



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Avaliação do Aproveitamento de Óleos Alimentares Usados Para a Produção de Biodiesel na Área Metropolitana do Porto

Ana Alexandra dos Santos Neves

Licenciada em Engenharia Química
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para a satisfação parcial dos requisitos
do grau de mestre em Energias Renováveis

Dissertação realizada sob a orientação de
Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho
Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Setembro 2008



AGRADECIMENTOS

Ao Professor Carlos Pinho, pela excelente orientação, apoio e compreensão nos momentos mais difíceis. Estas suas capacidades demonstram a sua grandeza como Pessoa e como Professor.

Ao Engenheiro Donato Aranda pela sua extraordinária capacidade de partilha de conhecimentos e pela constante disponibilidade para responder aos meus emails, permitindo que a distância geográfica não fosse impedimento para a concretização dessa partilha.

Aos meus Pais, Laurinda e José Domingos por me terem educado a lutar pelos meus objectivos e por lhes dever tudo o que hoje sou, como pessoa e como profissional.

Aos meus quatro Irmãos, Cunhada(o)s e Sobrinhas que são o meu apoio, com quem supero os problemas e partilho todas as alegrias.

Por fim, e não menos importante, ao meu Noivo. Pelo apoio, motivação e ajuda que me permitiu superar-me nos momentos menos bons mas sobretudo pelo seu amor e por existir na minha vida, fazendo-me sentir uma pessoa completa. Cada gesto de compreensão, incentivo, atenção e amor, transforma-se na energia que sustenta a certeza de querer partilhar o resto da minha vida com ele.

Dedico esta tese à minha Família e ao meu Noivo, que são a minha Vida



“O mais importante da vida não é a situação em que estamos, mas a direcção para a qual nos movemos”

(Oliver Wendell Holmes)

RESUMO

O presente trabalho aborda a temática do biodiesel num contexto global e depois com enfoque especial na produção do mesmo a partir de resíduos de óleos alimentares. Tendo em conta a matriz energética nacional, bem como a actual conjuntura económica e política, enumeram-se as vantagens económicas, sociais e ambientais que advêm da utilização do biodiesel como substituto do gasóleo.

Dentro de um contexto mais técnico, destacam-se as diferentes matérias-primas e respectiva obtenção, assim como os diferentes processos para a produção de biodiesel. De seguida, abordam-se as tecnologias de segunda geração: Fisher-Tropsch, Bio-Dme, Hidroesterificação, bem como as novas tecnologias desenvolvidas pela Petrobrás. Relativamente a todos estes processos, apresentam-se as suas vantagens e desvantagens, caracterizando-se o produto final obtido. Associado ao âmbito ambiental, apresentam-se os resultados de uma análise de ciclo de vida do B100, do B20 e do gasóleo. Essa análise, foi posteriormente interpretada ao caso do biodiesel produzido a partir de resíduos de óleos alimentares.

Cumprindo com o principal objectivo do trabalho, faz-se uma estimativa da produção de resíduo de óleos alimentares na Área Metropolitana do Porto (AMP), com base em duas abordagens e referências distintas, obtendo-se uma estimativa média de cerca de 20 kt/ano. Apresenta-se o respectivo balanço material para a produção de biodiesel pelo processo de transesterificação pelas rotas metílicas e etílicas, tendo por base três referências bibliográficas distintas. Adicionalmente, efectua-se o balanço energético, para avaliar a viabilidade e sustentabilidade energética da produção de biodiesel a partir de óleos vegetais virgens e resíduos de óleos alimentares, tendo-se concluído que a utilização de resíduos de óleos alimentares se mostra bastante mais interessante que os óleos vegetais virgens.

A análise técnica dos processos complementa-se com uma breve abordagem estratégica a uma fábrica de biodiesel, caracterizando-se as envolventes contextual e transaccional, identificando os factores críticos de sucesso que devem orientar o planeamento estratégico e o respectivo alinhamento das competências centrais da unidade de produção. Posteriormente, faz-se um estudo económico-financeiro de um projecto de fábrica de produção de 20 kt/ano de biodiesel a funcionar pelos processos de

transesterificação e de hidroesterificação e em complemento, elaborou-se um estudo de sensibilidade que permitiu comparar e avaliar diversos cenários, tendo sido variado o custo a matéria-prima, a capacidade da unidade de produção, e a isenção ou não de ISP. Isto permite concluir que a viabilidade económica de uma fábrica de biodiesel está muito dependente do custo da matéria-prima utilizada e do preço de venda do biodiesel. Neste contexto, a utilização dos óleos vegetais usados para a produção de biodiesel mostra-se uma oportunidade muitíssimo interessante, pois para além de reutilizar um resíduo, poupar importações de petróleo e reduzir emissões poluentes e de contribuir com várias externalidades positivas para a sociedade, também permite obter uma excelente rentabilidade financeira, mesmo sem isenção de ISP concedida pela DGEG.

Em resumo, este trabalho aborda a realidade do biodiesel de uma forma abrangente e sublinha a viabilidade técnica de uma excelente oportunidade ambiental, estratégica, económica e financeira de aproveitamento de óleos usados de fritura.

ABSTRACT

This dissertation concerns the biodiesel in a global context and afterwards its production through residual edible oils. By taking into account the Portuguese energy structure as well as the international economic and energetic situation it is carried out a simple evaluation of the main economic social and environmental advantages and disadvantages of the use of biodiesel as a petrodiesel replacement.

Following a more technically oriented approach a simple analysis of the main raw materials and of the main biodiesel production techniques is presented. Then reference is made to the second generation production technologies like Fisher-Tropsch, Bio-Dme, Hydrosterification as well as the new technologies that were developed by Petrobrás. For all these processes corresponding advantages and disadvantages are discussed. Results of a Life Cycle Analysis for B100, B20 and petrodiesel are discussed and then this analysis is subsequently adapted to the biodiesel production from edible oil wastes.

The main objective of the present work was the evaluation of the use of edible oil wastes available in the Metropolitan Area of Oporto, for biodiesel production and by taking into account two different approaches an average yearly production of 20 kt of waste oil was obtained. A material balance of reactant needs is presented for the oil processing through transterification following the methanol and the ethanol route followed by an energy balance to account for the energetic sustainability of such procedure. The conclusion is that the best approach for biodiesel production is the use of waste oil instead of virgin vegetable oils.

The technical analysis was complemented with a brief strategic approach to the installation of a biodiesel production plant, by the characterization of the contextual and transaction environment, identifying the critical factors of success that should guide strategic planning and the alignment of core competencies of the production unit. In addition, an economical and financial study for the project of a 20 kt/year biodiesel plant was carried out, working either through the transterification or through the hydrosterification routes. It was also made a sensitivity analysis that allowed to compare and to evaluate different scenarios, by varying the raw material cost, the capacity of the production unit, and the ISP exemption. This indicated that the economic viability of a

plant of biodiesel is very dependent on the raw material cost and the biodiesel sell price. In this context, the use of waste vegetable oils for the production of biodiesel revealed itself as an extremely interesting opportunity, because not only it reuses a waste, saves on imported oil, reduces pollutant emissions and contributes with many positive externalities to society but it also gives an excellent financial return, even without the ISP exemption granted by the DGEG.

In summary, this work addresses the reality of biodiesel in a comprehensive manner and stresses the technical feasibility of an excellent environmental, strategic, economic and financial opportunity of recovery of waste vegetable oils.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Contexto Energético Mundial	5
2.1. Matriz energética Nacional	10
2.2. Panorama das energias renováveis em Portugal.....	17
2.3. História do biodiesel.....	20
2.4. Características do biodiesel	22
2.5. Vantagens ambientais do biodiesel	24
2.6. Vantagens económicas do biodiesel.....	25
2.7. Vantagens sociais do biodiesel.....	26
2.8. Vantagens energéticas do biodiesel de óleos de fritura usados	26
2.9. Desvantagens do biodiesel	28
3. Composição e estrutura de óleos e gorduras – processo de produção de biodiesel.....	29
3.1. Classificação dos óleos.....	29
3.2. Matérias- primas – suas características e obtenção	32
3.3. Processos para a produção do biodiesel	37
3.3.1. Pirólise	37
3.3.2. Microemulsões	38
3.3.3. Transesterificação	39
3.4. Mecanismos para a produção do biodiesel.....	48
3.4.1. Transesterificação por catálise básica	48
3.4.2. Transesterificação por catálise ácida.....	49
3.4.3. Esterificação.....	50
3.4.4. Saponificação seguida de esterificação	51
3.4.5. Esterificação ácida seguida de transesterificação básica.....	51
3.4.6. Transesterificação com adição de co-solventes	52
3.4.7. Transesterificação com metanol supercrítico	52
3.4.8. Processos catalisados por lípases	53
3.4.9. Produção de biodiesel a partir de algas	57
3.4.9.1. Locais ideais de produção de biodiesel a partir de algas	59
3.4.9.2. A produção do óleo a partir das algas.....	60
3.4.9.3. Produção de biodiesel.....	63
3.5. Tecnologias de segunda geração	64
3.5.1. Processo Fischer-Tropsch	65
3.5.1.1. História	65

3.5.1.2. Matérias-primas e reacções.....	67
3.5.2. Bio- DME.....	71
3.5.3. Tecnologias desenvolvidas pela Petrobrás.....	71
3.5.3.1. Produção de biodiesel a partir de sementes de oleaginosas.....	72
3.5.3.2. H-Bio	73
3.5.4. Hidroesterificação	75
3.5.4.1. Hidroesterificação vs. Transesterificação	78
3.6. Características físico-químicas do biodiesel	79
3.6.1. Propriedades físicas.....	80
3.6.2. Propriedades químicas	81
3.6.3. Estabilidade do biodiesel.....	81
3.7. Aplicações da glicerina	84
3.8. Processo de análise de ciclo de vida (ACV).....	90
3.8.1. Processo ACV do biodiesel vs. gasóleo.....	92
4. Utilização de resíduos de óleos alimentares na AMP.....	104
4.1. Estimativa da produção de resíduos de óleos alimentares.....	104
4.2. Estimativa da quantidade de biodiesel produzida anualmente	111
4.3. Estimativa das quantidades de reagentes/utilidades necessárias à produção do biodiesel.....	115
4.3.1. Estimativa da quantidade de álcool.....	115
4.3.2. Estimativa da quantidade de catalisador	116
4.3.3. Condições operacionais.....	116
4.4. Balanço energético de energia primária para a produção de biodiesel.....	127
4.4.1. Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar	128
4.4.2. Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico	131
4.4.3. Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico	134
4.4.4. Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol	137
4.4.5. Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH.....	140
4.4.6. Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico	143
4.4.7. Estimativa do consumo específico de energia na produção do metanol	146
4.4.8. Consumo de vapor saturado – Factor de Conversão	147
4.4.9. Consumo de electricidade– Factor de Conversão	147
4.4.10. Consumo de calor– Factor de Conversão.....	147
4.4.11. Valores de PCI dos produtos de reacção de transesterificação	148
4.5. Cálculo do balanço energético da produção do biodiesel.....	149
4.6. Rendimento da captura solar pelas plantas.....	160
5. Breve Análise Estratégica de uma Fábrica de Biodiesel	164

5.1. Actual visão da análise estratégica	164
5.2. Análise estratégica do meio envolvente contextual.....	166
5.3. Análise estratégica do meio envolvente transaccional	172
5.4. Atractividade do sector e modelo das 5 forças de Porter	174
5.5. Estrutura da indústria.....	176
5.6. Factores críticos de sucesso.....	176
5.7. Análise estratégica da empresa.....	177
5.8. Formulação da estratégia.....	177
6. Breve análise económica e financeira de uma fábrica de biodiesel.....	179
6.1. Análise financeira de projectos de investimento	179
6.2. Análise financeira de um projecto para fábrica de biodiesel.....	183
6.3. Resultados do estudo de sensibilidade	202
7. Conclusão e sugestões para trabalho futuro	213
Bibliografia	216
ANEXOS	233
Anexo A. Legislação europeia e nacional no âmbito dos biocombustíveis e resíduos de óleos e gorduras alimentares	233
Anexo B . O protocolo de Quioto	246
Anexo C . HBIO: o processo passo-a-passo	266
Anexo D. Normas técnicas.....	268
Anexo E. Etapas dos processos de transesterificação e hidroesterificação	271

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Análise das principais fontes da matriz energética.....	11
Tabela 2.2 – Comparação Internacional entre países da OCDE, de produção de energia eléctrica a partir de FER	16
Tabela 3.1 – Origens e processos de obtenção da matéria-prima para produção de biodiesel....	35
Tabela 3.2 - Características da produção em função da rota de processo	42
Tabela 3.3 - Comparação entre a transesterificação convencional e a supercrítica	53
Tabela 3.4 – Comparação entre catálise alcalina e catálise enzimática com lipases para a produção de biodiesel.....	56
Tabela 3.5 – Produtividade de diferentes fontes de biomassa, expressas em L/ha/ano	61
Tabela 3.7 - Principais aplicações da glicerina	84
Tabela 3.8 – Lista de compostos que podem ser produzidos via oxidação ou redução da glicerina.....	86
Tabela 3.9 - Produção de vários compostos via fermentação anaeróbia do glicerol pela <i>Clostridia</i>	89
Tabela 3.10 - Emissões gasosas durante o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100.....	98
Tabela 4.1 – Resíduo anual produzido de óleo vegetal e azeite na AMP	106
Tabela 4.2 - Consumo anual de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003	108
Tabela 4.3 – Resíduo produzido de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003	109
Tabela 4.4 - Estimativa de produção de biodiesel para o ano de 1999, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica	111
Tabela 4.5 - Estimativa de produção anual de biodiesel para o anos de 1990- 2003, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica.....	112
Tabela 4.6 – Consumo de gasóleo na AMP, percentagem de produção de biodiesel sobre o consumo de gasóleo na AMP e estimativas da redução de CO ₂ e respectivo benefício financeiro, para os anos 1990-2003	113
Tabela 4.7 - Matérias primas, utilidades e produtos necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para as rotas metílica e etílica (estimativa 1)	117
Tabela 4.8 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota metílica – estimativa 1	118
Tabela 4.9 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e etílica – estimativa 1	119
Tabela 4.10 - Matérias-Primas e Utilidades necessárias por tonelada de biodiesel produzido pela estimativa 2	121

Tabela 4.11 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e metílica – estimativa 2	122
Tabela 4.12 - Matérias primas e utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e etílica – estimativa 2	123
Tabela 4.13 - Matérias primas e utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e metílica	126
Tabela 4.14 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1981-1985	128
Tabela 4.15 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1986-1990	129
Tabela 4.16 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1991-1995	129
Tabela 4.17 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1996-2000	130
Tabela 4.18 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 2001-2003	130
Tabela 4.19 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1981-1985	131
Tabela 4.20 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1986-1990	132
Tabela 4.21 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1991-1995	132
Tabela 4.22 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1996-2000	133
Tabela 4.23 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 2001-2003	133
Tabela 4.24 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1981-1985	134
Tabela 4.25 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1986-1990	135
Tabela 4.26 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1991-1995	135
Tabela 4.27 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1996-2000	136
Tabela 4.28 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 2001-2003	136

