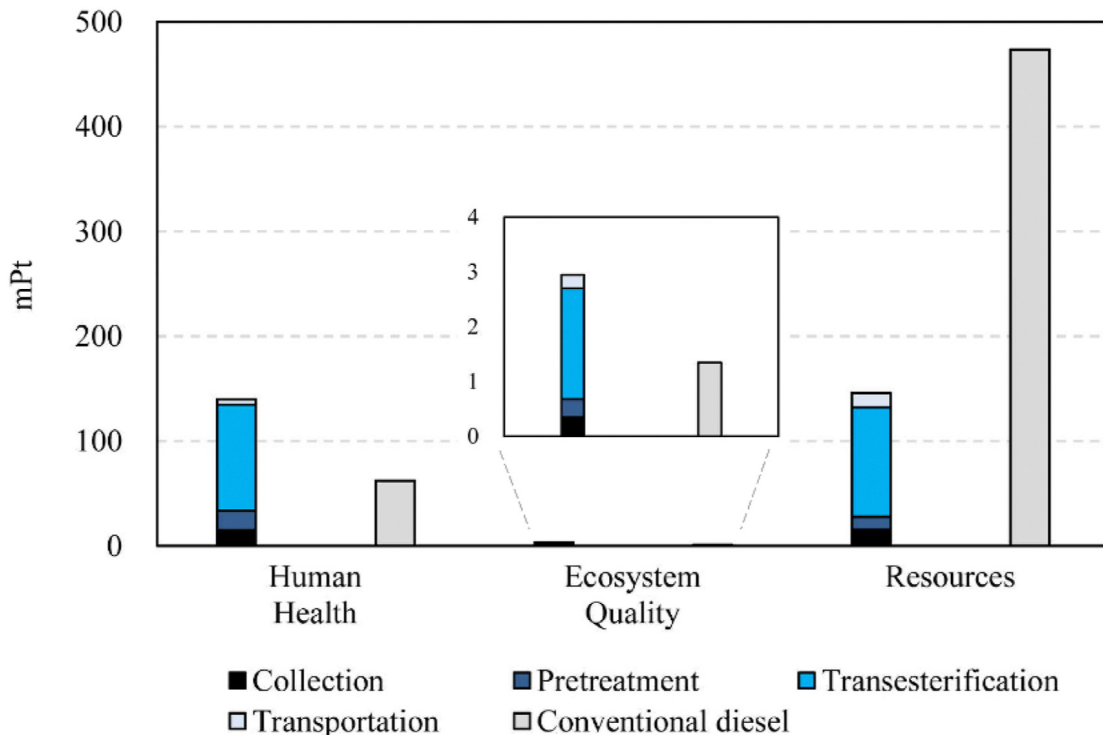


Figura 5.6: Impacto ambiental relativo às várias fases do processo de obtenção de biodiesel a partir de OAU por comparação com o gásóleo convencional [133].

O estudo [134] revelou que, independentemente da matéria-prima, o maior impacto ambiental está associado ao processo produtivo, sobretudo devido às necessidades de energia elétrica e térmica do processo de transesterificação. A figura 5.7 traduz de forma

explícita os impactos de cada uma das fases sob o aquecimento global bem como o consumo energético.

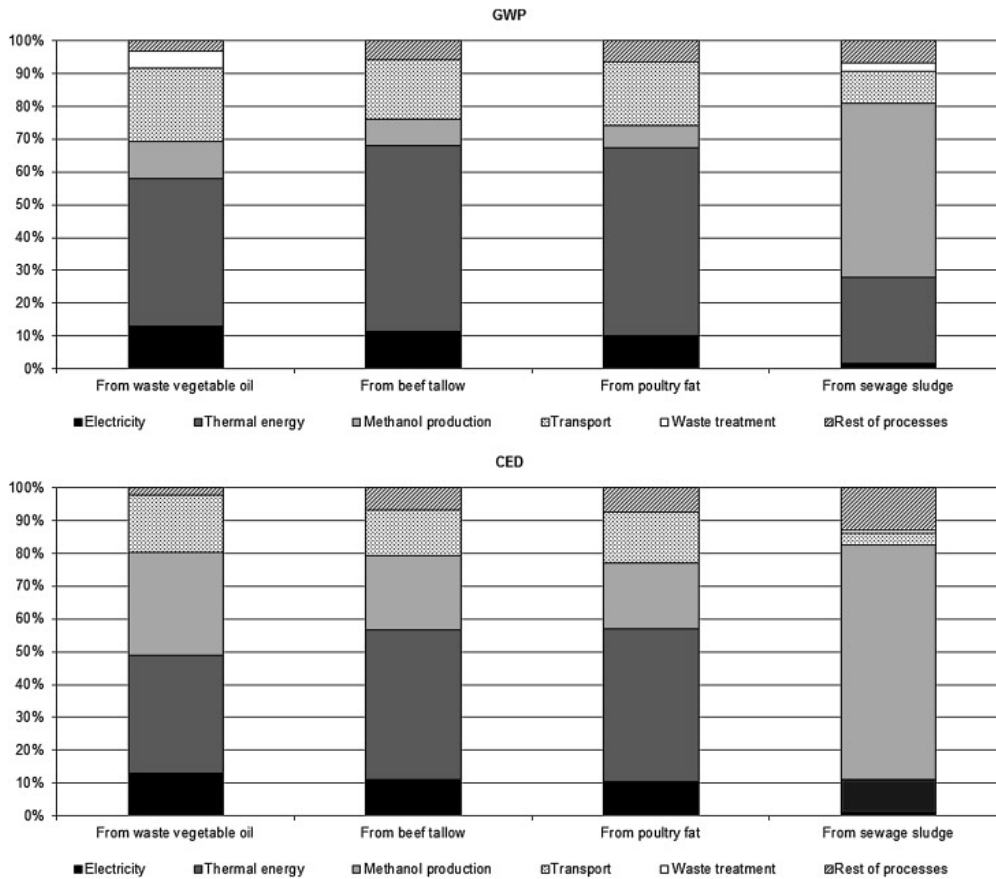


Figura 5.7: Impacto ambiental sob o aquecimento global (superior) e distribuição percentual do consumo energético (inferior) para diferentes matérias residuais [134].

O estudo [128] avalia a utilização de um catalisador mais sustentável na reação de transesterificação dos OAU. Como alternativa ao tradicional Hidróxido de Potássio (KOH), é proposta a utilização de Óxido de Cálcio (CaO), um catalisador heterogêneo passível de obter a partir dos resíduos de cascas de ovos. A utilização de um catalisador "verde" como o CaO revela-se, nas demais categorias ambientais, vantajosa perante os resultados obtidos com utilização do tradicional Hidróxido de Potássio (KOH) [128]. Destacam-se significativas vantagens ao nível da toxicidade humana, da contaminação de recursos aquáticos e do contributo para o aquecimento global, onde o catalisador a partir de CaO apresenta 27,2 kg de CO₂eq face a 300 kg de CO₂eq do segundo. Esta diferença ao nível do impacto ambiental deve-se, sobretudo, à maior complexidade e necessidade de energia associada ao processo de produção de KOH puro. Importa também notar que este catalisador, contrariamente ao CaO, não é reutilizável e origina uma maior formação de sabão e outros resíduos. O CaO enquanto catalisador sólido pode ser reutilizado até cinco vezes e permite dispensar o processo de purificação do biodiesel.

Mesmo recorrendo ao CaO [128] como catalisador "verde", o processo de preparação do catalisador da reação é aquele que mais contribui para o aumento do aquecimento global, dada a emissão de CO₂ associada ao processo de conversão do carbonato de

cálcio em óxido de cálcio (16 kg de CO₂eq).

O estudo [143], analisa quatro processos diferentes para a obtenção de biodiesel a partir de OAU: dois processos de transesterificação assistidos por catalisador alcalino, um processo de transesterificação assistido por catalisador ácido e um processo de transesterificação supercrítica não-catalítica. Conclui que a transesterificação assistida por catalisador alcalino, nomeadamente NaOH, é ambientalmente mais vantajosa do que a utilização de um catalisador ácido. A vantagem do catalisador ácido é em termos económicos. Estes resultados levam em conta uma análise probabilística multi-critério e uma análise sensitiva para cada fator considerado.