Tabela 4.29 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1981-1985.....	137
Tabela 4.30 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1986-1990.....	137
Tabela 4.31 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1991-1995.....	138
Tabela 4.32 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1996-2000.....	138
Tabela 4.33 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 2001-2003.....	139
Tabela 4.34 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1981-1985	140
Tabela 4.35 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1986-1990	140
Tabela 4.36 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1991-1995	141
Tabela 4.37 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1996-2000	142
Tabela 4.38 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 2001-2003	142
Tabela 4.39 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1981-1985.....	143
Tabela 4.40 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1986- 1990	143
Tabela 4.41 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1991-1995.....	144
Tabela 4.42 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1996-2000.....	144
Tabela 4.43 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 2001-2003.....	145
Tabela 4.44 – Consumo específico de energia primária na produção de 1 tonelada de metanol pela estimativa 1 definida por CAMARGO, (2007)	146
Tabela 4.45 – Consumo específico de energia primária na produção de 1 tonelada de metanol pela estimativa 2 definida por CAMARGO, (2007)	146
Tabela 4.48 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos	

vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota metilica da estimativa 1	151
Tabela 4.49 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota etilica da estimativa 1	152
Tabela 4.50 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota metilica da estimativa 2	153
Tabela 4.51 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2005, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota etilica da estimativa 2	154
Tabela 4.52 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2005, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados.....	155
Tabela 4.53 – Tabela resumo dos consumos de energia primária nas estimativas 1, 2 e 3, pelas rotas metilica e etilica, respectivamente (dados de 2003).....	156
Tabela 4.54 – Características de diferentes espécies de oleaginosas, utilizadas para a produção de biodiesel	160
Tabela 4.55 – Valores de PCI da colza e da soja, expressos em kJ / kg de óleo.....	160
Tabela 4.56 – Valores de PCI expressos em kJ/ha , para diferentes espécies de oleaginosas ..	161
Tabela 4.57 – Radiação global anual (kJ/ha), para as cidades de Buchen, Porto e Bragança..	161
Tabela 4.58 – Rendimento de captura de energia solar de diferentes espécies de oleaginosas, em diferentes localidades.....	162
Tabela 5.1 – Produção de biodiesel a partir de sementes importadas	172
Tabela 5.2 – Produção de biodiesel a partir de sementes importadas	173
Tabela 5.3 – Produção de biodiesel a partir de matéria-prima nacional	173
Tabela 5.4 – Produção a partir de óleos usados de frituras em 2006	173
Tabela 5.5 – Análise SWOT para uma fábrica de biodiesel	178
Tabela 6.1 - Pressupostos e dados de entrada	185
Tabela 6.2 - Dados técnicos do processo de Transesterificação	186
Tabela 6.3 - Dados técnicos do processo de Hidroesterificação	186
Tabela 6.4 - Orçamento de Capital - Transesterificação	187
Tabela 6.5 - Orçamento de Capital – Hidroesterificação	188

Tabela 6.6 - Quadros de apoio para os mapas financeiros - Transesterificação.....	189
Tabela 6.7 - Quadros de apoio para os mapas financeiros - Hidroesterificação	190
Tabela 6.8 - Outros quadros de apoio para os mapas financeiros	191
Tabela 6.9 - Demonstração de Resultados - Transesterificação.....	192
Tabela 6.10 - Demonstração de Resultados - Hidroesterificação	193
Tabela 6.11 - Balanço – Transesterificação	194
Tabela 6.12 - Balanço – Hidroesterificação	195
Tabela 6.13 - Reconstituição dos <i>Cash Flow</i> – Transesterificação.....	196
Tabela 6.14 - Reconstituição dos <i>Cash Flow</i> – Hidroesterificação	197
Tabela 6.15 - Mapa do <i>Free Cash Flow</i> – Transesterificação	198
Tabela 6.16 - Mapa do <i>Free Cash Flow</i> – Hidroesterificação	199
Tabela 6.17 - Valor Residual - Transesterificação	200
Tabela 6.18 - Valor Residual - Hidroesterificação.....	200
Tabela 6.19 - Indicadores de performance e avaliação financeira - Transesterificação.....	201
Tabela 6.20 - Indicadores de performance e avaliação financeira – Hidroesterificação.....	201
Tabela 6.21 – Resultados da análise de sensibilidade.....	202
Tabela 6.22– Influência do preço da matéria-prima no VAL do projecto, para os processos de transesterificação e de hidroesterificação.....	203
Tabela 6.23 – Influência da capacidade da unidade de produção no VAL do projecto, para os processos de transesterificação e de hidroesterificação	205
Tabela 6.24 – Influência do valor comercial da glicerina no VAL do projecto, para os processos de Transesterificação e de Hidroesterificação.....	207
Tabela 6.25 – Aspectos técnicos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL	208
Tabela 6.26 – Custos de equipamentos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL.	209
Tabela 6.27 – Custos de operação dos processos estudados por MARCHETTI ET AL.	209
Tabela 6.28 – Indicadores económicos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL.	209

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução da temperatura média à superfície da Terra no hemisfério Norte.....	6
Figura 2.2 – Evolução do consumo e da energia disponível.....	7
Figura 2.3 – Dados de 2007 do consumo de energia primária em Portugal.....	10
Figura 2.5 – Consumo de Combustíveis no Mercado Interno.....	13
Figura 2.6 – Consumo de gasóleo no Mercado Interno	14
Figura 2.7 – Consumo mensal de gasóleo.....	14
Figura 2.8 – Evolução do peso da produção das energias renováveis na produção bruta + saldo importador Portugal Continental.....	17
Figura 2.9 – Produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis – Ano Móvel (GWh) Portugal Continental	18
Figura 2.10 – Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis por distrito em 2007 (GWh) em Portugal Continental	19
Figura 2.11 – Preço do petróleo desde 1861	20
Figura 2.12 – Produção de biodiesel na União Europeia	21
Figura 2.13 – “Ciclo” aberto do carbono do diesel e ciclo fechado do carbono do biodiesel.....	25
Figura 3.1 - Principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel	35
Figura 3.2 – Mecanismo de decomposição térmica (pirólise) dos triglicerídeos.....	37
Figura 3.3 - Transesterificação de triglicerídeos	39
Figura 3.4 - Esquema da reacção de transesterificação em etapas.....	40
Figura 3.5 - Processo de produção de biodiesel.....	47
Figura 3.6 – Reacção de esterificação.....	50
Figura 3.7 – Representação esquemática das reacções catalisadas por lípases.....	55
Figura 3.8 - Projecto de unidade de produção de biodiesel e cultivo de algas.....	59
Figura 3.9 – Exemplos de estufas para a produção de algas	60
Figura 3.10 – Sistema de colheita automatizado e contínuo de colheita de algas, e colheita de algas contendo 1,5 g de algas por litro	62
Figura 3.11 – Fotografias do Prof. Franz Fischer e do Dr. Hans Tropsch, respectivamente	66
Figura 3.12 – Reacções envolvidas no processo Fischer-Tropsch.....	67
Figura 3.13 – Gaseificação da biomassa e síntese Fischer-Tropsch	68
Figura 3.14 - Distribuição de produtos da reacção de Fischer-Tropsch, para diferentes valores de α	69
Figura 3.15 - Propriedades dos combustíveis	70
Figura 3.16 – Tecnologias utilizadas pela Petrobrás, para a produção de biodiesel	72
Figura 3.17 – Reacção de Hidrólise	75

Figura 3.18 – Reacção de Esterificação	76
Figura 3.19 – Processo de Hidroesterificação	77
Figura 3.20 - Estágios do ciclo de vida do produto.....	90
Figura 3.21 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida	91
Figura 3.22 - Fluxograma do Ciclo de vida do gasóleo vs biodiesel e do gasóleo vs. biodiesel de óleos de frituras.....	94
Figura 3.23 - Nível de emissões de CO ₂ no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	95
Figura 3.24 - Efeito da percentagem de biodiesel na redução das emissões de CO ₂	96
Figura 3.25 - Consumo de Petróleo no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	96
Figura 3.26 - Consumo de Carvão e Gás Natural no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	97
Figura 3.27 - Consumo de água no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	97
Figura 3.28 - Emissões de CO, para o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	98
Figura 3.29 - Emissões de Hidrocarbonetos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100	99
Figura 3.30 - Emissões de SO _x nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100.....	99
Figura 3.31- Emissões de NO _x nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100	100
Figura 3.32 - Emissões produzidas no tubo de Escape, pelo gasóleo, B20 e B100	100
Figura 3.33 - Efluentes Líquidos produzidos durante o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100	101
Figura 3.34 - Resíduos Sólidos Perigosos produzidos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100	101
Figura 3.35 - Resíduos Sólidos não Perigosos produzidos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100	102
Figura 4.1 - Distribuição geográfica do consumo de óleos vegetais.....	104
Figura 4.2 - Distribuição geográfica do consumo de azeite	105
Figura 4.3 – Consumo diário de gorduras, expressas em g/hab/dia	107
Figura 4.4 – Consumo diário de azeite, expressas em g/hab/dia.....	107
Figura 4.5 - Resíduo produzido de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003 .	109
Figura 4.6 - Estimativa de produção anual de biodiesel para o anos de 1990- 2003, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica	112
Figura 4.7 – Consumo de gasóleo na AMP em t/ano, para os anos 1990-2003.....	113
Figura 4.8 – Percentagem de biodiesel produzido na AMP sobre o consumo de gasóleo na AMP, para os anos 1990-2003.....	114
Figura 4.9 – Redução de CO ₂ (t/ano) na AMP, associados à substituição de gasóleo por biodiesel produzido na AMP, para os anos 1990-2003.....	114
Figura 4.10 – Comparação do consumo de reagentes e utilidades pelas rotas metílica e etílica, na estimativa 1	120

Figura 4.11 – Comparação do consumo de electricidade nas estimativas 1 e 2, pelas rotas metilica e etilica	124
Figura 4.12 – Consumo de energia primária (tep), nas estimativas 1 e 2 e 3, pelas rotas metilica e etilica (dados de 2003)	156
Figura 4.13 – Representação do consumo de energia primária do metanol, electricidade e NaOH, no consumo de energia primária total, para as estimativas 1 e 2 (dados de 2003)	158
Figura 5.1 – Análise estratégica de um negócio.....	165
Figura 5.2 – “Basic framework for Strategy Analysis”	166
Figura 5.3 – Reservas de petróleo confirmadas no final de 2007, em milhares de milhões de barris	167
Figura 5.4 – Evolução da cotação do petróleo, em valores nominais e valores ajustados à inflação.....	168
Figura 5.5 – Fontes de energia primária mundial.....	170
Figura 5.6 – Modelo das 5 forças de Porter para uma fábrica de biodiesel	175
Figura 6.1 –Influência do preço da matéria-prima no VAL do projecto de transesterificação e hidroesterificação	203
Figura 6.2 –Influência da capacidade da unidade de produção no VAL do projecto de transesterificação e hidroesterificação	206

1. INTRODUÇÃO

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna começou com Rudolf Diesel, em 1900, com a utilização de óleo de amendoim no motor por ele desenvolvido. No entanto, razões de natureza económica levaram ao completo abandono dos óleos vegetais como combustíveis na época, uma vez que o petróleo era visto como fonte de energia barata. Entretanto, na década de 70 do século XX, o mercado de petróleo foi marcado por dois súbitos desequilíbrios entre oferta e demandas mundiais conhecidos como Primeiro e Segundo Choques do Petróleo. Em respostas a estas crises, o mercado sentiu a necessidade de diminuir a dependência do petróleo, levando ao investimento no desenvolvimento de tecnologia de produção e uso de fontes alternativas de energia [OLIVEIRA, 2001].

Entre 1983 e 1985, o aumento da produção do petróleo conduziu a uma acentuada queda do preço do petróleo no mercado internacional. Apesar disso, vários países desenvolveram diversos projectos para produção/conversão e uso de energias alternativas [PARENTE, 1993].

No início de 2000, houve uma nova alta do preço do petróleo no mercado internacional e embora tenha vindo a oscilar de preço, constata-se que se mantém uma tendência de subida bastante acentuada. Ferreira de Oliveira, Presidente do Conselho de Administração da Galp Energia, na sua entrevista ao programa “Grande Entrevista”, previu que os preços do petróleo poderão descer, mas de forma pouco significativa. Entretanto, as subidas do preço do petróleo e dos combustíveis têm sido alvo de críticas por parte dos partidos da oposição e pela população em geral, dada a crise instalada a todos os níveis da economia nacional e que se repercute na qualidade de vida das populações, com um poder de compra cada vez mais incipiente.

Em resposta a estas crises associadas às oscilações do preço do petróleo, o mercado tem vindo a sentir a necessidade de diminuir a sua dependência, levando ao investimento no desenvolvimento de tecnologia de produção e uso de fontes alternativas de energia.

Inserido no âmbito das energias renováveis, nomeadamente no aproveitamento do potencial da biomassa, uma das opções é o biodiesel, um combustível de fonte renovável que pode ser obtido a partir de óleos vegetais ou de gordura animal. O biodiesel é combustível capaz de substituir o diesel, além de auxiliar na diminuição de agentes causadores do efeito estufa e das chuvas ácidas. Estruturado neste contexto, surge o aspecto social e ambiental que é de fundamental importância para os órgãos públicos na promoção de melhorias na qualidade de vida da população. Por outro lado, numa fase em que as questões da degradação do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável são cada vez mais discutidas, colocam-se algumas questões pertinentes nomeadamente no que toca à gestão de resíduos. De facto, actualmente a gestão ambiental não é vista apenas no que concerne ao processo produtivo de um produto ou serviço, mas a todo o ciclo de vida dos mesmos.

Os óleos alimentares, em especial os utilizados em frituras, surgem neste contexto como um resíduo gerado diariamente nas habitações, indústrias e estabelecimentos e que devido à falta de informação da população, acaba por ser despejado directamente nas águas, cujo destino são os sistemas de esgoto. Desta forma, urge a necessidade de adopção de estratégias para a gestão correcta deste resíduo, de forma a causar o menor impacto possível ao meio ambiente.

Esta prática incorrecta de descarga destes resíduos para as redes públicas de esgoto e colectores municipais, podem provocar grandes problemas de entupimento e obstrução dos mesmos, bem como o aumento dos níveis de CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio), de CQO (Carência Química de Oxigénio) e de SST (Sólidos Suspensos Totais) nas águas residuais a tratar, dificultando o desempenho e funcionamento eficiente das estações de tratamento. De facto, o aumento da concentração destes parâmetros conduzem a um considerável consumo de energia durante o funcionamento das estações de tratamento, para além de implicarem manutenções e limpezas mais frequentes nos equipamentos de separação de óleos e gorduras, implicando gastos consideráveis de tempo e dinheiro, neste tipo de operações [IPA 2004].

Esta questão torna-se cada vez mais premente, uma vez que segundo dados do INE, o consumo de óleos alimentares tem vindo a aumentar, tendência esta que pode ser explicada pela alteração dos padrões de vida. Essas mudanças estão associadas, entre outros factores, ao sistema de desenvolvimento da produção e distribuição de géneros

alimentícios e ao fenómeno da urbanização, influenciando o estilo de vida, nomeadamente o tipo de alimentação. Com cada vez menos tempo disponível, as pessoas recorrem a uma alimentação rápida e económica, mas que ao mesmo tempo se mostre de certa forma apelativa ao paladar. Dentro deste conceito, enquadra-se o “*Fast Food*”, rico em alimentos cuja manipulação passa sobretudo pela fritura.

Desta forma, considerando um aumento do consumo de óleos alimentares, o aumento de consumo energético numa altura em que os preços de petróleo atingem máximos históricos, e a necessidade da protecção ambiental, nomeadamente o tratamento/aproveitamento de resíduos, conclui-se que a produção de biodiesel a partir de resíduos de óleos alimentares é uma opção que converge na resolução das questões supracitadas.

No entanto, é premente ter espírito crítico para perceber que a busca da sustentabilidade passa também pela mudança do padrão de consumo energético e não só pela procura de fontes de energia alternativas até porque, o conceito de sustentabilidade por si só, tem carácter dinâmico. O que é sustentável hoje poderá não o ser amanhã.

Desta forma, não será possível esperar que os problemas energéticos actuais sejam resolvidos simplesmente pelo aumento de produção de energia, sejam elas de origem convencional ou de fontes de energias renováveis. Actualmente, verifica-se um aumento do consumo energético, não só pelo aumento demográfico, como também pelo aumento do consumo per capita, muitas vezes associado ao consumo pouco racional dos recursos e pela baixa eficiência dos equipamentos e edifícios. A resolução destas e outras questões energéticas passa não só pela intervenção política, através de políticas de incentivo ao recurso de fontes de energia renováveis e de eficiência energética, e a instituição de uma política de ordenamento de território mais eficaz, mas também pela sensibilização das populações [RODRIGUES ET AL., 2006].

Há, portanto, a necessidade de ir mais além e abdicar dos carros potentes mas ao mesmo tempo, grandes consumidores de combustíveis, em detrimento de carros mais eficientes e mais amigos do ambiente. O estilo de vida cosmopolita deveria dar lugar novamente a um estilo mais rural em que as pessoas não necessitam de meios de transporte para o seu dia a dia. Existiria sim, um planeamento urbano de tal forma eficiente em que as cidades fossem constituídas por “micro-cidades” [TRAINER, 2007].

O presente trabalho aborda essas temáticas e introduz a análise e produção de biocombustível obtido a partir de óleos vegetais já utilizados em fritura na Área Metropolitana do Porto (AMP). Para tal, fez-se uma pequena abordagem aos processos de primeira geração para a produção de biodiesel, comparando-os com os processos de segunda geração.

Posteriormente foi elaborado um estudo económico dos processos de transesterificação e de hidroesterificação para avaliar qual dos processos se mostra economicamente mais vantajoso para a produção de biodiesel na Área Metropolitana do Porto, a partir de óleos de fritura usados, ao qual, posteriormente foi feito um plano de negócios.

2. CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL

Os problemas energéticos têm condicionado o desenvolvimento sustentável da nossa sociedade, directamente ou através das suas implicações no clima e ambiente. Para além das políticas de eficiência energética e do aumento do recurso às energias renováveis, os governos devem investir, cada vez mais, na procura de novas tecnologias energéticas, capazes de serem fontes alternativas aos combustíveis fósseis e de proporcionarem uma solução global para os problemas energéticos da humanidade.

A política energética mundial tem sido baseada, essencialmente, na queima de combustíveis fósseis, com relevo especial para o petróleo. O carvão, o petróleo e o gás natural são responsáveis por aproximadamente 80 % da energia final consumida anualmente, enquanto as energias renováveis (hídrica incluída) e nuclear representam cerca de 10 % cada.

Existem várias justificações para este panorama:

- Em primeiro lugar, razões históricas decorrentes da descoberta do poder calorífico da combustão e das invenções revolucionárias da máquina a vapor e do motor de combustão interna;
- O preço do petróleo manteve-se baixo e atractivo até ao início da década de setenta do século passado;
- Os combustíveis fósseis, e em particular o petróleo, podem ser facilmente usados quer na produção de energia eléctrica quer directamente na indústria e nos transportes (o qual, neste caso, representa entre 30 % e 40 % do consumo energético de um país desenvolvido [VARANDAS ET AL., 2006];
- A energia nuclear, convencional, produzida a partir de reacções de fissão de núcleos de elementos pesados (como, por exemplo, o urânio), tem uma aceitação fraca pela opinião pública.

Esta política energética tem, contudo, um preço elevado para a humanidade e coloca várias questões importantes para o futuro uma vez que a queima de combustíveis fósseis liberta para a atmosfera grandes quantidades de dióxido de carbono, o qual é um dos principais responsáveis pelo chamado efeito de estufa [VARANDAS ET AL., 2006]. Este efeito cria perturbações graves no clima e no ambiente, nomeadamente o aquecimento global da Terra com todas as suas consequências. Na figura seguinte é apresentada a evolução da temperatura média à superfície da Terra no hemisfério norte.

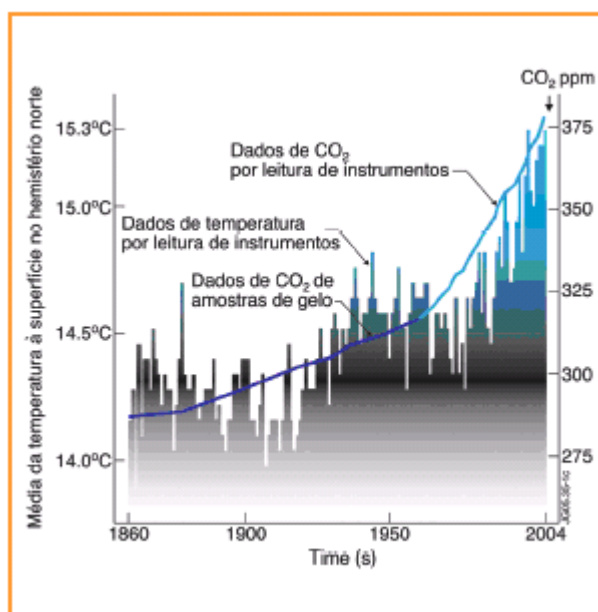


Figura 2.1 – Evolução da temperatura média à superfície da Terra no hemisfério Norte [VARANDAS ET AL., 2006]

Além disso, os recursos naturais dos combustíveis fósseis são limitados. As jazidas que conhecemos permitem satisfazer as necessidades actuais da humanidade durante respectivamente 40, 50 ou 300 anos consoante o combustível considerado seja o petróleo, o gás natural ou o carvão [VARANDAS ET AL., 2006], sendo que estas, estão concentradas em certas regiões da Terra, caracterizadas por grande instabilidade política e social, facto que cria problemas económicos e políticos, de que o actual aumento excessivo do preço do petróleo e os conflitos frequentes no Médio Oriente são exemplos elucidativos.

Por outro lado, o consumo de energia vai aumentar em resultado do crescimento da população mundial, do desenvolvimento de alguns países (como, por exemplo, a China e a Índia) e, ainda, se bem que de forma já hoje bastante moderada, da melhoria da qualidade de vida nos países desenvolvidos.

Verifica-se, contudo que a taxa de extracção de petróleo mantém ainda tendência ascendente, mas a taxa de descoberta de novas reservas exhibe tendência descendente, com saldo consistentemente negativo desde 1980. Consome-se actualmente ao ritmo de 25 biliões de barris/ano (25 Gb/ano), enquanto o ritmo de descoberta reduziu-se já a apenas 5 Gb/ano, podendo-se então constatar que se entrou num período em que exaurimos um *stock* definitivamente limitado [ROSA, 2006]. A Figura 2.2 reflecte de forma expressiva este panorama.

A análise das evoluções no tempo do consumo de energia e das reservas das actuais fontes energéticas permite concluir que a partir de 2040 o consumo será superior às reservas convencionais e que a diferença aumentará significativamente ao longo dos anos seguintes [VARANDAS ET AL., 2006].

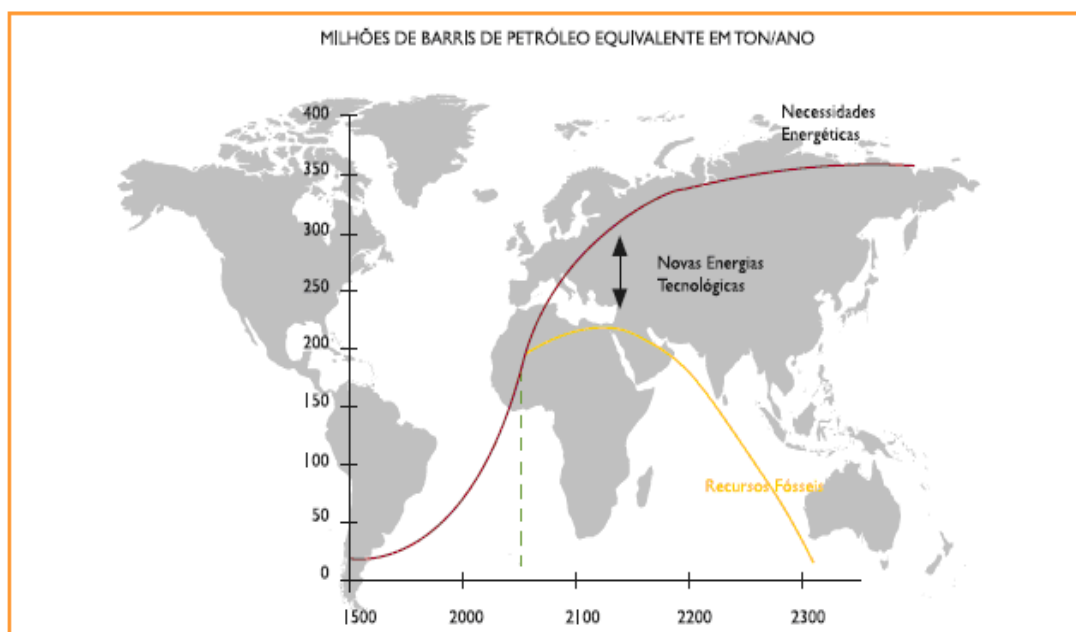


Figura 2.2 – Evolução do consumo e da energia disponível, admitindo que a população mundial estabiliza em 10 biliões e um consumo de 2/3 da taxa de consumo dos Estados Unidos em 1985 [VARANDAS ET AL., 2006]

A experiência industrial dos vários países produtores de petróleo tem revelado que a sua capacidade de produção atinge o respectivo máximo cerca de 25 a 40 anos após a ocorrência da taxa máxima de descoberta de reservas nos seus depósitos petrolíferos (esta variabilidade depende de factores geológicos, mas também de factores económicos e políticos) [ROSA, 2006].

Essa observação tem-se repetido consecutivamente na larga maioria dos países produtores. Nos EUA a curva de produção exibiu o seu pico em 1971, na Indonésia em 1977 (e de novo em 1997, pois neste país tiveram lugar duas vagas de prospecção e dois picos distintos de descobertas), no Egipto em 1994, no Reino Unido em 1999, na Noruega em 2001, na Rússia em 1988 (prevendo-se um pico secundário em 2009, neste caso porque o “normal” curso da curva de produção foi distorcido por factores político-económicos), na China prevê-se que ocorra já em 2009. O lote de países que seguramente ainda não atingiram o pico da respectiva curva de produção é constituído pela Arábia Saudita, Iraque, Abu-Dhabi, Cazaquistão, Azerbaijão, Uzbequistão, Líbia e Bolívia. Tendo em conta que o pico de descobertas, no plano mundial, se centrou na década de 1960, prevê-se que o correspondente pico da produção poderá provavelmente ocorrer na primeira década do novo século [ROSA, 2006].

Como consequência, surge a necessidade de incrementar a produção, requerida pelo crescimento da procura, por recurso à exploração de uma multidão cada vez mais numerosa de milhares de depósitos menores e cada vez mais pequenos, com acrescidos custos económicos e energéticos.

Os factos referidos anteriormente indicam a necessidade de uma nova política energética, capaz de corresponder aos desafios do desenvolvimento sustentável e do progresso social. Esta nova política energética deve estar baseada nos seguintes conceitos fundamentais:

- **Eficiência** na utilização (conversão, transporte e consumo) da energia, através de programas de eficiência energética na produção e no transporte e na distribuição de electricidade e em todos os sectores de actividade, mas com ênfase especial nos edifícios e nos transportes;

- **Flexibilidade**, de modo a que a política energética possa ser facilmente adaptada a alterações nos mercados e nos condicionalismos externos;
- **Diversidade**, através do recurso simultâneo a várias formas de energia, de modo a garantir o fornecimento barato, seguro e eficiente. É necessário aumentar significativamente o peso das energias renováveis (solar térmica, solar fotovoltaica, ondas, marés, eólica, biomassa e biocombustíveis) e, se necessário, recorrer a outras energias alternativas (energia nuclear convencional, areias betuminosas e óleos pesados) [VARANDAS ET AL., 2006];
- **Inovação e desenvolvimento tecnológico**, de modo a trazer até ao estado comercial novas fontes energéticas, assim como novas fontes de armazenamento e novas tecnologias de utilização de energia. Esta necessidade decorre do facto das actuais fontes energéticas não proporcionarem uma resposta global para as necessidades energéticas do futuro [VARANDAS ET AL., 2006]. É, por isso, necessário apoiar a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico de todas as fontes energéticas com potencial para darem contribuições importantes, ainda que a médio ou longo prazo, como as tecnologias do hidrogénio e da fusão nuclear.

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

A matriz energética nacional caracteriza-se essencialmente pela forte dependência do petróleo, constituindo a principal fonte de consumo de energia primária no país. Por outro lado, a produção de energia eléctrica em Portugal é dominada pela produção hídrica e térmica, esta última com recurso ao carvão, gás natural e fuelóleo.

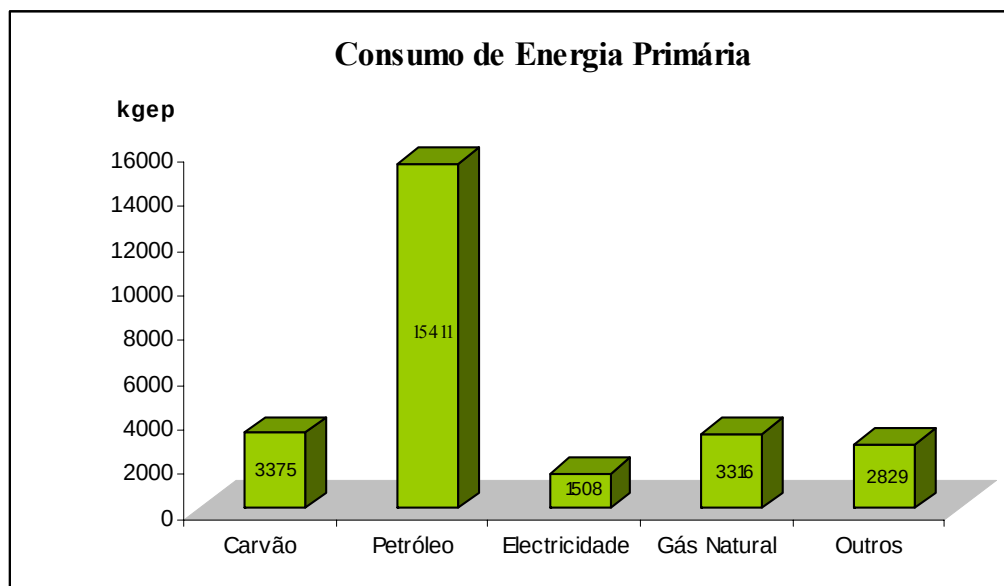


Figura 2.3 – Dados de 2007 do consumo de energia primária em Portugal [DGEG, 2007]

Uma vez que as diferentes fontes de energia apresentam características diferentes, bem como impactos a nível ambiental, é de fundamental importância estar consciente das opções tomadas para a escolha da fonte de energia primária. Na tabela seguinte, é apresentada uma breve caracterização das principais fontes de uma matriz energética.