O estudo [130] reconhece o elevado dano ambiental associado ao processo produtivo do KOH e do ácido sulfúrico. A categoria mais afetada por a poluição gerada é a saúde humana, seguida dos recursos naturais.

O estudo [131] analisa o impacto ambiental decorrente da utilização de um catalisador enzimático no processo de transesterificação.

A ACV realizada com recurso ao método CML Baseline 2001, traduz claras vantagens ambientais na utilização de um catalisador enzimático. A utilização de catalisadores de base ácida ou alcalina faz aumentar, sobretudo, o impacto sentido ao nível da disponibilidade dos recursos naturais, da destruição da camada de ozono e da eco-toxicidade terrestre. A desvantagem de utilizar um catalisador enzimático está sobretudo no custo de obtenção deste, uma vez que além de não ser prejudicial ao ambiente permite ainda reduzir o consumo energético do processo.

O artigo [140] analisa a utilização de três tipos de catalisadores no processo de transesterificação com álcool: ácidos (H₂SO₄), alcalinos (KOH) e enzimáticos. O processo de transesterificação com recurso a catalisador alcalino (processo V) revelou-se globalmente o mais vantajoso em termos ambientais, como é observável na figura 5.8.

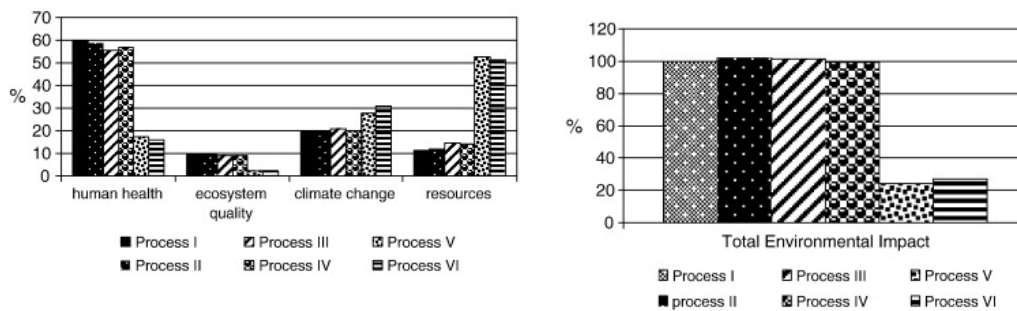


Figura 5.8: Impacto ambiental das várias matérias-primas na obtenção de biodiesel [140].

O estudo [137] analisa a obtenção de biodiesel a partir de OAU através do uso de diferentes catalisadores e de um outro processo não-catalítico. O estudo identifica a transesterificação de OAU sob condições supercríticas (não-catalítica) como o processo de transesterificação com melhor desempenho ambiental, reconhecendo os desenvolvimentos que são ainda necessários para a implementação deste processo em larga escala.

A tabela 5.2 compila numericamente o impacto sobre o aquecimento global das várias fases do processo de obtenção de biodiesel, reportadas por alguns dos estudos analisados. É observável o maior impacto associado às fases de pré-tratamento e transformação, assim como a variabilidade em termos de emissão de CO₂ equivalente consoante os pressupostos e características de cada ACV.

Tabela 5.2: Impacto sob o aquecimento global do processo de obtenção de biodiesel a partir de OAU.

Artigo		Recolha e Transporte	Pré-tratamento	Transformação	Total
Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production [127]	kg CO2 eq	5,69E-04	1,58E+02	7,64E-03	1,59E+02
Life cycle assessment of waste cooking oil for biodiesel production using waste chicken eggshell derived CaO as catalyst via transesterification [128]	kg CO2 eq	1,65E-01	2,83E+01	8,23E+00 + 1,60E+01	2,72E+01
Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and third-generation biofuel [130]	kg CO2 eq	8,20E+01		4,71E+02	5,53E+02
Consequential LCA of two alternative systems for biodiesel consumption in Spain [129]	kg CO2 eq	2,69E-04		7,64E-03	7,91E-03
LCA studies comparing alkaline and immobilized enzyme catalyst processes for biodiesel production under Brazilian conditions [131]	kg CO2 eq/MJ	7,86E-03	1,18E-03	7,9E-04	9,82E-03
Life cycle assessment of biodiesel production from free fatty acid-rich wastes [134]	kg CO2 eq/MJ	1,45E+02	1,97E+02	2,54E+02	6,52E+02
Converting waste cooking oil to biodiesel in China: Environmental impacts and economic feasibility [133]	kg CO2 eq	1,75E+02	1,58E+02	9,35E+02	1,22E+03

A influência da geografia no impacto ambiental da obtenção de biodiesel

A localização geográfica tem uma importância acrescida no impacto ambiental do biodiesel obtido, sobretudo pelas implicações ao nível do processo de recolha e distribuição.

Segundo o estudo [130] realizado na Grécia, o transporte e recolha dos óleos alimentares representou, em média, cerca de 15% do impacto ambiental associado à obtenção do produto final. O estudo levou em conta a recolha de matéria em diferentes localizações (e, assim, distâncias). Esta característica permitiu inferir a considerável influência que a distância do ponto de recolha à unidade de produção, exerce no saldo ambiental do produto. No melhor cenário, a recolha dos OAU representou apenas 4,72% do impacto ambiental do produto, enquanto que no pior cenário este contributo ascendeu aos 24,3%.

O estudo [136] relata uma diferença substancial do impacto ambiental associada à sua produção e distribuição de biodiesel obtido a partir de OAU, consoante a localização da biorrefinaria. A produção de biodiesel em locais com elevada disponibilidade de recursos renováveis e matérias-primas permite um bom desempenho ambiental face aos outros combustíveis, o que sugere que a produção de biodiesel pode ser dissociada do local de consumo do biodiesel. Por outras palavras, o biodiesel pode ser produzido num local geográfico com base na disponibilidade de recursos e matérias-primas, podendo depois ser transportado para outro local para utilização final.

O estudo [131] mostra que na realidade do Brasil, o impacto do transporte e recolha da matéria-prima tem também um maior peso quando se trata da utilização de OAU, uma vez que a variação da distância pode traduzir-se num aumento do impacto ambiental na ordem dos 17%. Quando a matéria-prima é o óleo de soja, a variação provocada pelo transporte não supera os 3%.

O estudo [132] realiza uma ACV à produção de biodiesel a partir de OAU, considerando diferentes cenários de recolha em Portugal. O principal objetivo é estudar detalhadamente o impacto que diferentes processos de recolha dos OAU têm na pegada ambiental do combustível. São contemplados diferentes cenários para recolhas domésticas e industriais, em diferentes zonas habitacionais do país.

Os resultados dão conta de uma significativa diferença consoante o sistema de re-

colha (porta-a-porta, contentores de rua e restaurantes), mas também a densidade da zona populacional onde ele é implementado. A recolha em zonas com baixa densidade populacional (ex: Alentejo), acaba por ser a menos vantajosa em termos ambientais, embora não seja possível inferir uma correlação direta entre a densidade populacional e a performance ambiental da recolha (litros OAU por km), em parte devido à influência de variáveis como o tipo de veículo utilizado, ou mesmo o hábito de consumo dos habitantes (pois influencia diretamente a quantidade de óleo disponível para recolha). O sistema de recolha porta-a-porta apresenta também uma elevada pegada ambiental.

O tipo de veículo utilizado e a fonte energética a que este recorre é outro dos fatores que impacta significativamente a pegada ambiental deste processo de recolha (mesmo considerando um ligeiro aumento das emissões de NO_x). O estudo indica que frotas de recolha alimentadas diretamente com biodiesel apresentam um menor impacto ambiental global, nomeadamente ao nível das emissões por quilograma de CO_2 equivalente. Note-se que a eficiência do sistema foi medida segundo um indicador de litros recolhidos por quilómetro percorrido.

A eficiência dos trajetos de recolha influencia bastante o impacto ambiental nas várias categorias. Por exemplo, o impacto sob o aquecimento global varia entre 6 e 71%, em grande parte graças a este indicador. O método de recolha mais ineficiente revelou ser o porta-a-porta (neste sistema cada pessoa dispunha de um garrafão de cinco litros para ir colocando os OAU). Contrariamente, a recolha em estabelecimentos do canal HoReCa foi a que apresentou uma maior eficiência, tornando diminuta a contribuição poluente associada ao momento de recolha. Em certos cenários foi possível obter valores de emissão de gases de efeito de estufa inferiores aos estipulados na normativa RED II. No entanto, o estudo ressalva que, apesar da alta variação observada nos resultados (pois há cenários onde o processo de recolha é responsável por grande parte das emissões), o biodiesel produzido a partir de OAU tem impactos ambientais consideravelmente menores do que o biodiesel de matéria-prima virgem ou diesel fóssil.

O estudo [139] aplicado ao território espanhol conclui acerca das vantagens de, em certos territórios, recorrer a unidades de produção localizadas. Este trabalho ilustra a importância de considerar o número de instalações industriais na conceção de novas unidades produtivas, não só do ponto de vista económico mas também do ponto de vista ambiental.

5.3 Síntese conclusiva

A variabilidade associada às condições de realização de cada ACV e as diferentes condições assumidas por cada autor, tornam difícil a retirada de conclusões específicas, sobretudo sob a forma quantitativa. Uma dificuldade acrescida pelos diferentes *assessment methods* utilizados por cada autor. Ainda assim, foi possível compreender as matérias-primas ambientalmente mais vantajosas, os impactos decorrentes de alterações à cadeia produtiva do biodiesel e a influência da localização geográfica da biorrefinaria.

A vantagem ambiental associada à utilização de OAU's como fonte de matéria-prima é transversal a todos os estudos, independentemente das condições em que estes são realizados. Os estudos levado a cabo em países ocidentais, reportam vantagens bastante expressivas em utilizar OAU, fruto da boa qualidade que os óleos residuais ainda apresentam quando são descartados. Nenhum dos estudos mostrou maior vantagem em utilizar

matéria vegetal, dado o elevado impacto associado ao processo de cultivo. A utilização de biodiesel obtido a partir de matérias residuais mostrou também melhor desempenho ambiental desde a extração ao posto de abastecimento, do que o gásóleo fóssil.

Analisando o impacto ambiental das diferentes fases da cadeia de valor do biodiesel obtido a partir de OAU, percebe-se que a fase mais crítica é a da produção, sobretudo aquando da reação de transesterificação, como observado na tabela 5.2. A realização de ACV a outros processos produtivos emergentes, como a transesterificação supercrítica, está ainda pouco desenvolvida. A utilização de catalisadores enzimáticos como o CaO, traz vantagens ao nível ambiental face à utilização de catalisadores químicos convencionais. Contudo, não se pode concluir sobre a viabilidade da sua aplicação, sem perceber concretamente as implicações económicas da sua utilização, já que tendencialmente apresentam um custo de obtenção superior.

Da análise aos variados estudos, constatou-se a influência que a localização geográfica da produção de biodiesel tem no impacto ambiental final deste produto. A localização influencia desde logo o processo de recolha e transporte da matérias-prima, que pode apresentar um impacto ambiental bastante variável. A disponibilidade de recursos no local de implantação é também determinante para a sustentabilidade do processo produtivo. A título de exemplo, a localização de biorrefinarias em locais ou países com disponibilidade de energias renováveis reduz significativamente a pegada ambiental face à sua localização em locais com elevado recurso a energias fósseis. Esta observação alerta para atenção que deve ser dada a este fator, já que a sua otimização pode levar a ganhos ambientais consideráveis.

A pegada ambiental da cadeia de valor do biodiesel é também bastante influenciada pela reutilização dos co-produtos da reação e pela proveniência da energia que é utilizada no processo produtivo. Pelo contrário, o saldo ambiental associado à construção dos equipamentos e instalações de produção mostrou-se pouco relevante, já que estes apresentam um ciclo de vida bastante longo.

Capítulo 6

Análise dos Desafios e Oportunidades Futuras

No presente capítulo procede-se a uma análise dos desafios a que a penetração de biodiesel no mercado português está sujeita. Os desafios identificados resultam de uma retrospectiva sobre o conteúdo vertido nos capítulos anteriores. De forma a auxiliar esta análise à proliferação de biodiesel no mercado português, utilizam-se ainda duas ferramentas estratégicas pluridimensionais: a análise PESTEL e a análise SWOT. A análise PESTEL dedica maior atenção a fatores externos ao próprio biodiesel assentes em seis pilares estratégicos da sociedade, ao passo que a análise SWOT considera as características intrínsecas ao próprio biodiesel a par com os fatores externos mais relevantes da análise PESTEL. A conjugação de ambas as análises permite uma mais lúcida compreensão do ponto de situação presente do biodiesel e das suas perspetivas futuras em território nacional.

6.1 Desafios e Oportunidades Futuras

Vive-se hoje em dia numa sociedade onde a necessidade de mobilidade é imperativa. A própria economia mundial, assenta num modelo de interação global, de que dificilmente prescindirá. A fatura desta crescente mobilidade, faz-se sentir ao nível ambiental, com o aumento da poluição atmosférica e da contaminação dos ecossistemas.

O principal entrave às soluções de mobilidade utilizadas atualmente está na elevada emissão de poluentes que lhes está associada. O parque automóvel europeu assenta bastante no consumo de combustíveis fósseis, nomeadamente o gasóleo, pelo que a presente dissertação procurou analisar o contributo ambiental e viabilidade do biodiesel no contexto português, assegurando o paralelismo constante com a realidade europeia.

A produção de biodiesel a partir de matérias residuais tem grande parte da sua pegada ambiental associada ao processo produtivo. Este impacto decorre do elevado consumo de recursos, como a energia e os catalisadores de reação, a que o processo de transesterificação obriga. Atualmente, a produção de biodiesel por transesterificação, representa a melhor solução custo-eficácia para a produção em larga escala. Contudo, existem outros processos mais eficientes e sustentáveis sob investigação. A obtenção de biodiesel por transesterificação supercrítica (não-catalítica) assistida por microondas, antevê-se como uma das alternativas mais promissoras. As boas propriedades do produto

final, a ausência de solventes e catalisadores e o curto tempo de reação, justificam um aprofundamento da sua aplicação futura à produção nacional.

A meta-análise efetuada aos processos produtivos de biodiesel, permitiu inferir que a utilização de OAU's para a produção de biodiesel, são das matérias que apresentam menor impacto ambiental, mesmo considerando a fase de recolha dos OAU's. A valorização deste resíduo é bastante relevante, dados os danos ambientais que o seu descarte indevido originam. A baixa taxa de reciclagem observada para os OAU's nacionais (inferior a 10%) mostra que há ainda uma larga margem para o aumento da capacidade produtiva em território português. A posição estratégica de Portugal para a obtenção de energia a partir de fontes renováveis, permite ainda reduzir a emissão de poluentes associada ao consumo de energia do processo de produção. A valorização dos co-produtos da reação (nomeadamente o glicerol) para outros fins, é uma mais-valia para a atenuação dos efeitos ambientais decorrentes do processo produtivo.

A quase totalidade do biodiesel consumido em Portugal é produzido internamente, um dado justificado pelo parque automóvel predominantemente a gasóleo. As previsões futuras mostram que, não obstante o recente crescimento na venda de veículos ligeiros híbridos e elétricos, os veículos a gasóleo permanecerão ainda por longos anos nas estradas portuguesas. Uma realidade mais evidente no que concerne a veículos pesados, dadas as reduzidas alternativas à sua substituição no curto prazo. A utilização de biodiesel puro proveniente de fontes residuais, o mais comum em Portugal, origina reduções de emissão de GEE que podem ser superiores a 80%.