Tabela 2.1 – Análise das principais fontes da matriz energética

Combustível	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Carvão	• Abundante, economicamente acessível, uso seguro • Fácil de transportar e de armazenar • Amplamente distribuído	• Alta emissão de gases de efeito estufa • Necessita portentosos investimentos para desenvolvimento de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a níveis aceitáveis • Extração perigosa
Petróleo	• Conveniente • Alta energia específica • Fácil de transportar e de armazenar • Co-evolução da fonte energética com os equipamentos para seu uso	• Fortemente poluidor da atmosfera • Preços voláteis • Concentração geográfica das jazidas • Controlo politizado e nacionalizado da grande parte jazidas mundiais • Produto cartelizado e mercado manipulável • Vulnerabilidade de interrupção de oferta e instabilidade geopolítica • Riscos de transporte e armazenamento • Reservas em esgotamento
Gás	• Eficiente e conveniente • Combustível multiuso • Alta energia específica	• Produto emissor de gases de efeito estufa • Transporte e armazenamento caro e arriscado • Requer infra-estrutura cara, própria e inflexível • Volatilidade de preços • Jazidas concentradas geograficamente • Produto cartelizado e mercado manipulável
Energia Nuclear	• Não há emissões de gases de efeito estufa • Poucas limitações de recursos • Alta energia específica	• Baixa aceitação da sociedade • Sem solução para eliminação dos resíduos • Operação arriscada e perigosa • Muito intensivo em capital
Energia de fonte Renovável	• Baixas emissões de gases de efeito estufa • Sustentabilidade	• Custos altos • Fontes intermitentes (a maioria) • Distribuição desigual • Estágio tecnológico inferior às demais fontes em uso

[<http://www.biodieselbr.com/energia/agro-energia.htm>]

A maior parte da energia eléctrica produzida em Portugal é obtida através das termoeléctricas, o que realça a dependência energética existente em Portugal, já que o país não dispõe, como recursos naturais próprios, dos combustíveis fósseis utilizados neste tipo de produção. Por outro lado, a produção de electricidade por via térmica é a grande responsável pela emissão de alguns gases nocivos para a atmosfera, nomeadamente gases de efeito estufa.

Segundo dados da DGEG, durante o ano de 2007, o consumo dos principais combustíveis, registaram uma diminuição de 2,2 %, relativamente ao ano anterior. Relativamente a 2006, o consumo dos produtos do petróleo reduziu-se 1,4 %, o consumo do fuelóleo baixou 9 % e o consumo do carvão desceu 13,6 %.

É também de realçar o acréscimo no consumo do gás natural (mais 6,4 %), sendo de salientar ainda o pequeno aumento no consumo de gasóleo rodoviário (mais 2,1 %), evolução esta, que já se vinha notando desde a segunda metade de 2006 e que tem a ver com a “dieselização” do parque automóvel. Por outro lado, em 2007, relativamente a 2006, o consumo global das gasolinas baixou 5 %, mantendo-se relativamente estável o ritmo de decrescimento que se fez sentir ao longo do ano.

Nas figuras seguintes são apresentados os consumos de combustíveis no mercado interno, no ano móvel de Junho de 2006 a Junho de 2007, bem como a percentagem de variação desse consumo.

Posteriormente, são apresentados os consumos mensais de combustíveis rodoviários, dando-se principal destaque ao consumo mensal de gasóleo. A este grupo, pertence também o gasóleo de aquecimento e o gasóleo colorido ou gasóleo agrícola. Esta nomenclatura está associada ao corante azul, adicionado ao mesmo, para sua identificação.

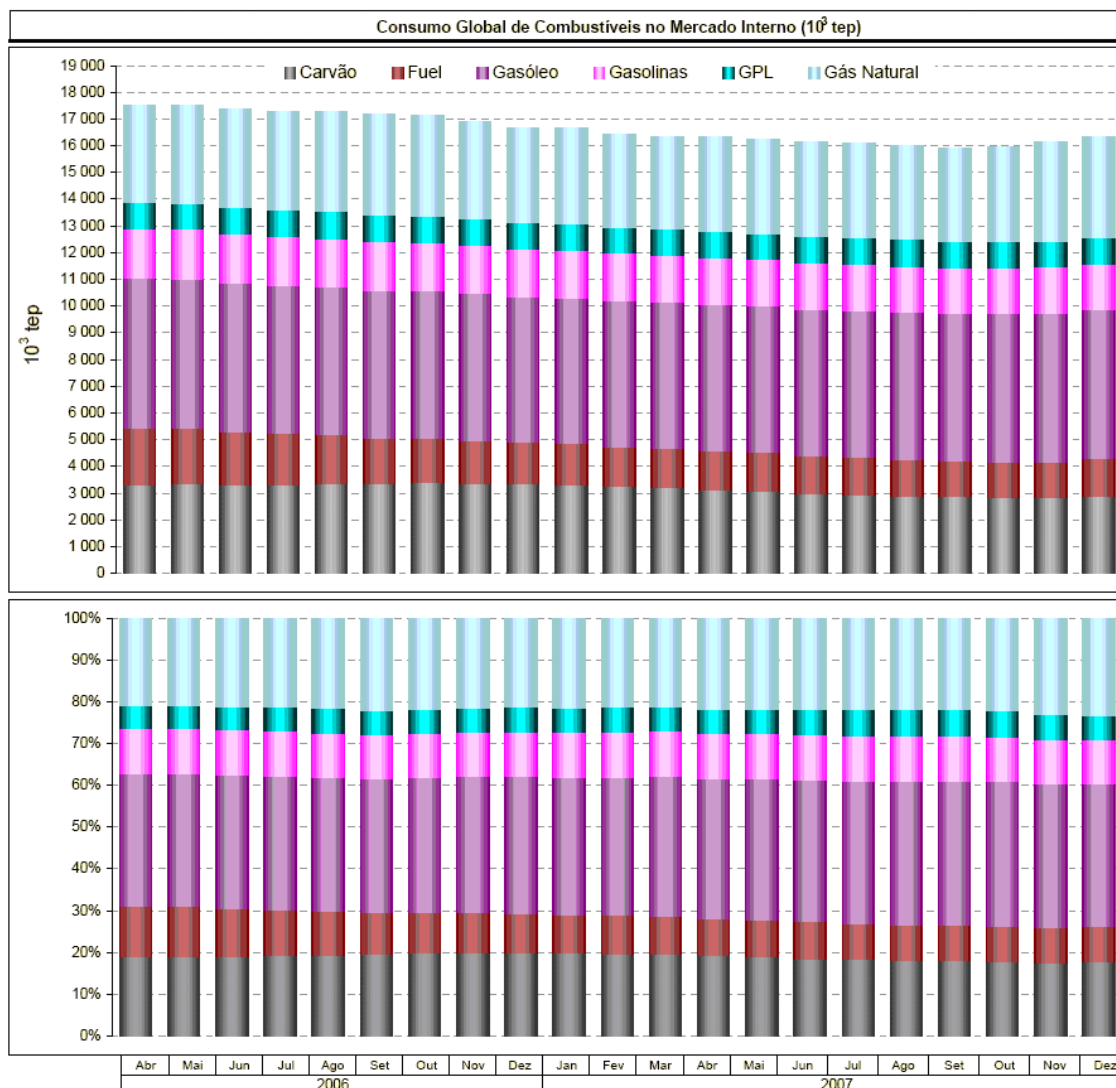


Figura 2.4 – Consumo global de combustíveis no mercado interno, no ano móvel 2006/ 2007
[DGEG, 2007]

Mercado Interno (10 ³ tep)																					
	2006							2007							% var. mês homólogo do ano anterior						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Total	17 360	17 296	17 268	17 203	17 126	16 901	16 688	16 140	16 098	15 991	15 915	15 963	16 139	16 325	-7,0%	-6,9%	-7,4%	-7,5%	-6,8%	-4,5%	-2,2%
Gás Natural	3 659	3 688	3 738	3 792	3 737	3 616	3 560	3 546	3 539	3 503	3 496	3 560	3 702	3 789	-3,1%	-4,0%	-6,3%	-7,8%	-4,7%	2,4%	6,4%
Prod. Petróleo	10 389	10 284	10 170	10 039	9 978	9 909	9 791	9 605	9 621	9 596	9 528	9 551	9 604	9 653	-8%	-6,4%	-5,8%	-5,1%	-4,3%	-3,1%	-1,4%
GPL	988	997	1 003	1 006	1 004	992	983	985	988	990	978	978	981	974	-2,4%	-0,9%	-1,2%	-2,8%	-2,8%	-1,1%	-0,9%
Gasolinas	1 854	1 845	1 824	1 818	1 811	1 803	1 790	1 749	1 741	1 738	1 726	1 722	1 713	1 700	-5,7%	-5,8%	-4,7%	-5,0%	-4,9%	-5,0%	-5,0%
Gasóleo	5 544	5 544	5 533	5 513	5 531	5 512	5 468	5 470	5 487	5 503	5 509	5 541	5 563	5 567	-1,3%	-1,0%	-0,5%	-0,1%	0,2%	0,9%	1,8%
Fuel	2 002	1 898	1 810	1 703	1 632	1 603	1 551	1 421	1 406	1 364	1 316	1 311	1 347	1 412	-29,0%	-26,0%	-24,6%	-22,7%	-19,6%	-16,0%	-9,0%
Carvão	3 311	3 323	3 360	3 372	3 411	3 376	3 335	2 989	2 937	2 893	2 891	2 852	2 832	2 883	-9,7%	-11,6%	-13,9%	-14,3%	-16,4%	-16,1%	-13,6%
Rodoviários	6 877	6 865	6 835	6 808	6 815	6 798	6 744	6 724	6 732	6 746	6 738	6 761	6 760	6 759	-2,2%	-1,9%	-1,3%	-1,0%	-0,8%	-0,5%	0,2%
GPL Auto	23,9	23,7	23,6	23,3	23,2	23,0	22,8	22,7	23,0	23,1	23,0	23,3	23,5	24,1	-4,9%	-3,1%	-1,9%	-1,3%	0,4%	2,2%	5,7%
Gasolinas	1 854	1 845	1 824	1 818	1 811	1 803	1 790	1 749	1 741	1 738	1 726	1 722	1 713	1 700	-5,7%	-5,8%	-4,7%	-5,0%	-4,9%	-5,0%	-5,0%
Gasóleo	4 999	4 996	4 987	4 968	4 981	4 972	4 932	4 952	4 968	4 985	4 989	5 015	5 024	5 034	-0,9%	-0,6%	0,0%	0,4%	0,7%	1,0%	2,1%

Figura 2.5 – Consumo de Combustíveis no Mercado Interno
[DGEG, 2007]

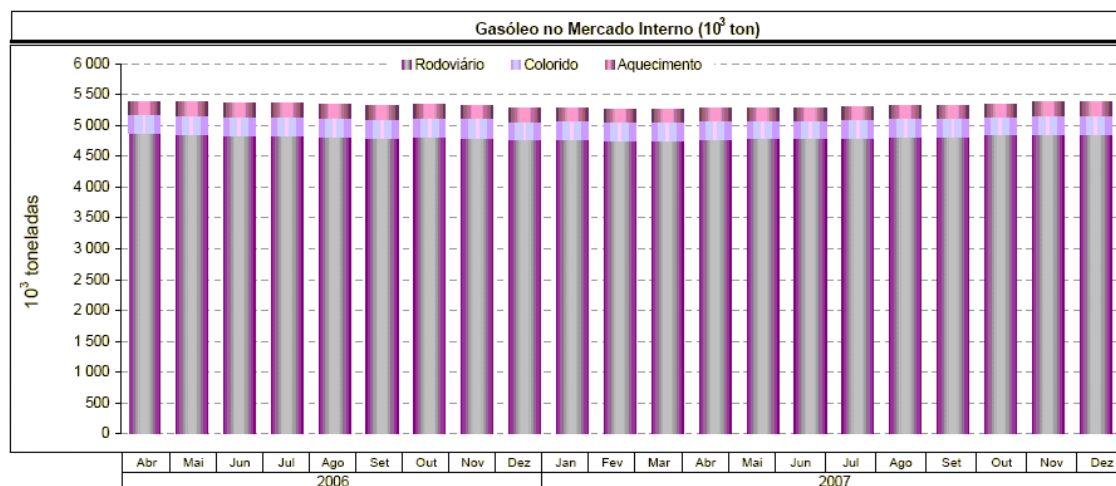


Figura 2.6 – Consumo de gasóleo no Mercado Interno
[DGEG, 2007]

Consumo Mensal de Gasóleo (10 ³ ton)																						
	2006										2007											
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Total	413	480	436	444	449	427	454	435	437	445	401	486	428	467	432	480	484	433	485	456	442	
Rodoviário	375	419	403	413	416	392	410	394	375	390	367	421	387	428	402	428	433	396	436	402	385	
Colorido	28	34	26	24	25	25	24	20	24	24	19	28	27	31	23	25	24	26	30	25	24	
Aquecimento	10	6	6	7	8	10	19	21	38	31	26	17	13	8	7	7	8	11	19	30	33	

Figura 2.7 – Consumo mensal de gasóleo
[DGEG, 2007]

Os combustíveis aqui apresentados em conjunto têm como ponto comum o facto de derivarem do petróleo, um combustível de origem fóssil.

A utilização do petróleo como fonte de energia tem como consequência um elevado encargo para o país. Não só a nível financeiro, visto que se trata de um produto importado, mas também a nível ambiental, uma vez que se trata de uma fonte de energia particularmente poluente. O problema coloca-se igualmente em termos da soberania nacional, devido à forte dependência de Portugal face aos países produtores de petróleo.

O futuro passará, além da óbvia e prioritária gestão da procura, pelo aproveitamento dos recursos naturais existentes em território nacional. Neste aspecto, o vento, a biomassa, a energia solar e até os oceanos têm elevado potencial, uma vez que grande parte destes recursos ainda se encontra pouco explorada.