Além da sustentabilidade da matéria-prima utilizada, importa também perceber a compatibilidade deste combustível com o parque automóvel existente. A revisão bibliográfica aos vários constrangimentos decorrentes da utilização de biodiesel, revelou uma apetência geral dos motores a gasóleo para, gradualmente, aumentarem a sua incorporação física. Os problemas de ordem técnica são diminutos e a sua utilização quotidiana permite, no cômputo geral, uma redução das emissões produzidas durante a combustão, com um mínimo de prejuízo na performance e consumo do veículo. Verificou-se que veículos pesados são os mais aptos a receber largas incorporações de biodiesel. Grande parte destes veículos goza já de aprovação técnica por parte dos fabricantes para a utilização de elevadas incorporações deste. Tendo em conta que o parque automóvel de pesados está bastante dependente da tecnologia *diesel*, a disponibilização de gasóleo profissional com maior incorporação física de biodiesel, permitiria uma larga redução das suas emissões poluentes, sem prejuízo ao seu normal funcionamento.

Contudo, para o aumento das incorporações de biodiesel no combustível em comercialização, recomenda-se a realização futura de uma análise financeira contextualizada com a realidade portuguesa. O custo ao consumidor final assume um papel determinante nestas tomadas de decisões. Recomenda-se também uma análise à viabilidade de introduzir incentivos estatais à comercialização de combustíveis com uma maior incorporação de combustível renovável, à semelhança do que já ocorre com a isenção de ISP sob os biocombustíveis avançados.

Além do biodiesel, têm surgido outros combustíveis com baixo teor de carbono alternativos ao gasóleo fóssil. A sua conjugação com o biodiesel FAME, permitirá uma mais rápida e eficaz descarbonização do setor dos transportes. Tanto para estes, como para o biodiesel, há diversas unidades de produção planeadas ou em construção, tanto a nível nacional como europeu. Uma prova, em como a disponibilização de combustíveis renováveis à sociedade, não está pendente da atração de investimento à sua produção.

As metas estabelecidas por parte da União Europeia e do governo português para a descarbonização do setor dos transportes revelam-se importantes, atendendo ao contexto ambiental, mas também ambiciosas, se atendermos às recentes evoluções no panorama da mobilidade. O biodiesel, quando obtido a partir de matéria residual certificada e produzido sob condições controladas, representa uma fonte de energia limpa. Esta característica permite-lhe ser uma das várias alternativas energéticas que contribuirá para a descarbonização da mobilidade. Investir na promoção de biodiesel, é investir no combate às alterações climáticas e, conseqüentemente, numa melhoria global do meio ambiente.

6.2 Análise PESTEL

Por forma a compilar a informação acerca dos vários fatores a que a implementação de Biodiesel está sujeita, realiza-se uma análise PESTEL (*Political, Economical, Social, Technological, Environmental and Legal analysis*), observável na figura 6.1. Esta análise estuda fatores de ordem Política, Económica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legislativa [144].

A análise PESTEL consiste num enquadramento estratégico que permite uma visão alargada do ecossistema circundante a um dado meio de negócio ou tecnologia. Esta análise surge como evolução da tradicional análise PEST, que não contemplava ainda os fatores de ordem ambiental e legal. A utilização desta ferramenta é bastante comum entre gestores de empresas e equipas aquando da elaboração de planos estratégicos ou de análises de risco [144]. É também usada em estudos quanto à viabilidade de introduzir um novo produto ou serviço no mercado, sendo regra geral procedida de de uma análise SWOT com base em algumas das fraquezas de ordem externa identificadas [144]. Esta característica determina a sua utilização nesta dissertação, a fim de avaliar os múltiplos fatores externos capazes de influenciar a penetração do biodiesel no mercado português.

Ao nível político, as estratégias e diretivas para a transição e autonomia energética no médio-longo prazo, revelam-se um fator de forte influência para a pertinência que o biodiesel terá no futuro ramallete energético nacional. Em termos económicos, o poder de compra (influenciado também por medidas de apoio económico) e a cotação das fontes de energia concorrenciais dão conta da competitividade que o biodiesel pode apresentar no mercado. A sociedade consegue ter um impacto dual no futuro do biodiesel, influenciando a sua produção que, quando efetuada a partir de matéria residual está dependente dos hábitos de reciclagem, como no consumo final, através de uma maior ou menor procura e aceitação deste biocombustível. Ao nível tecnológico, a disseminação de novas tecnologias e a crescente conectividade intrínseca a pessoas e bens representam dois fatores capazes de influenciar toda a cadeia produtiva do biodiesel. Na vertente ambiental, as políticas e ações têm o potencial de influenciar, ainda que indiretamente, a sustentabilidade do biodiesel. Por fim, em termos legislativos, a legislação europeia e nacional sob a venda de automóveis ou sob a utilização de energias renováveis nos transportes, têm um considerável impacto na disseminação do biodiesel no mercado.

A realização desta análise foi um dos primeiros passos utilizados no início desta dissertação, tendo sido construída de forma iterativa, à medida que se foi aprofundando o conhecimento no tema em questão. A sua colocação no final do documento, ao invés de no início, deve-se ao reconhecimento da sua capacidade de síntese relativamente ao aprofundamento dos diversos fatores ao longo da dissertação.



Figura 6.1: Análise PESTEL à penetração do biodiesel em Portugal

6.3 Análise SWOT

A análise SWOT, acrónimo em inglês para (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats), é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisões estratégicas relativamente a um produto ou projeto. Enquanto que a análise PESTEL promove uma visão macroscópica da realidade em torno de uma questão, a análise SWOT complementa-a, ajudando a escrutinar a viabilidade de uma dada ação. Esta viabilidade é obtida através de um balanceamento entre pontos fortes, pontos fracos, ameaças e oportunidades[145].

A análise SWOT levada a cabo no âmbito desta dissertação e presente na figura 6.2, analisa a viabilidade futura do biodiesel em Portugal, tendo em conta os fatores externos identificados pela análise PESTEL, mas também fatores internos ao biodiesel e às suas características.

A reconhecimento explanado nesta matriz possibilita a identificação dos maiores desafios à implementação do biodiesel. O reconhecimento desses desafios permite, de forma mais expedita, desencadear mecanismos de superação dos mesmos.

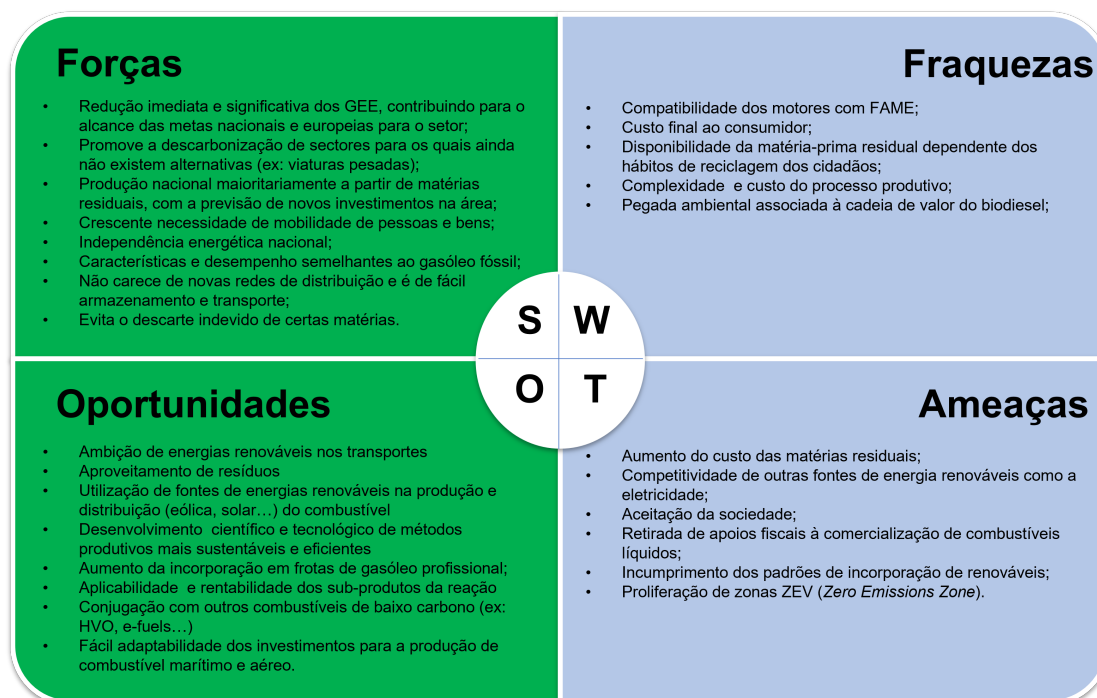


Figura 6.2: Análise SWOT à penetração do biodiesel em Portugal

Página intencionalmente em branco

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

A presente dissertação permitiu uma compreensão holística do ponto de situação do biodiesel em Portugal, satisfazendo o objetivo inicial de realizar um levantamento do estado de arte relativamente a este biocombustível. Como resultado desta alargada compreensão foi possível identificar os diversos fatores de ordem externa ao biodiesel que influenciam a sua penetração no leque energético nacional. Esta identificação permitiu reconhecer os desafios e oportunidades para o biodiesel em Portugal e, genericamente, no contexto Europeu.

A descarbonização da mobilidade está dependente da conjugação de diversas fontes energéticas, consoante a sua adequação às necessidades da sociedade. Os combustíveis com baixo teor de carbono, nomeadamente os biocombustíveis, terão também o seu contributo para atingir este objetivo. A evolução do biodiesel tem originado uma crescente qualidade do mesmo, sendo cada vez menor o relato de problemas decorrentes da sua utilização. O aumento faseado da incorporação física de biocombustível, facilita também essa mesma adaptação positiva dos MCI. A conjugação com modernos sistemas de tratamento de gases de escape, quando devidamente aptos à utilização desta mistura, permitem uma considerável redução dos poluentes emitidos, resultando num menor impacto sobre o meio ambiente e a própria saúde humana. A realização de um crescente número de testes e ensaios de certificação de motores para a utilização de biodiesel, permite atestar de forma fidedigna estas mesmas vantagens ambientais e compatibilidade técnica.

O biodiesel, em concreto, destaca-se por ser uma alternativa imediata à descarbonização de setores onde ainda não existem verdadeiras alternativas viáveis à utilização de combustíveis fósseis, como é o caso dos setores do transporte pesado de mercadorias. Da análise ao parque automóvel conclui-se que, embora existam outras fontes de propulsão em franco crescimento (como a eletricidade), os veículos movidos a gasóleo continuarão a representar uma quota parte relevante, que se traduzirá numa procura interna significativa por este combustível ao longo das próximas décadas. A satisfação dessa procura de forma mais sustentável está dependente do aumento gradual da incorporação de biodiesel contemplada na legislação, nomeadamente no gasóleo para fins profissionais, a par com uma maior sensibilização da sociedade para utilização do mesmo. Esta sensibilização passa por a comunicação de informação objetiva e fidedigna sobre os impactos da utilização do biodiesel, por parte dos diversos agentes envolvidos na esfera da mobilidade, como produtores de combustíveis, agentes fiscalizadores e reguladores e entidades comercializadoras de viaturas. A fidelidade dessa informação, essencial à confiança de consumidores

particulares e empresas na utilização de biodiesel, passa em parte por a realização de testes de longa duração sob condições reais de utilização deste biocombustível.

O impacto ambiental decorrente da produção de biodiesel foi também avaliado com sucesso através da revisão de ACV já existentes, culminando na aferição da vantagem ambiental associada à utilização de matérias residuais para a obtenção de biodiesel, nomeadamente de OAU. A grande variabilidade de condições e pressupostos em que cada ACV assenta, constituíram a principal dificuldade na retirada de mais ilações sobre a produção de biodiesel. Portugal é dos países onde a transição para a produção de biodiesel residual está mais consumada, contando com investimentos em novas biorrefinarias que ditarão o aumento da capacidade produtiva já existente. A baixa taxa de reciclagem que ainda se verifica para certos resíduos, mostra que há ainda uma grande quantidade de matéria-prima com potencial de aproveitamento, mas também um desafio a ser ultrapassado. A superação da barreira relativa à baixa taxa de reciclagem deve ser superado com mecanismos de promoção da reciclagem, além das comuns campanhas de sensibilização. O futuro deste biocombustível passa por a sua obtenção a partir de matérias residuais e avançadas, reduzindo paulatinamente a utilização de óleos vegetais a partir de culturas agrícolas, factualmente menos sustentáveis. Deve ainda ser considerada a utilização concomitante de biocombustível e outros combustíveis de origem renovável, como os *e-fuels* ou o HVO, a bem de uma maior descarbonização da mobilidade, recorrendo à conjugação das potencialidades de diferentes fontes energéticas.

O conhecimento que já existe desta matéria, a sua capacidade de aplicação imediata na redução de emissões e de utilização das infraestruturas existentes, aliado à oportunidade de satisfazer os padrões de consumo da sociedade, levam a concluir que o biodiesel obtido a partir de matérias residuais constitui, a par com outras fontes de energia, uma séria alternativa à descarbonização do sector dos transportes em Portugal e, consequentemente, à promoção de uma mobilidade mais sustentável.

De forma a robustecer e dar continuidade ao trabalho desenvolvido nesta dissertação, deixam-se como recomendação alguns trabalhos futuros:

- Analisar a utilização de diferentes misturas de biodiesel em veículos de natureza diversa sob situações reais de operação em território nacional.
- Realizar uma Avaliação de Custo de Ciclo de Vida (ACCV), a fim de compreender a viabilidade económica da produção e comercialização de biodiesel;
- Estudar, com base em modelos analíticos, a quantidade concreta de incorporação de biodiesel necessário ao cumprimento das metas ambientais, atendendo a diferentes cenários de evolução do parque automóvel e de disponibilidade de matéria-prima residual;
- Aprofundar o conhecimento acerca da compatibilidade de utilização dos biodiesel com outros combustíveis de base renovável substitutos do gasóleo;
- Proceder a uma ACV "*well-to-wheel*" da utilização de biodiesel obtido a partir de OAU face a outras tecnologias de propulsão (eletricidade, combustíveis fósseis, hidrogénio...) de forma enquadrada na realidade nacional.

Referências Bibliográficas

- [1] UE. (s.d.[a]). *Statistics | Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00126/default/table?lang=en> (accessed: Feb. 08, 2022)
- [2] Pordata. (s.d.). *PORDATA - Veículos rodoviários motorizados em circulação: total e por tipo de combustível*. <https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela> (accessed: Feb. 08, 2022)
- [3] UE. (s.d.[b]). *EU's plan for a green transition*. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/> (accessed: Feb. 08, 2022)
- [4] Christensen, A. (2021). Transportation Carbon Intensity Targets for the European Union – Road and Aviation Sectors.
- [5] bp Statistical Review of World Energy. (2021). Full report – Statistical Review of World Energy 2021. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (70).
- [6] Annual CO2 emissions worldwide 1940-2020 | Statista. (s.d.). <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>
- [7] da Energia, O. & de Serviços de Planeamento Energético e Estatística ADENE – Agência para a Energia DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, D. (2022). Energia em Números - Edição 2022. *ADENE – Agência para a Energia*.
- [8] EU energy mix and import dependency - Statistics Explained. (2022). https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_energy_mix_and_import_dependency
- [9] EC. (2020). EU transport in figures Statistical pocketbook 2020. *Notes*. https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2020_en
- [10] Agency., E. E. (2020). Transport, increasing oil consumption and greenhouse gas emissions hamper EU progress towards environment and climate objectives.
- [11] Imt. (2020). Edição 2021 ANUÁRIO Estatístico da Mobilidade e dos Transportes. www.imt-ip.pt
- [12] OECD. (2014). The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport. *The Cost of Air Pollution*. <https://doi.org/10.1787/9789264210448-EN>
- [13] *Transportation emissions in the European Union - Statistics and Facts | Statista*. (s.d.). <https://www.statista.com/topics/7968/transportation-emissions-in-the-eu/#dossierKeyfigures>
- [14] Euro emissions standards | AA. (2017). <https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>
- [15] Greenhouse gas emissions from transport in the EU, by transport mode and scenario — European Environment Agency. (2021). https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/greenhouse-gas-emissions-from-transport-3#tab-chart_1
- [16] Transport – UNIFY. (s.d.). <https://unify.caneurope.org/policy-areas/necp/portugal/transport/>