A promoção e utilização de fontes renováveis para a produção de energia surgem como necessidade de garantir um desenvolvimento sustentável para a sociedade actual e futura, uma vez que os combustíveis que dominam a actual matriz energética nacional (petróleo, carvão e gás natural), ao serem extraídos a um ritmo superior ao que se formam, irão desaparecer mais cedo ou mais tarde, pelo que o país deverá, desde já, encontrar alternativas para o seu suprimento energético.

A dependência política e económica e a extinção dos combustíveis fósseis são assuntos que têm passado despercebidos à maior parte da população, mesmo quando estes factores são responsáveis pela alteração de tarifas de energia ou até do desenvolvimento económico e social do país.

As políticas e estratégias da Comissão Europeia têm como objectivo assegurar a continuidade do desenvolvimento económico e social, sem que este desenvolvimento implique o desrespeito pelo ambiente ou a degradação dos recursos naturais indispensáveis à actividade humana.

É neste sentido que os projectos de aproveitamento de energias renováveis possuem características capazes de promover a eficácia económica e a preservação do ambiente e recursos a longo prazo. Com a adopção e implementação do "Livro Branco para as Tecnologias de Energias Renováveis", a primeira política coordenada para as renováveis no âmbito da União Europeia, é possível que este tipo de energias se torne a maior fonte endógena de energia na União Europeia.

As energias renováveis, que no âmbito da União Europeia são compostas pelas energias solar, hídrica, eólica, biomassa, geotérmica e resíduos, representaram em 2006, 30,6 % da produção total de energia eléctrica em Portugal, sendo que apenas 12 % foi proveniente da biomassa e biogás. Nesse ano, Portugal foi o terceiro país da União Europeia (UE15) com maior incorporação de energias renováveis. A subida de três lugares, relativamente a 2005, deveu-se ao aumento acentuado da produção hídrica verificada em 2006.

Em 2007, a incorporação de FER (fonte de energia renovável) para efeitos da Directiva 2001/77/CE¹, no consumo bruto de energia eléctrica, foi de 42 %. [DGEG, 2008]. Na tabela seguinte, são apresentados valores comparativos entre países da OCDE, da produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renovável, (FER), para os anos 1999 e 2006.

Tabela 2.2 – Comparação Internacional entre países da OCDE, de produção de energia eléctrica a partir de FER [DGEG]

						Peso(%) em 2006			
	Total 2006	FER 1999	FER 2006	% FER	% FER	Hídrica	Eólica	Biomassa + Biogás	Outros
	TWh	GWh	GWh	1999	2006				
Áustria	70,4	43 823	37 615	74,9	53,4	88,0	4,6	7,3	0,0
Suécia	149,2	74 953	69 878	50,8	46,8	88,2	1,4	10,4	0,0
Portugal Continental	52,7	8 860	16 165	21,4	30,6	70,1	17,9	12,0	0,0
Dinamarca	38,7	4 860	9 805	13,3	25,3	0,2	62,3	37,5	0,0
Finlândia	93,6	21 525	23 469	26,7	25,1	49,0	0,7	50,4	0,0
Espanha	299,6	30 660	55 681	14,3	18,6	45,9	41,0	13,0	0,1
Itália	359,8	58 423	49 694	19,0	13,8	72,8	6,5	9,6	11,2
França	511,1	80 827	61 996	17,5	12,1	90,1	3,5	5,6	0,9
Grécia	63,4	5 187	7 573	10,4	11,9	77,3	21,2	1,6	0,0
Alemanha	616,2	37 211	73 299	6,7	11,9	28,7	41,6	26,9	2,7
Irlanda	29,8	1 368	2 827	6,1	9,5	30,2	65,1	4,7	0,0
Holanda	119,7	4 873	8 035	4,6	6,7	1,3	34,0	64,2	0,4
Reino Unido	407,9	13 076	16 273	3,4	4,0	27,9	26,0	46,0	0,0
Luxemburgo	7,9	816	244	12,6	3,1	45,5	23,8	22,1	8,6
Bélgica	96,4	2 703	2 403	3,2	2,5	12,2	21,7	66,1	0,1
Total UE 15	2 916,4	389 165	434 957	15,2	14,9	61,6	18,7	17,7	1,9
Austrália	255,0	18 118	20 013	8,9	7,8	82,6	6,2	11,2	0,1
Canadá	595,4	353 538	365 828	64,5	61,4	97,1	0,4	2,5	0,0
Coreia	407,4	6 470	3 973	2,4	1,0	87,3	5,9	6,6	0,2
Estados Unidos	4 294,8	389 079	392 809	9,8	9,1	74,1	6,6	14,9	4,4
Japão	1 073,2	121 972	104 660	11,4	9,8	83,8	2,2	11,1	2,9
México	252,5	38 955	39 793	20,2	15,8	76,5	0,1	6,5	16,9
Nova Zelândia	43,1	26 747	28 107	70,2	65,2	83,4	2,3	2,3	11,9
Turquia	174,2	34 930	44 416	29,5	25,5	99,4	0,3	0,1	0,2

Notas:

Neste comparativo exclui-se a bombagem na produção hídrica e os resíduos sólidos urbanos considerados não renováveis.

O Total 2006 corresponde à produção bruta de energia eléctrica + saldo importador.

Outros inclui geotérmica e solar

¹ As metas indicativas da Directiva 2001/77/CE são para a parte da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no consumo bruto de electricidade em 2010 (Produção bruta + saldo importador). O cumprimento é calculado assumindo a mesma hidraulicidade do ano base relativamente à qual foi definida a meta (1997), em linha com as declarações no anexo e a posição nacional assumida durante a discussão da Directiva.

2.2. PANORAMA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL

No final de Fevereiro de 2008, Portugal tinha 7 474 MW de capacidade instalada para produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renovável. A produção de energia eléctrica a partir de FER continua a decrescer acompanhando a evolução da sua componente hídrica (65 % da potência instalada em 2007) [DGEG, 2008].

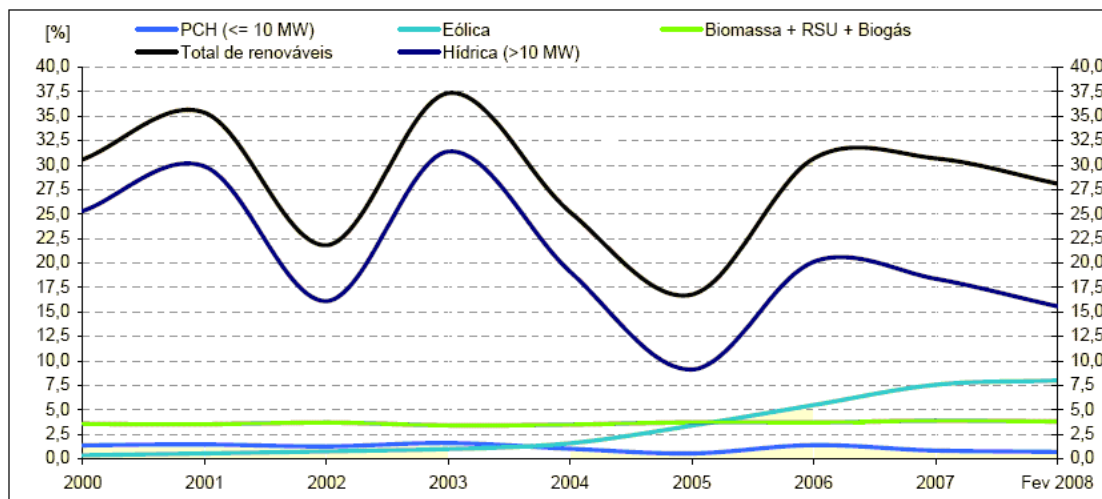


Figura 2.8 – Evolução do peso da produção das energias renováveis na produção bruta + saldo importador Portugal Continental [DGEG, 2008]

Comparando a produção de Fevereiro de 2008 com a registada em igual mês de 2007, verifica-se um decréscimo da produção (1,05 TWh vs 2,04 TWh), registando-se, para a produção hídrica, um decréscimo de 71 %.

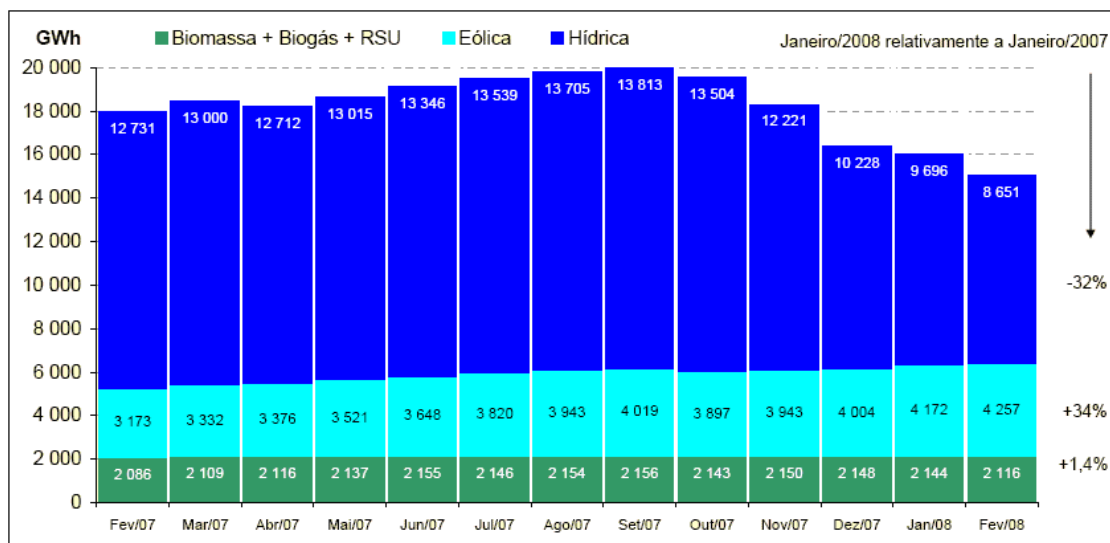


Figura 2.9 – Produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis – Ano Móvel (GWh) Portugal Continental [DGEG, 2008]

A produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renovável está concentrada no Norte, principalmente nos distritos de Bragança, Viana do Castelo, Viseu, Coimbra, Vila Real e Braga (1001, 829, 788, 731, 627 e 614 MW). Excluindo a grande hídrica, Viseu, Coimbra, Castelo Branco, Lisboa, Vila Real, Guarda, Braga e Santarém são os principais distritos em termos de potência instalada (538, 464, 363, 261, 247, 196, 174 e 171 MW), correspondendo a potência destes oito distritos a 75 % do total, em Fevereiro de 2008.

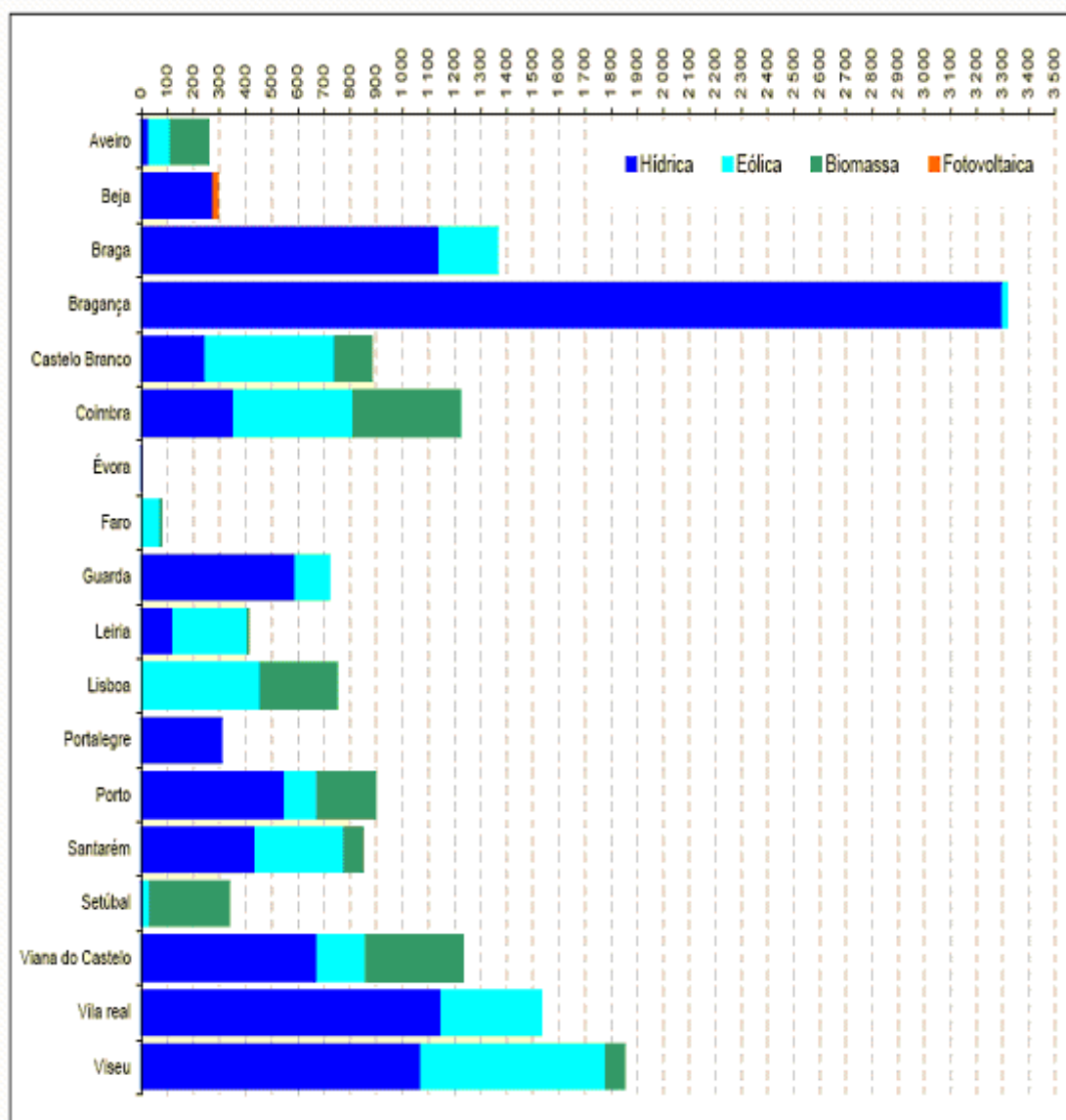


Figura 2.10 – Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis por distrito em 2007 (GWh) em Portugal Continental [DGEG, 2008]

2.3. HISTÓRIA DO BIODIESEL

A história do biodiesel teve início nos finais do séc. XIX, quando Rudolf Diesel descobriu que os óleos vegetais poderiam ser utilizados como combustíveis num motor de combustão interna. Em 1890, na exposição mundial de Paris, Diesel demonstrou um protótipo de um motor movido a óleo de amendoim.

Posteriormente, em 1912, os principais governos mundiais afirmaram a viabilidade de utilizar fontes energéticas existentes em grande escala, dos quais se destacaram o petróleo e o carvão. Durante a II Guerra Mundial e antes da escassez de combustíveis fósseis, alguns estudos realizados por Otto e Vivacqua sobre diesel de origem vegetal, ganharam importância mundial [PEDROTTI, 2006]. Contudo, somente em 1970, foi desenvolvido o estudo do biocombustível, no meio de uma grave crise energética que elevava o custo do petróleo (ver Figura 2.11).