- [17] Martins, J. (2020). *Motores de Combustão Interna, 6^a edição*. Engebook.
- [18] Ministério. (2019). PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030).
- [19] Unfccc. (2015). ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT - Paris Agreement text English.
- [20] Pacto Ecológico Europeu. (2019). <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- [21] DIRETIVA (UE) 2018/ 2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO [promoção da utilização de energia de fontes renováveis]. (11 de dezembro de 2018). *Jornal Oficial da União Europeia*, 61. <https://doi.org/ISSN1977-0774>
- [22] Commission, E. (2022). REPowerEU Actions. <https://doi.org/10.2775/23837>
- [23] Diesel-Knappheit: Analysten warnen vor Treibstoff-Mangel. (s.d.). <https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/700768/Analysten-warnen-vor-einer-Diesel-Knappheit-in-Europa>
- [24] Agência Portuguesa do Ambiente, F. A. R. P. (2019). ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 - RNC 2050.
- [25] de Ministros, C. (2021). Decreto-Lei n.º 8/2021. *Diário da República, 1.ª série*.
- [26] da Economia e da Inovação, M. (2006). Decreto-Lei n.º 62/2006 de 21 de Março. *Diário da República*.
- [27] Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K. & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578–597. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.10.003>
- [28] *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. (s.d.). <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> (accessed: 04.02.2021)
- [29] A. Gasparatos, P. S. & Takeuchi, K. (2013). Sustainability impacts of first-generation biofuels. *Animal Frontiers*, 3(2), 12–26. <https://doi.org/10.2527/AF.2013-0011>
- [30] Mohr, A. & Raman, S. (2013). Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. *Energy policy*, 63(2), 114–122. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.08.033>.
- [31] et al., N. S. (2020). Sustainability of the four generations of biofuels – A review. *International Journal of Energy Research*, 44(12), 9266–9282. <https://doi.org/10.1002/ER.5557>
- [32] C. Boutesteijn, D. D. & Venus, T. J. (2017). The interaction between EU biofuel policy and first- and second-generation biodiesel production [On the electro-dynamics of moving bodies]. *Industrial Crops and Products*, 106, 124–129. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.09.067>.
- [33] Diário da República, 1.ª série PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS. (s.d.).
- [34] et al., B. A. (2019). Fourth generation biofuel: A review on risks and mitigation strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 37–50. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.02.018>
- [35] Diesel 101: History Invention of the Diesel Engine | UTI. (s.d.). <https://www.uti.edu/blog/diesel/diesel-engine-history>
- [36] M. Guo, W. S. & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective []. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712–725. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.10.013>

- [37] Dimitriadis, A., Natsios, I., Dimaratos, A., Katsaounis, D., Samaras, Z., Bezergianni, S. & Lehto, K. (2018). Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 4. <https://doi.org/10.3389/FMECH.2018.00007>
- [38] No, S. Y. (2014). Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines - A review. *Fuel*, 115, 88–96. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2013.07.001>
- [39] Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T. & Mikkonen, S. (2009). Hydrotreated vegetable Oil (HVO) as a renewable diesel fuel: Trade-off between NOx, particulate emission, and fuel consumption of a heavy duty engine. *SAE International Journal of Engines*, 1, 1251–1262. <https://doi.org/10.4271/2008-01-2500>
- [40] R33 premium diesel protects the environment. (s.d.). <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/01/protecting-the-environment--right-now.html>
- [41] BIOFUELS BAROMETER. (s.d.). <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii>
- [42] Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- [43] Brynolf, S., Taljegard, M., Grahn, M. & Hansson, J. (2018). Electrofuels for the transport sector: A review of production costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1887–1905. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.288>
- [44] Germany Has Opened the World's First Clean Jet Fuel Plant. (2021). <https://interestingengineering.com/innovation/germany-has-opened-the-worlds-first-clean-jet-fuel-plant>
- [45] Expresso | Navigator faz aliança para investir pelo menos 550 milhões em combustível verde para aviões. (2022). <https://expresso.pt/economia/2022-07-21-Navigator-faz-alianca-para-investir-pelo-menos-550-milhoes-em-combustivel-verde-para-avioes-6dd76f90>
- [46] Formula 1 develops synthetic sustainable fuel to be introduced in 2026 - BBC Sport. (2022). <https://www.bbc.com/sport/formula1/61942876>
- [47] Ridjan, I., Mathiesen, B. V., Connolly, D. & Duić, N. (2013). The feasibility of synthetic fuels in renewable energy systems. *Energy*, 57, 76–84. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.01.046>
- [48] ERSE. (2021). Análise do mercado de biocombustíveis 2018-2020.
- [49] Decreto-Lei n.º 117/2010 [Artigo 11.º - Metas e obrigação de incorporação]. (25 de Outubro de 2010). *Diário da República*, (207), 4782–4795.
- [50] Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M., Masjuki, H. H. & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.01.003>
- [51] Lapuerta, M., Armas, O. & Rodríguez-Fernández, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198–223. <https://doi.org/10.1016/J.PECS.2007.07.001>
- [52] Progress and recent trends in biodiesel fuels. (2009). *Energy Conversion and Management*, 50, 14–34. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2008.09.001>
- [53] Hazrat, M. A., Rasul, M. G., Mofijur, M., Khan, M. M., Djavanroodi, F., Azad, A. K., Bhuiya, M. M. & Silitonga, A. S. (2020). A Mini Review on the Cold

- Flow Properties of Biodiesel and its Blends. *Frontiers in Energy Research*, 8, 326. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2020.598651/BIBTEX>
- [54] Mahmudul, H. M., Hagos, F. Y., Mamat, R., Adam, A. A., Ishak, W. F. & Alesnezi, R. (2017). Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 497–509. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.01.001>
- [55] Peng, D. X. (2015). Exhaust emission characteristics of various types of biofuels. *Advances in Mechanical Engineering*, 7, 1–7. https://doi.org/10.1177/1687814015593036/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1687814015593036-FIG2.JPEG
- [56] A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines. (2017). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1134–1159. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.176>
- [57] Xue, J., Grift, T. E. & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1098–1116. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.11.016>
- [58] Palash, S. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Masum, B. M., Fattah, I. M. R. & Mofijur, M. (2013). Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 473–490. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.03.003>
- [59] Buyukkaya, E. (2010). Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 89, 3099–3105. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2010.05.034>
- [60] Singh, S. P. & Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 200–216. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.07.017>
- [61] Rajasekar, E. & Selvi, S. (2014). Review of combustion characteristics of CI engines fueled with biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 390–399. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.04.006>
- [62] Effect of Waste Cooking Oil Biodiesel Blends on Performance and Emissions from a CRDI Diesel Engine. (2017). *Improvement Trends for Internal Combustion Engines*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.69740>
- [63] PROJETO PRIO B100. (2020).
- [64] ENSE | Biocombustíveis - ENSE. (s.d.). <https://www.ense-epe.pt/biocombustiveis/>
- [65] Legislação – Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis. (s.d.). <https://appb.pt/legislacao/>
- [66] Emissão de títulos de Biocombustíveis-2021. (2021).
- [67] "EN14214, EN16709, EN16734" - European Standards. (s.d.). <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN14214>
- [68] ISCC for Energy > ISCC System. (s.d.). <https://www.iscc-system.org/process/market-applications/iscc-for-energy/>
- [69] Biofuel REDcert. (s.d.). <https://www.redcert.org/en/redcert-systems/biofuels.html>
- [70] Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S. & Sharma, P. K. (2020). Review article A review on feedstocks , production processes , and yield for different