Figura 2.11 – Preço do petróleo desde 1861

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Historico_petroleo.jpg (consultada a 27/2/2008)]

As primeiras provas técnicas com biodiesel ocorreram em 1982 na Áustria e na Alemanha. Porém somente em 1985, na Áustria (Silberberg), foi construída a primeira unidade piloto produtora de RME (Éster metílico de colza). A produção de biodiesel na União Europeia iniciou-se por volta de 1992 e foi fomentada pelos subsídios atribuídos pela PAC (Política Agrícola Comum) à produção de produtos não alimentares.

Actualmente, países como Alemanha, Áustria, Canadá, EUA, França, Itália, Malásia e Suécia são pioneiros na produção, análise e uso do biodiesel em automóveis. Na Europa, o biodiesel é produzido principalmente a partir do óleo de colza e metanol, denominado comercialmente de RME. É utilizado em motores a biodiesel puro ou misturado com diesel, em proporções que vão de 5 % até 20 %.

Na tabela seguinte apresentam-se as produções anuais de biodiesel para os maiores produtores dentro na UE. Como se pode observar a Alemanha é o maior produtor de biodiesel na UE, sendo comercializado em mais de 350 postos de serviço e o seu emprego é comum nos cruzeiros turísticos que navegam nos lagos do país [PEDROTTI, 2006].

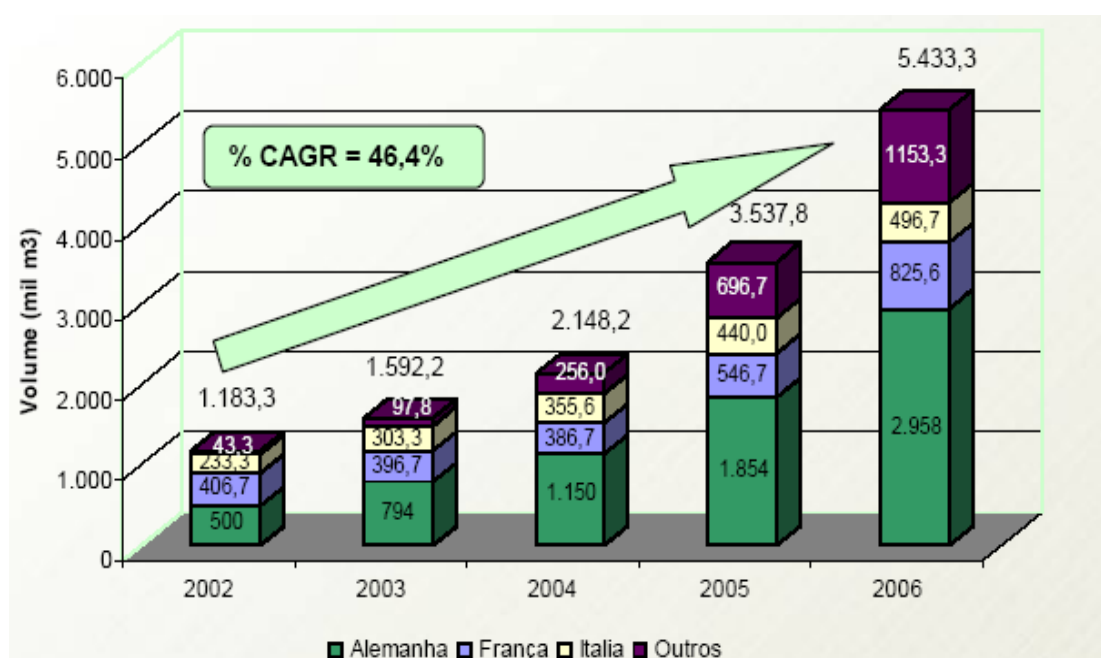


Figura 2.12 – Produção de biodiesel na União Europeia
[http://www.acionista.com.br/home/brasil_ecodiesel/resultados_2T07.pdf]
[EBB – European Biodiesel Board]

2.4. CARACTERÍSTICAS DO BIODIESEL

O biodiesel foi definido pela “National Biodiesel Board” dos Estados Unidos como o derivado mono-alquil éster de ácidos gordos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão [NATIONAL BIODIESEL BOARD, 1999].

As vantagens do óleo vegetal como combustível em relação ao diesel são: líquido natural, renovável, alto valor energético, baixo conteúdo de enxofre, o que permite uma queima limpa do combustível comparada com a provocada pela queima do diesel proveniente do petróleo, reduzindo assim as emissões de SO_x , CO, hidrocarbonetos não-queimados e partículas sólidas. Além disso, não apresenta toxicidade e é biodegradável [MA ET AL., 1999].

O biodiesel, apresenta características que o tornam, no futuro, um combustível com grande potencial, já que apresenta excelentes propriedades lubrificantes e por isso pode ser utilizado nos motores a diesel com pequenas ou até mesmo nenhuma modificações.

No caso de se utilizar 1 kg de biodiesel puro, em vez do gasóleo convencional, podem reduzir-se cerca de 3,2 kg de CO_2 emitido [RATANAWILAI, 2005].

No entanto, apesar de energeticamente favorável, o uso directo de óleos vegetais como combustíveis para motores é problemático. Devido à sua alta viscosidade (aproximadamente 11 a 17 vezes maior que a do óleo diesel) e baixa volatilidade, apresentam algumas desvantagens: combustão incompleta, formação de depósitos de carbono nos sistemas de injeção, diminuição da eficiência de lubrificação, obstrução nos filtros de óleo e sistemas de injeção, comprometimento da durabilidade do motor e formação de acroleína (uma substância altamente tóxica e cancerígena) pela decomposição térmica da glicerina [SCHUCHARDT, 2006].

Por estas razões é necessário alterar a molécula dos óleos vegetais através da esterificação de modo a se obter compostos.

A diferença de propriedades entre o diesel e os óleos vegetais resulta principalmente da diversidade molecular entre esses dois grupos de substâncias. O diesel é constituído de hidrocarbonetos com número médio de catorze carbonos. Os óleos vegetais são triésteres da glicerina, ou seja, produtos naturais da condensação da glicerina com ácidos gordos, cujas cadeias laterais de ácidos gordos têm números de carbono que variam entre dez e dezoito, com valor médio de catorze a dezoito para os tipos de óleos mais abundantes. Além da presença do grupo funcional do tipo de éster, os óleos vegetais possuem peso molecular cerca de três vezes maior que o diesel [DANTAS, 2006].

A transesterificação de um óleo com monoálcoois (alcoólise), especificamente metanol ou etanol, promove a quebra da molécula dos triglicerídeos, provocando a mistura de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos gordos correspondentes, produzindo glicerina como subproduto. O peso molecular desses monoésteres é próximo ao do diesel [DANTAS, 2006]. A similaridade encontrada nos pesos moleculares estende-se às propriedades físico-químicas, o que incentivou o teste dos ésteres de ácidos gordos como melhor sucedâneo ao diesel que os óleos vegetais "in natura" [DANTAS, 2006].

Por outro lado, enquanto combustível, o biodiesel necessita de algumas características técnicas que podem ser consideradas imprescindíveis: a reacção de transesterificação deve ser completa, acarretando ausência total de ácidos gordos remanescentes e o biocombustível deve ser de alta pureza, não contendo traços de glicerina, de catalisador residual ou de álcool excedente da reacção [DANTAS, 2006]. Enquanto, produto pode-se dizer que o biodiesel tem as seguintes características:

- É virtualmente livre de enxofre e aromáticos;
- Tem um número de cetano equivalente ao diesel;
- Possui maior viscosidade e maior ponto de fulgor que o diesel convencional;
- Diminui a poluição ambiental.

A utilização de biodiesel traz uma série de vantagens ambientais, económicas e sociais. Estudos demonstram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20 % de enxofre, 9,8 % de anidrido carbónico, 14,2 % de hidrocarbonetos não queimados, 26,8 % de partículas e 4,6 % de óxido de azoto [DANTAS, 2006].

2.5. VANTAGENS AMBIENTAIS DO BIODIESEL

Pode-se dizer que os biocombustíveis foram introduzidos no mercado dos combustíveis e têm sido alvo de investigação e desenvolvimento de tecnologias mais sofisticadas, devido às suas vantagens comprovadas essencialmente a nível ambiental. De facto, os biocombustíveis surgem como resposta às necessidades de redução de emissões de gases de efeito de estufa, acentuadas pelos objectivos a atingir no âmbito do Protocolo de Quioto. Desta forma, podem-se destacar as seguintes vantagens ambientais, associadas ao biodiesel:

1. O biodiesel é produzido a partir de matérias renováveis, recuperando resíduos (óleos vegetais, banhas, gorduras);
2. O biodiesel reduz consideravelmente as emissões de partículas de carbono (até 50 %) sendo um combustível ecologicamente amigável;
3. Não contém praticamente enxofre ($< 0,001\%$) permitindo diminuir as emissões de SO_2 ;
4. Quando queimado, o biodiesel emite a mesma quantidade de CO_2 que as plantas absorveram no seu crescimento (ciclo de CO_2 fechado);
5. O biodiesel não contém benzóis ou outros componentes poliaromáticos carcinogénicos;
6. O biodiesel decompõe-se biologicamente com facilidade e, no caso de um acidente, não existe perigo para o solo ou para as águas subterrâneas;
7. O biodiesel não é considerado um combustível perigoso (ponto de auto ignição acima de $110\text{ }^\circ\text{C}$);
8. A produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados permite reutilizar e reduzir em 88 % o volume destes resíduos, sendo 2 % matéria sólida, 10 % glicerina e 88 % éster com valor energético [QUERCUS, 2002];
9. Recupera um resíduo que de outra forma provoca danos ao ser despejado nos esgotos;
10. O biodiesel é uma fonte renovável de energia que pode dar um contributo importante para a redução de consumo de combustíveis fósseis.

Os benefícios ambientais podem, ainda, gerar vantagens económicas, uma vez que é possível enquadrar o biodiesel nos acordos estabelecidos no Protocolo de Quioto e nas directrizes dos mecanismos de desenvolvimento limpo, já que existe a possibilidade de venda de cotas de carbono através do Fundo Protótipo de Carbono, pela redução das emissões de gases poluentes e também créditos de "sequestro de carbono", através do Fundo Bio de Carbono, administrados pelo Banco Mundial [SALES, 2006].

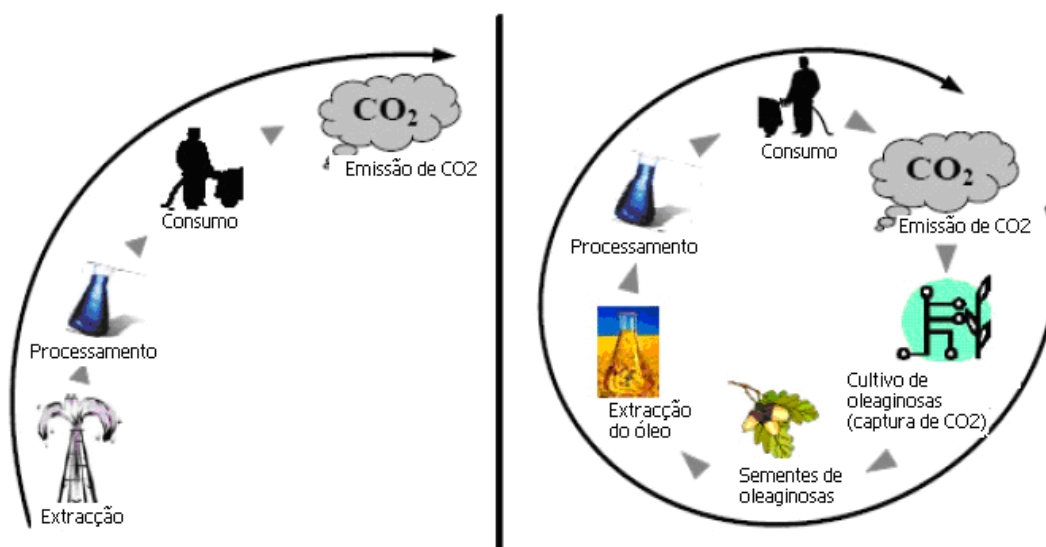


Figura 2.13 – “Ciclo” aberto do carbono do diesel e ciclo fechado do carbono do biodiesel
[ENCARNAÇÃO, 2008]

2.6. VANTAGENS ECONÓMICAS DO BIODIESEL

As principais vantagens económicas da utilização de biodiesel, em detrimento dos combustíveis fósseis, reflectem-se pela maior autonomia nacional no que concerne aos combustíveis, visto que Portugal passa a ter produção própria de combustível o que lhe permite substituir parte da importação de gasóleo refinado de que Portugal é deficitário. Por outro lado, o biodiesel tem uma capacidade lubrificante superior ao gasóleo, aumentando a vida dos motores.

2.7. VANTAGENS SOCIAIS DO BIODIESEL

As vantagens sociais da utilização do biodiesel passam essencialmente pela criação de postos de trabalho. As unidades de produção de biodiesel são indústrias de trabalho intensivas. Num estudo alemão aponta para 16 postos de trabalho por mil toneladas/ano a partir de plantio de colza e fabricação totalmente automatizada, para a realidade espanhola o número adiantado é de 26 postos de trabalho por kt/ano. Em Portugal não existem estes dados [QUERCUS, 2002].

Por outro lado, a produção e utilização de biodiesel a partir de óleos alimentares usados, permitirá ao país desenvolver uma nova actividade económica auto-suficiente (independente dos constrangimentos internacionais ligados ao petróleo). Essa actividade será diversificada, passando pela recolha do óleo alimentar usado, pela sua transformação em biodiesel, incluindo aqui, não apenas a unidade de produção, mas também todo o trabalho laboratorial.

2.8. VANTAGENS ENERGÉTICAS DO BIODIESEL DE ÓLEOS DE FRITURA USADOS

Para a produção dos ésteres são necessários aproximadamente 2,5 a 3 kW de energia eléctrica para cada tonelada de biodiesel, sendo que o conteúdo energético é praticamente equivalente ao gasóleo fóssil.

Tendo em conta que com uma tonelada de biodiesel poderia fazer-se funcionar um gerador inteiramente a biodiesel por um período superior a 300 horas, retirando dessa forma, uma quantidade de energia muito superior à necessária para a sua produção. Considerando o facto de se poder arrancar o gerador a gasóleo e depois consumir biodiesel directamente, seria possível obter-se um balanço energético ainda superior, com a clara vantagem ambiental de consumir 100 % do resíduo [QUERCUS, 2002].