- generations of biodiesel. *Fuel*, 262(October 2019), 116553. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>
- [71] Pikula, K., Zakharenko, A., Stratidakis, A., Nosyrev, A., Mezhuev, Y. & Tsatsakis, A. (2020). Green Chemistry Letters and Reviews The advances and limitations in biodiesel production : feedstocks , oil extraction methods , production , and environmental life cycle assessment. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1829099>
- [72] Meher, L. C., Sagar, D. V. & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248–268. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2004.09.002>
- [73] Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkemeier, R. & Bordado, J. M. (2006). Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, 26, 487–494. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2005.02.025>
- [74] Verma, P. & Sharma, M. P. (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1063–1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.054>
- [75] Wang, Y., Liu, S. O. P. & Zhang, Z. (2007). Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. *Energy Conversion and Management*, 48, 184–188. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2006.04.016>
- [76] Hama, S., Yamaji, H., Kaieda, M., Oda, M., Kondo, A. & Fukuda, H. (2004). Effect of fatty acid membrane composition on whole-cell biocatalysts for biodiesel-fuel production. *Biochemical Engineering Journal*, 21, 155–160. <https://doi.org/10.1016/J.BEJ.2004.05.009>
- [77] Du, W., Xu, Y., Liu, D. & Zeng, J. (2004). Comparative study on lipase-catalyzed transformation of soybean oil for biodiesel production with different acyl acceptors. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 30, 125–129. <https://doi.org/10.1016/J.MOLCATB.2004.04.004>
- [78] Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. (2010). *Biotechnology Advances*, 28, 500–518. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2010.03.002>
- [79] Aboelazayem, O., Gadalla, M. & Saha, B. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil via supercritical methanol: Optimisation and reactor simulation. *Renewable Energy*, 124, 144–154. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.06.076>
- [80] van Kasteren, J. M. & Nisworo, A. P. (2007). A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 442–458. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2006.07.005>
- [81] Carina, A. & Barbosa, P. (2015). PROJETO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BODIESEL NUM REATOR ULTRASSÓNICO PELA VIA SUPERCRÍTICA.
- [82] Nayak, S. N., Bhasin, C. P. & Nayak, M. G. (2019). A review on microwave-assisted transesterification processes using various catalytic and non-catalytic systems. *Renewable Energy*, 143, 1366–1387. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.05.056>
- [83] Melo-Júnior, C. A. R., Albuquerque, C. E. R., Fortuny, M., Dariva, C., Egues, S., Santos, A. F. & Ramos, A. L. D. (2009). Use of Microwave Irradiation in the

- Noncatalytic Esterification of C18 Fatty Acids. *Energy and Fuels*. <https://doi.org/10.1021/ef800766x>
- [84] Quispe, C. A., Coronado, C. J. & Carvalho, J. A. (2013). Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 475–493. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.06.017>
- [85] Formula E uses pollution-free glycerine to charge cars | FIA Formula E. (s.d.). <https://www.fiaformulae.com/en/news/2014/september/formula-e-uses-pollution-free-glycerine-to-charge-cars.aspx>
- [86] Plácido, J. & Capareda, S. (2016). Conversion of residues and by-products from the biodiesel industry into value-added products. *Bioresources and Bioprocessing*, 3, 1–12. <https://doi.org/10.1186/S40643-016-0100-1/TABLES/5>
- [87] Europe: biofuel production by country 2021 | Statista. (s.d.). <https://www.statista.com/statistics/332510/biofuels-production-in-selected-countries-in-europe/>
- [88] Phillips, S., Flach, B., Lieberz, S. & Bolla, S. (2019). Biofuels Annual - EU Biofuels Annual 2019.
- [89] OIL WORLD ISTA Mielke GmbH: Independent Global Market Analyses Forecasts Since 1958. (s.d.). <https://www.oilworld.biz/>
- [90] REPORT ON GLOBAL MARKET SUPPLY 2020/2021. (2021). www.wbgu.de/en/publications/publication/landshift
- [91] Figueira da Foz anuncia investimento de 12 milhões de euros numa unidade de combustíveis – ECO. (s.d.). <https://eco.sapo.pt/2022/06/07/figueira-da-foz-anuncia-investimento-de-12-milhoes-de-euros-numa-unidade-de-combustiveis/>
- [92] Prio e Delta vão produzir briquetes e biodiesel a partir de borras de café - Sustentabilidade - Jornal de Negócios. (s.d.). <https://www.jornaldenegocios.pt/sustentabilidade/detalhe/prio-e-delta-vao-produzir-briquetes-e-biodiesel-a-partir-de-borras-de-cafe>
- [93] Agenda Mobilizadora PRR. (s.d.).
- [94] Empresa de Famalicão investe 25 milhões na importação de combustíveis para distribuir no país. (s.d.). <https://ominho.pt/empresa-de-famalicao-investe-25-milhoes-na-importacao-de-combustiveis-para-distribuir-no-pais/>
- [95] Shell to build one of Europe’s biggest biofuels facilities | Shell Global. (2021). <https://www.shell.com/media/news-and-media-releases/2021/shell-to-build-one-of-europes-biggest-biofuels-facilities.html>
- [96] Cepsa starts production of advanced biofuels at its Huelva Energy Park. (2022). <https://www.cepsa.com/en/press/cepsa-starts-production-of-advanced-biofuels-at-huelva-energy-park>
- [97] Cepsa starts production of advanced biofuels at its Huelva facility | Biofuels International Magazine. (2022). <https://biofuels-news.com/news/cepsa-starts-production-of-advanced-biofuels-at-its-huelva-facility/>
- [98] Repsol starts construction of Spain’s first advanced biofuels plant at its Cartagena refinery. (2022). <https://www.repsol.com/en/press-room/press-releases/2022/repsol-starts-construction-of-spains-first-advanced-biofuels-plant-at-its-cartagena-refinery/index.cshtml>
- [99] Gestão de Óleos Alimentares Usados (OAU). (2022).

- [100] Campanha promovida por: AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE Recolha de Óleos Alimentares Usados. (s.d.).
- [101] Óleos Alimentares usados – Quercus. (s.d.). <https://quercus.pt/2021/03/10/oleos-alimentares-usados/>
- [102] Pontos de Recolha Municipal de Óleos Alimentares Usados (OAU) Reporte de 2018 a 2020. (2022).
- [103] PRIO Ecowaste | PRIO. (s.d.). <https://www.prio.pt/pt/prio-ecowaste>
- [104] Com a PRIO podes reciclar óleos alimentares e ajudar a produzir biocombustíveis | PRIO. (s.d.). https://www.prio.pt/pt/com-a-prio-podes-reciclar-oleos-alimentares-e-ajudar-a-produzir-biocombustiveis_236.html?idb=374
- [105] Apenas 10% dos portugueses reciclam óleo alimentar usado. (s.d.). <https://welectric.pt/2020/10/08/apenas-10-dos-portugueses-reciclam-oleo-alimentar-usado/>
- [106] 160 Oleões inteligentes chegam às ruas de Lisboa Smart Cities. (s.d.). <https://smart-cities.pt/noticias/oleoes-smart-lisboa-2304/>
- [107] EU: used cooking oil collection | Statista. (s.d.). <https://www.statista.com/statistics/1297092/uco-volume-collected-in-europe/>
- [108] Vegetable oil consumption volume EU-27 2017-2031 | Statista. (s.d.). <https://www.statista.com/statistics/614522/vegetable-oil-consumption-volume-european-union-28/>
- [109] Analysis of the current development of household UCO collection systems in the EU. (2016).
- [110] Parque Automóvel Seguro. (2022).
- [111] NEW CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE, EUROPEAN UNION. (2022).
- [112] Statistics | Eurostat - Fuel Consumption. (s.d.). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_cb_oilm/default/table?lang=en
- [113] ACAP. (2021). Sector automóvel: problemas e perspetivas futuras.
- [114] Low-Carbon Liquid Fuels - Clean Fuels for All. (s.d.). <https://www.cleanfuelsforall.eu/low-carbon-liquid-fuels/>
- [115] Bank, E. I. (2022). EIB-2022-058-when-shopping-for-a-new-car-two-thirds-of-europeans-say-they-will-opt-for-a-hybrid-or-electric-vehicle.
- [116] ACEA. (2022). NEW MEDIUM AND HEAVY COMMERCIAL VEHICLE REGISTRATIONS BY FUEL TYPE, EUROPEAN UNION1. www.acea.auto
- [117] Freight transport statistics - modal split - Statistics Explained. (s.d.). 2021. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split
- [118] Trucks GHG - Transport Environment. (s.d.). <https://www.transportenvironment.org/challenges/road-freight/trucks/>
- [119] Sustainable fuel, lower emissions: Audi approves many of its V6 diesel engines for use with renewable fuel | Audi MediaCenter. (2022). <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/sustainable-fuel-lower-emissions-audi-approves-many-of-its-v6-diesel-engines-for-use-with-renewable-fuel-14509>
- [120] Relatório de Sustentabilidade Prio. (2019).
- [121] Approval list of engine and commercial vehicle manufacturers for operation with biodiesel (B10 | B20 | B30 | B100). (2022).
- [122] Vicente, J. & Ferreira, R. (2004a). ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS.