Tendo em conta que:

1. O atraso em relação aos objectivos propostos pela comissão europeia para 2006 e 2012 no seu Livro Branco sobre energias renováveis em que se propõe alcançar um objectivo faseado de 6 % e 12 %, respectivamente de produção de energia a partir de fontes de energia renováveis, que no caso de Portugal não tem sido cumprido;
2. Os objectivos traçados em termos de emissões também não têm sido cumpridos e que o sector dos transportes é aquele que tem conhecido o maior aumento relativo de todos os sectores económicos nacionais, prevendo-se que venha a ser o sector com maiores emissões de Gases de Efeito de Estufa superando a indústria [Programa Nacional de Alterações Climáticas (PNAC)];
3. Praticamente não existe produção de biodiesel em Portugal;
4. As recolhas de óleos alimentares são uma muito pequena parte do total;
5. A maioria dos óleos alimentares usados tem como destino final o esgoto;
6. As ETAR's funcionam em piores condições devido à descarga dos óleos e gorduras na rede geral dos esgotos;
7. Não existe fiscalização;
8. Muitas câmaras municipais não efectuem recolhas;
9. As frotas de veículos públicos ou privados não incorporam biodiesel ou biocombustíveis, utilizando o gasóleo rodoviário comercial com todas as suas implicações nocivas para o ambiente;
10. Não existe uma lei que regule o sector;
11. A lei que existe sobre o produtor ter a obrigatoriedade de dar o destino final aos resíduos que produz não é aplicada em relação aos pequenos restaurantes, nem é implementada a sua aplicação por parte das câmaras;
12. Neste momento Portugal está (juntamente com a Grécia) em contramarcha com a União Europeia neste desígnio;

Verifica-se que existe um potencial por explorar e que muito pode ser feito neste contexto, não só pela necessidade de uma gestão eficiente deste tipo de resíduos, como também pela urgência de alternativas para os combustíveis de origem fóssil. A valorização dos resíduos de óleos alimentares para a produção de biodiesel permite solucionar de forma concertada as questões referidas anteriormente.

2.9. DESVANTAGENS DO BIODIESEL

Não se sabe ao certo como o mercado irá assimilar a grande quantidade de glicerina obtida como subproduto da produção do biodiesel (entre 5 e 10 % do produto bruto). As principais desvantagens associadas à produção do biodiesel são:

1. O esgotamento das capacidades do solo, devido à produção intensiva da matéria-prima de origem vegetal, provocando a destruição da fauna e flora, aumentando portanto o risco de erradicação de espécies e o possível aparecimento de novos parasitas;
2. O balanço de CO₂ do biodiesel não ser neutro se for levada em conta a energia necessária à sua produção, mesmo que as plantas busquem o carbono à atmosfera. É preciso ter em conta a energia necessária para a produção de adubos, para a locomoção das máquinas agrícolas, para a irrigação, para o armazenamento e transporte dos produtos;
3. A subida nos preços dos alimentos, ocasionada pelo aumento da demanda de matéria-prima para a produção de biodiesel, aliás como já se verifica actualmente em Portugal. No início de Julho de 2007, o milho era vendido a 200 euros por tonelada (152 em Julho de 2006), a cevada a 187 (contra 127 em Julho de 2006), o trigo a 202 (137 em Julho de 2006) e o bagaço de soja a 234 (contra 178 em Julho de 2006);

Estas desvantagens não são consideradas no caso de produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados, visto que a matéria-prima utilizada (óleo usado), é encarada como um resíduo.

Por outro lado, com o desenvolvimento de tecnologias de segunda geração, que visam a produção de biodiesel a partir de outras matérias-primas alternativas a oleaginosas com função alimentar, este problema tendencialmente será eliminado ou provavelmente muito reduzido.

3. COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DE ÓLEOS E GORDURAS – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Os óleos e gorduras são substâncias de origem vegetal, animal ou microbiana, insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. Segundo MORETTO & FETT (1989) a primeira distinção entre um óleo e uma gordura é na sua aparência física. De um modo geral, os óleos são definidos como substâncias líquidas à temperatura ambiente, enquanto que as gorduras caracterizam-se como substâncias sólidas. As gorduras de origem vegetal resultam de processos de hidrogenação de óleos vegetais. Os óleos e gorduras são formados, principalmente, por triglicerídeos ou triacilgliceróis, resultante da combinação entre três moléculas de ácido gordos e uma molécula de glicerol (glicerina).

De acordo com LAGO ET AL., (1997), os ácidos gordos presentes nos óleos e gorduras são constituídos, geralmente, por ácidos carboxílicos que contêm de 4 a 30 átomos de carbono na sua cadeia molecular e podem ser saturados ou insaturados. O número de insaturações pode variar de 1 a 6, sendo que três insaturações são comuns e existe um predomínio de isómeros cis, especialmente nos óleos e gorduras naturais [WUST, 2004].

3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS ÓLEOS

Podemos classificar os óleos vegetais em vários grupos, consoante os ácidos gordos que neles predominam. A análise da composição de ácidos gordos constitui o primeiro passo para a avaliação da qualidade do óleo bruto e/ou seus produtos de transformação. Para a determinação da composição, em termos de ácidos gordos, podem ser utilizados métodos cromatográficos (cromatografia líquida e gasosa) e por ressonância magnética nuclear de hidrogénio [WUST, 2004].

Os grupos mais importantes são os que a seguir se indicam:

- **Grupo do ácido láurico (C12)** – inclui óleos relativamente saturados com índices de iodo entre 5 e 30 (exemplo: óleo de coco e coconote);
- **Grupo do ácido palmítico (C16)** – são óleos igualmente saturados e inclui o óleo de palma;
- **Grupo do ácido oleico (C18:1)** – a maioria destes óleos tem um índice de iodo compreendido entre 80 e 110, sendo por isso insaturados (exemplo: azeite, amendoim, colza e panqueira);
- **Grupo do ácido linoleico (C18:2)** – inclui óleos com índice de iodo geralmente superior a 110 sendo considerados insaturados (exemplos: girassol, soja e algodão).

Esta distinção dos óleos com base no seu grau de insaturação e no tamanho das moléculas dos ácidos gordos que os constituem permite, de uma forma grosseira, a sua classificação. Os óleos podem também diferir entre si, pela presença ou não de grupos químicos. Estas diferenças reflectem-se nas características do biocombustível obtido.

Quanto maior a cadeia hidrocarbónica da molécula, maior o número de cetano e a lubricidade do combustível. Porém, maior o ponto de névoa e o ponto de entupimento. Assim, moléculas exageradamente grandes (ésteres alquílicos do ácido erúico, araquidónico ou eicosanóico) devido ao processo de pré-aquecimento tornam o combustível de uso difícil em regiões com temperaturas baixas.

Quanto às insaturações, quanto menor o número de insaturações (duplas ligações) nas moléculas, maior o número de cetano do combustível, ocasionando uma melhor qualidade da combustão. Por outro lado, um aumento no número de cetano ocasiona também um aumento no ponto de névoa e de entupimento (maior sensibilidade aos climas frios). Por outro lado, um elevado número de insaturações torna as moléculas menos estáveis quimicamente. Isso pode provocar inconvenientes devido a oxidações, degradações e polimerizações do combustível (ocasionando um menor número de cetano ou formação de resíduos sólidos), se inadequadamente armazenado ou transportado.

Desta forma, tanto os ésteres alquílicos de ácidos gordos saturados (láurico, palmítico, esteárico) como os de poli-insaturados (linoléico, linolénico) possuem alguns inconvenientes, uma vez que são pouco resistentes à oxidação e o número de cetano é geralmente fraco. Porém, são mais facilmente degradados desaparecendo do meio ambiente em períodos de tempo mais curtos, pelo que em termos ambientais, são mais vantajosos.

Os óleos saturados do tipo esteárico ou palmítico são pouco fluídos (grande viscosidade) mas são resistentes à oxidação. Encontram-se normalmente no estado sólido à temperatura ambiente. Geralmente, apresentam um índice de cetano excelente. A sua alta viscosidade, aliados à resistência à oxidação fazem com que perdurem no meio ambiente e sejam de difícil remoção e limpeza, tendo de ser aquecidos até ao seu ponto de fusão para remoção ou posterior valorização.

De uma forma geral, um biodiesel com predominância de ácidos gordos combinados mono-insaturados (oléico, ricinoléico) são os que apresentam os melhores resultados.

3.2. MATÉRIAS- PRIMAS – SUAS CARACTERÍSTICAS E OBTENÇÃO

Dentre as matérias-primas mais utilizadas para a produção de biodiesel figuram os óleos de soja, colza e de girassol e alguns tipos de óleos de frituras ou gorduras animais. De acordo com PARENTE (2003) existem alguns problemas técnicos associados à transformação dos óleos residuais de frituras, em face da heterogeneidade da matéria-prima bem como ao respectivo grau de acidez, teor de humidade e devido à presença de certos contaminantes. De acordo com LAGO ET AL., (1997), o processo de fritura expõe os óleos e gorduras a três agentes capazes de provocar alterações nas suas composições químicas:

- a) água, proveniente do próprio alimento, responsável por alterações hidrolíticas e das quais resultam os ácidos gordos livres, monoglicerídeos, diglicerídeos e glicerol;
- b) oxigénio que entra em contacto com o óleo ou gordura a partir da sua superfície e provoca alterações oxidativas. A oxidação envolve reacções químicas complexas e é responsável pela formação de produtos organolepticamente inaceitáveis, odores e sabores estranhos;
- c) temperatura responsável pelas alterações térmicas. A exposição de óleos e gorduras a temperaturas elevadas pode levar à formação de polímeros, que são constituídos por duas ou mais moléculas de ácidos gordos e são responsáveis pelo aumento da viscosidade do óleo ou gordura [WUST, 2004].

A principal utilização dos óleos alimentares usados, reside neste momento no fabrico de rações para animais, fabrico de sabões e lubrificantes biodegradáveis, sendo também utilizados na combustão (recuperação de energia em instalações industriais). A utilização de óleos alimentares reciclados na produção de alimentos compostos para animais apresenta alguns riscos não só para a saúde animal bem como, em consequência da bioacumulação, para a saúde dos consumidores.

O processo de reciclagem tem de ser altamente monitorizado visto que nos óleos reciclados podem estar presentes dioxinas bem como outras substâncias tóxicas, sendo que estes contaminantes quando acumulados, sofrem o efeito de bioampliação verificando-se um aumento da sua concentração na cadeia alimentar.

Outros tipos de óleos vegetais também representam alternativas importantes para a produção de biodiesel, como os óleos de babaçu, dendém, mamona, coco, algodão e azeite [FERRARI ET AL., 2005].

Actualmente, tem havido um grande interesse pelo cultivo da purgueira (*Jatropha curca* L.). A Galp Energia pretende investir mais de 225 milhões de euros na produção de biodiesel, feito a partir desta planta [GALP ENERGIA, 2008]. As principais vantagens do cultivo racional da purgueira são o baixo custo de produção e sua capacidade de produzir em solos pouco férteis e arenosos, além da alta produtividade, da facilidade de cultivo e de colheita das sementes. Outro aspecto positivo é a fácil conservação da semente após a colheita, podendo ser armazenada por longos períodos sem os inconvenientes da deterioração do óleo como acontece com as sementes de outras oleaginosas [ARRUDA ET AL., 2004]. Segundo CARNIELLI, (2003), é uma planta oleaginosa viável para a obtenção do biodiesel, uma vez que produz no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que pode se estender por 40 anos [ARRUDA ET AL., 2004].

Nos países importadores, basicamente Portugal e França, as sementes da purgueira sofrem o mesmo tratamento industrial que as bagas de mamona, isto é, cozimento prévio e esmagamento subsequente em prensas tipo “expeller” para extracção do óleo, que em seguida, é filtrado, centrifugado e clarificado, resultando um produto livre de impurezas. A torta, que contém ainda aproximadamente 8 % de óleo, é re-extraída com solventes orgânicos, geralmente hexano, sendo o farelo residual ensacado para aproveitamento como fertilizante natural, em virtude da presença de teores elevados de azoto, fósforo e potássio [ARRUDA ET AL., 2004].

TIWARI ET AL., (2007), desenvolveram um processo optimizado de produção de biodiesel a partir de óleo de *Jatropha curcas* com elevado teor de ácidos gordos livres. As condições operacionais ideais para a redução do teor de ácidos gordos livres do óleo de purgueira (de 14 % para menos de 1 %), foram: 1,43 % (v/v) de H₂SO₄, rácio de 0,28 (v/v) de metanol / óleo vegetal e 88 minutos de tempo de reacção a uma temperatura de

reação de 60 °C. Este processo permite obter rendimentos superiores a 99 %, sendo que as propriedades do biodiesel obtido estão dentro das especificações de acordo com as Normas Americanas e Europeias.

Nos países asiáticos deficitários em matérias primas para a produção de biodiesel, está a ser estudada a mistura do biodiesel de purgueira com o biodiesel de palma, visto que países do sudeste asiático, tais como a Malásia e Tailândia, são excedentários na produção de óleo de palma. Nesses estudos foram avaliadas as características físico químicas de várias misturas, de forma a obter-se a mistura ideal com melhor estabilidade à oxidação e melhores desempenhos a baixas temperaturas, problemas associados ao biodiesel de óleo de palma devido à elevada percentagem de ácidos gordos saturados existentes no óleo de palma [SARIN ET AL., 2007].

No entanto, no mundo todo, existe pouco conhecimento sobre a purgueira, cujo género tem mais de 170 espécies (sendo a mais importante a *Jatropha curca* L.), e somente nos últimos 30 anos é que foi iniciando estudos agronómicos sobre a mesma , sendo ainda não domesticada.

Segundo HELLER (1996), existe referências de até 8,0 t / ha , porém na aridez, tem-se citações de produtividades entre 200 a 800 kg de sementes/ha [BELTRÃO, 2006].

Segundo ARRUDA ET AL., (2004) e SATURNINO ET AL., (2005), observa-se que não existe nada ainda definido sobre a viabilidade desta cultura e também sobre um sistema de cultivo ideal tanto para as condições de sequeiro, dependente das chuvas, quanto irrigadas, pois até a população de plantas ideal e a configuração de plantio ainda não estão bem definidos [BELTRÃO, 2006].

Estudos recentes estudaram uma nova matéria-prima para produção de biodiesel: o óleo de *Moringa oleifera*. Para tal, foi efectuado um pré - tratamento para redução do número de acidez, sendo o óleo posteriormente sujeito ao processo de transesterificação pela rota metílica (rácio de 6:1 de álcool:óleo), com catálise alcalina a uma temperatura de reação de 60 °C. O óleo de *M. oleifera* possui uma elevada percentagem de ácido oleico (> 70 %), sendo que o biodiesel obtido a partir deste óleo apresenta um número de cetano de aproximadamente 67, um dos valores mais altos encontrados em biodiesel [RASHID ET AL., 2008].

Na figura seguinte é apresentada a distribuição geográfica das principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel. De referir, que de acordo com a disponibilidade de terrenos agrícolas bem como as condições climáticas, a matéria-prima preferencial para a produção de biodiesel, varia.