- [123] The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. (2006). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 80–85. <https://doi.org/10.1065/LCA2006.02.002>
- [124] Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. (2004). *Environment International*, 30, 701–720. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2003.11.005>
- [125] Vicente, J. & Ferreira, R. (2004b). ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS.
- [126] Ghinea, C., Petraru, M., Simion, I., Sobariu, D., Bressers, H. & Gavrilescu, M. (2014). Life cycle assessment of waste management and recycled paper systems. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13, 2073–2085. <https://doi.org/10.30638/eej.2014.230>
- [127] Sajid, Z., Khan, F. & Zhang, Y. (2016). Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production. *Renewable Energy*, 85, 945–952. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.07.046>
- [128] Life cycle assessment of waste cooking oil for biodiesel production using waste chicken eggshell derived CaO as catalyst via transesterification. (2019). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101317. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2019.101317>
- [129] Escobar, N., Ribal, J., Clemente, G. & Sanjuán, N. (2014). Consequential LCA of two alternative systems for biodiesel consumption in Spain, considering uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 79, 61–73. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.05.065>
- [130] Foteinis, S., Chatzisyneon, E., Litinas, A. & Tsoutsos, T. (2020). Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and third-generation biofuel. *Renewable Energy*, 153, 588–600. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.02.022>
- [131] Fernandez, I. A. P., Liu, D. H. & Zhao, J. (2017). LCA studies comparing alkaline and immobilized enzyme catalyst processes for biodiesel production under Brazilian conditions. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 117–127. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.05.009>
- [132] Incorporating uncertainty in the life cycle assessment of biodiesel from waste cooking oil addressing different collection systems. (2016). *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 83–92.
- [133] Converting waste cooking oil to biodiesel in China: Environmental impacts and economic feasibility. (2021). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110661. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110661>
- [134] Life cycle assessment of biodiesel production from free fatty acid-rich wastes. (2012). *Renewable Energy*, 38, 155–162. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2011.07.016>
- [135] Caldeira, C., Queirós, J. & Freire, F. (2015). Biodiesel from Waste Cooking Oils in Portugal: Alternative Collection Systems. *Waste and Biomass Valorization*, 6, 771–779. <https://doi.org/10.1007/S12649-015-9386-Z/FIGURES/10>
- [136] Comparison of waste plastic fuel, waste cooking oil biodiesel, and ultra-low sulfur diesel using a Well-to-Exhaust framework. (2022). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 5857–5876. <https://doi.org/10.1007/S13762-021-03552-3/TABLES/3>

- [137] Process design accompanying life cycle management and risk analysis as a decision support tool for sustainable biodiesel production. (2013). *Green Chemistry*, 15, 463–477. <https://doi.org/10.1039/C2GC36410G>
- [138] Acquaye, A. A., Sherwen, T., Genovese, A., Kuylenstierna, J., Koh, S. L. & McQueen-Mason, S. (2012). Biofuels and their potential to aid the UK towards achieving emissions reduction policy targets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5414–5422. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.04.046>
- [139] Iglesias, L., Laca, A., Herrero, M. & Díaz, M. (2012). A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. *Journal of Cleaner Production*, 37, 162–171. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.07.002>
- [140] Varanda, M. G., Pinto, G. & Martins, F. (2011). Life cycle analysis of biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92, 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.01.003>
- [141] Life cycle assessment of biodiesel production from jatropha. (2011). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42, 454–462. <https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2010.09.008>
- [142] Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions. (2010). *Journal of Cleaner Production*, 18, 328–335.
- [143] Mendecka, B., Lombardi, L. & Koziol, J. (2020). Probabilistic multi-criteria analysis for evaluation of biodiesel production technologies from used cooking oil. *Renewable Energy*, 147, 2542–2553. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.05.037>
- [144] What is a PESTEL analysis? - Oxford College. (2016). <https://blog.oxfordcollegeofmarketing.com/2016/06/30/pestel-analysis/>
- [145] What Is a SWOT Analysis? Definition and Examples - TechTarget. (2022). <https://www.techtarget.com/searchcio/definition/SWOT-analysis-strengths-weaknesses-opportunities-and-threats-analysis>

Página intencionalmente em branco

Anexo A

Matérias-primas e combustíveis elegíveis à emissão de 2 TdB por tep de biocombustível sustentável

O presente anexo é respeitante a matérias-primas e combustíveis elegíveis à emissão de 2 TdB por tep de biocombustível sustentável segundo o Decreto-Lei n.º 8/2021 [25].

Parte A

- a) Algas, se cultivadas em terra, em lagos naturais ou fotobiorreatores;
- b) Fração de biomassa de resíduos urbanos mistos, mas não de resíduos domésticos separados sujeitos a objetivos de reciclagem nos termos do artigo 11.º, n.º 2, alínea a), da Diretiva 2008/98/CE;
- c) Biorresíduos, tal como definidos no artigo 3.º, n.º 4, da Diretiva 2008/98/CE, das habitações, sujeitos à recolha seletiva tal como definida no artigo 3.º, n.º 11, dessa diretiva;
- d) Fração de biomassa de resíduos industriais não apropriada para uso na cadeia alimentar humana ou animal, incluindo material da venda a retalho ou por grosso e da indústria agroalimentar e da pesca e aquicultura, e excluindo as matérias-primas enumeradas na parte B do presente anexo;
- e) Palha de cereais ou de outros produtos agrícolas, desde que seja assegurado o cumprimento dos critérios de sustentabilidade referentes ao uso dos solos;
- f) Estrume animal e lamas de depuração;
- g) Efluentes da produção de óleo de palma e cachos de frutos de palma vazios;
- h) Breu de tall oil;
- i) Glicerina não refinada;
- j) Bagaço;
- k) Bagaços de uvas e borras de vinho;
- l) Cascas de frutos secos;
- m) Peles;
- n) Carolos limpos dos grãos de milho;
- o) Fração de biomassa de resíduos provenientes da silvicultura e de indústrias conexas, tais como cascas, ramos, desbastes pré-comerciais, folhas, agulhas, copas das árvores, serradura, aparas, licor negro, licor de sulfito, lamas de fibra de papel, lenhina e tall oil;

- p) Outro material celulósico não alimentar, tal como definido na alínea t) do artigo 2.º do presente decreto -lei;
- q) Outro material lenho -celulósico, tal como definido na alínea u) do artigo 2.º do presente decreto -lei, exceto toros para serrar e madeira para folhear;
- r) Combustíveis líquidos e gasosos renováveis de origem não biológica para os transportes;
- s) Captura e utilização de carbono para fins de transporte, se a fonte de energia for renovável nos termos do artigo 2.º, segundo parágrafo, alínea a), da Diretiva 2009/28/CE;
- t) Bactérias, se a fonte de energia for renovável nos termos do artigo 2.º, segundo parágrafo, alínea a), da Diretiva 2009/28/CE;

Parte B

- a) Óleos alimentares usados, mediante a apresentação de documento(s) que:
 - i) Comprove a autorização sanitária da importação daquela remessa de OAU, no quadro da Decisão (CE) 2016/1196 de 20 de julho;
 - ii) Ateste a rastreabilidade dos OAU, desde a origem até ao seu destino final;
- b) Gorduras animais classificadas como de categorias 1 e 2 em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1069/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho, que define regras sanitárias relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano e que revoga o Regulamento (CE) n.º 1774/2002 (Regulamento relativo aos subprodutos animais).