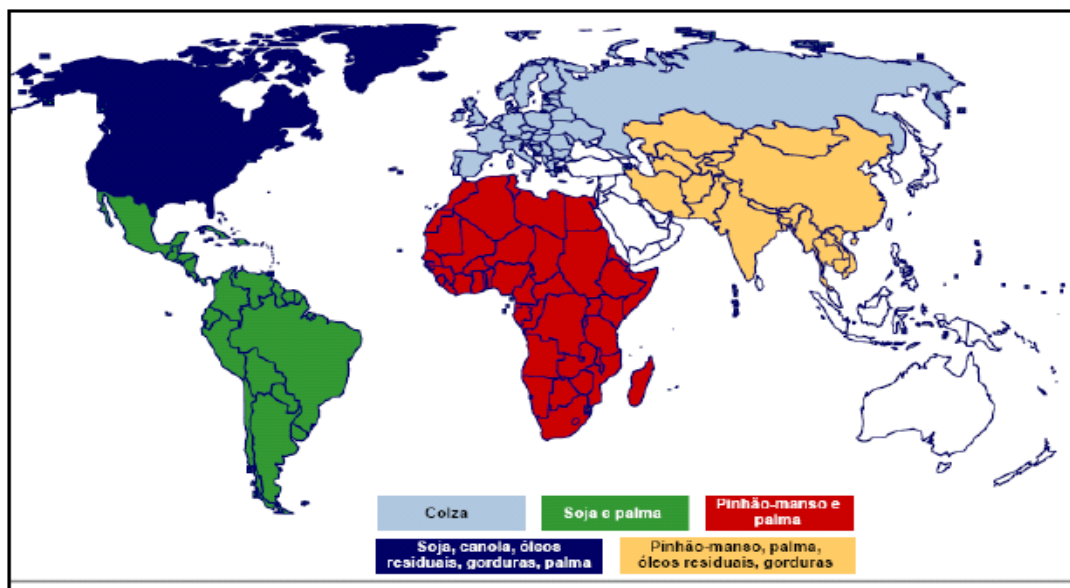


Figura 3.1 - Principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel
[ENCARNAÇÃO, 2008]

As origens e processos de obtenção de matéria-prima para a produção de biodiesel podem ser classificados em quatro categorias, descritas a seguir.

Tabela 3.1 – Origens e processos de obtenção da matéria-prima para produção de biodiesel

Categorias			
Óleos e gorduras animais	Óleos e gorduras vegetais	Óleos residuais de frituras	Matérias gordas de esgotos
Origens			
Matadouros / frigoríficos	Agriculturas temporárias	Cocções comerciais	Águas residuais das
Curtumes	e permanentes	e industriais	cidades e de certas indústrias
Obtenção			
Extração com água e vapor	Extração mecânica	Acumulações e colectas	Processos em fase de pesquisa e desenvolvimento
	Extração com solvente		
	Extração mista		

[CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003]

No caso da biomassa rica em óleo vegetal, o primeiro passo é a obtenção do óleo que pode ser feita por meio de extracção mecânica (esmagamento), extracção por solvente e/ou extracção mista. A selecção da forma de extracção do óleo depende da capacidade produtiva e do teor de óleo encontrado na biomassa.

No caso de óleos residuais, assim como no caso dos óleos e gorduras animais, a extracção do óleo é feita com água e vapor [PARENTE, 2003]. O processamento das matérias gordas de esgoto ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento, porém também é necessário um processo de extracção de gordura, sendo que este pode ser feito com solvente.

Posteriormente à extracção do óleo e antes de iniciar a reacção química, é necessário uma preparação da matéria-prima para que esta tenha o mínimo de acidez e humidade. Para tal, esta é submetida a um processo de neutralização, por meio de lavagem com solução alcalina de hidróxido de potássio ou sódio, seguindo-se de operação de secagem e desumidificação.

3.3. PROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Um processo químico é qualquer operação ou conjunto de operações coordenadas que causam uma transformação física ou química num material ou mistura de materiais. O objectivo dos processos químicos é a obtenção de produtos desejados a partir de matérias-primas seleccionadas ou disponíveis. O estudo dos processos químicos inclui conhecimentos necessários para realização da reacção, tanto em escala laboratorial quanto industrial, dos quais se destacam: balanço de massa, balanço de energia, estudo cinético e das propriedades físicas e químicas dos intervenientes da reacção, optimização do processo, etc. [SILVA, 2006]. Os processos mais investigados para a produção do biodiesel a partir de óleos vegetais são a pirólise, a micro-emulsificação e a transesterificação. No entanto, existe um quarto processo que consiste no uso directo dos óleos vegetais (processo utilizado por Rudolf Diesel) que não será abordado devido à sua simplicidade e pelas suas desvantagens em relação à sua utilização “in natura”, nomeadamente a formação de depósito de carbono nos motores; entupimento dos filtros e dos bicos injectores; contaminação do óleo do motor entre outros factores que comprometem a durabilidade do mesmo, aumentando assim, os custos com manutenção [FERRARI ET AL., 2005; SHARMA ET AL., 2008].

3.3.1. PIRÓLISE

Pirólise é a conversão química causada pela aplicação de energia térmica, na presença de azoto ou de um gás inerte. Neste processo consegue-se provocar a quebra das moléculas em moléculas mais pequenas. Na figura seguinte, é apresentado o mecanismo da decomposição térmica dos triglicerídeos.

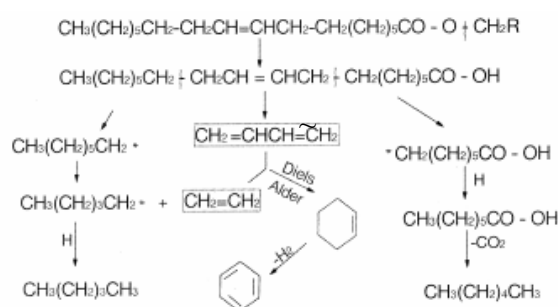


Figura 3.2 – Mecanismo de decomposição térmica (pirólise) dos triglicerídeos [SCHWAB ET AL., 1988]

Os produtos são quimicamente semelhantes aos combustíveis obtidos por pirólise de produtos petrolíferos. No entanto do equipamento necessário para efectuar a pirólise é bastante dispendioso e as produções obtidas são modestas. A pirólise dos triglicerídeos produz diferentes tipos de compostos, incluindo alcanos, alcenos, alcadienos, ácidos carbonílicos e aromáticos, dependendo da fonte do óleo vegetal decomposto.

No entanto, apesar de os óleos vegetais pirolisados possuírem baixa viscosidade, elevado número de cetano, corrosão ao cobre satisfatórios e concentrações aceitáveis de enxofre, água e sedimentos, são inaceitáveis os níveis de cinzas, resíduos de carbono e ponto de fluxão [SHARMA ET AL., 2008]. Além disso, a decomposição pirolítica consome uma quantidade de energia superior à quantidade de energia gerada pela queima do biodiesel resultante, devido às elevadas temperaturas exigidas no processo termo-catalítico, o que o torna, no actual estágio tecnológico, uma rota inviável [CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003].

3.3.2. MICROEMULSÕES

O uso de microemulsões com solventes como metanol, etanol e 1-butanol é outro processo que tem sido estudado com o objectivo de resolver o problema da viscosidade dos óleos vegetais [SCHWAB ET AL., 1987]. Microemulsões são dispersões isotrópicas, termodinamicamente estáveis, formadas por óleo, água, surfactante e geralmente uma molécula pequena anfifílica, chamada cosurfactante [SCHWAB ET AL., 1987]. Como combustíveis possuem vantagens relacionadas com a utilização de fontes renováveis, a diminuição da viscosidade e a redução na fuligem com consequente diminuição da emissão de gases.

ZIEJEUSKI ET AL., (1984), prepararam uma emulsão de 53,3 % (v/v) de óleo de girassol, 13,3 % (v/v) de etanol e 33,4 % (v/v) de 1-butanol. Esta emulsão não-iónica apresentou viscosidade de $6,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 40 °C, número de cetano de 25, 0,01 % de enxofre e 0,01 % ácidos gordos livres e cinzas inferior a 0,01 % (m/m). A viscosidade obtida foi ainda menor quando se aumentou a concentração de 1-butanol. SCHWAB ET AL. (1987), reportaram que o 2-octanol foi efectivo na solubilização micelar de metanol

em trioleína e óleo de soja. Contudo, foram observados, em escala laboratorial, depósitos de carbono e aumento da viscosidade [MACEDO, 2003].

Nas microemulsões avaliadas em FERREIRA (2008), mostrou-se que propriedades como viscosidade, massa específica, corrosividade, entre outras, variam com a composição da microemulsão, particularmente, viscosidades menores são obtidas com maiores teores de água. Com o emprego de biomassa tais como óleo de babaçu e soja, sabão de coco, babaçu, e biodiesel de babaçu e soja, foi possível a obtenção de microemulsões com potencial para atender os requisitos de utilização como combustível. Os resultados mostraram, em princípio, que todos os sistemas podem vir a atender as especificações de uso como combustíveis e que a microemulsão constituída de água/biodiesel de babaçu etílico/sabão de coco babaçu/etanol na razão C/T = 10, apresentou-se como o melhor sistema, por ter uma viscosidade e corrosividade ao cobre, próximas do limite aceitável para diesel, e ainda não apresentar traços de enxofre, e ter uma combustão completa, ou seja, não produzindo resíduos após degradação térmica.

3.3.3. TRANSESTERIFICAÇÃO

A reacção química, usualmente denominada de transesterificação é a etapa de conversão do óleo ou gordura nos ésteres metílicos ou etílicos de ácidos gordos que constituem o biodiesel.

O processo global de transesterificação de óleos vegetais e gorduras é uma sequência de três reacções reversíveis e consecutivas, em que os monoglicerídeos e os diglicerídeos são os intermediários, conforme apresentada na Figura 3.3.

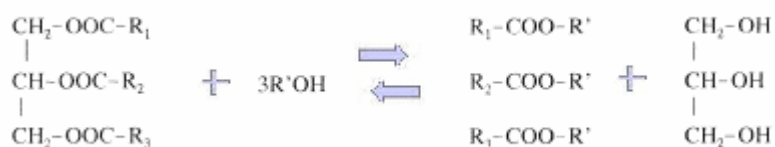


Figura 3.3 - Transesterificação de triglicerídeos

Nesta reacção, e de acordo com as relações estequiométricas, são necessários 3 moles de álcool por cada mol de triglicerídeo. No entanto, em termos práticos, é sempre utilizado um excesso de álcool de modo a aumentar o rendimento de conversão em ésteres (deslocar a reacção para o lado dos produtos de acordo com o princípio de Le Chatelier) e permitir a separação do glicerol formado [MA, 1999].

Contudo, é necessário ter em conta que apesar de ser essencial a presença de quantidade suficiente de metanol durante o processo de transesterificação para quebrar as ligações glicerina - ácidos gordos, o seu excesso deve ser evitado uma vez que aumentando a razão molar metanol / óleo acima de 6 :1, o processo de separação do éster é mais complexo, aumentando os custos de produção [SHARMA ET AL., 2008].

Na Figura 3.4 é apresentada a reacção de transesterificação em etapas, aplicada à obtenção do biodiesel. Esta reacção, desta forma apresentada, é aplicada à obtenção do biodiesel na rota metílica.

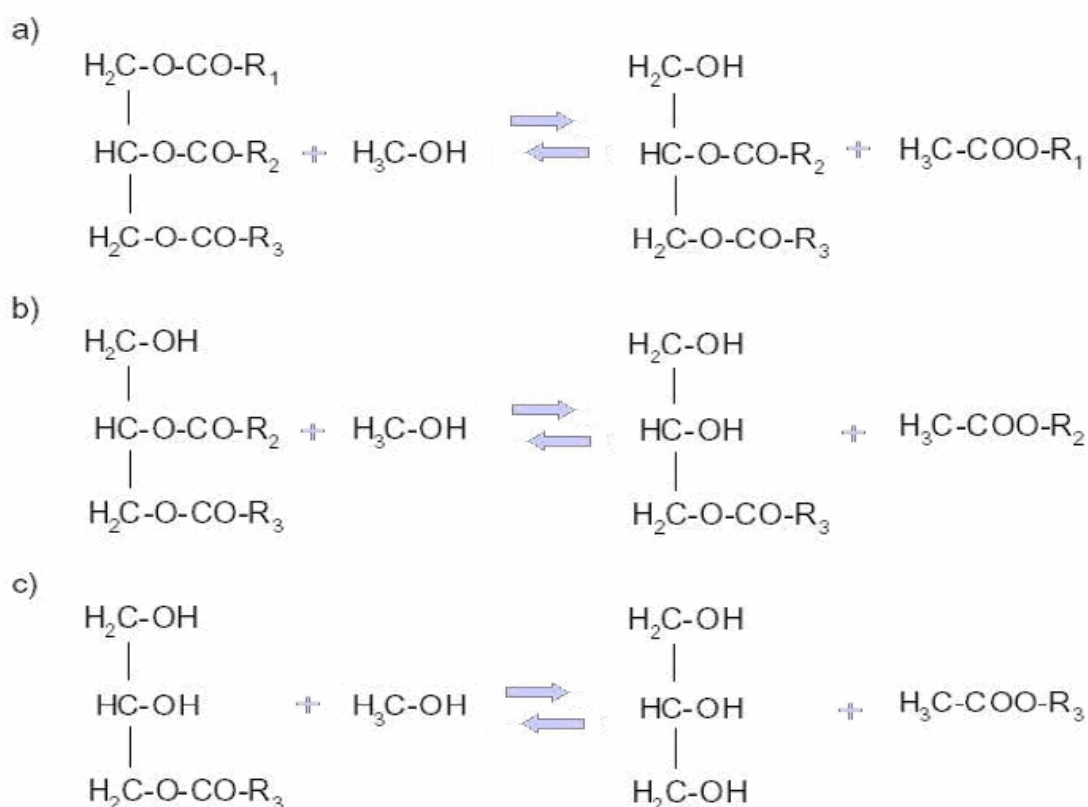


Figura 3.4 - Esquema da reacção de transesterificação em etapas

A literatura aponta que a reacção de transesterificação sofre os efeitos das variações causadas pelo tipo de álcool, pelas proporções necessárias de álcool, por diferentes catalisadores, pela quantidade de catalisador, pela agitação da mistura, pela temperatura e pelo tempo de duração da reacção. É importante referir que apenas os álcoois simples tais como o metanol, etanol, propanol, butanol e o álcool amílico, podem ser utilizados na transesterificação [DANTAS, 2006]. Dentre estes, o metanol e o etanol são os mais utilizados, sendo a utilização de metanol na transesterificação geralmente preferida por razões económicas [SHARMA ET AL., 2008] e por razões relacionadas com o processo, sendo que os ésteres (etílicos ou metílicos) têm características físico-químicas muito similares ao óleo diesel derivado do petróleo.

De facto, o metanol é mais barato que o etanol é isento de água e possui uma cadeia mais curta e uma maior polaridade, sendo que esta última propriedade torna mais fácil a separação entre os ésteres e a glicerina.

Contudo, a utilização de etanol pode ser atractiva do ponto de vista ambiental, quando este álcool é produzido a partir de uma fonte renovável e, ao contrário do metanol, não levanta tantas preocupações relacionadas com a toxicidade. No entanto, a utilização de etanol implica que este esteja isento de água [DANTAS, 2006]. A escolha do etanol torna-se particularmente interessante para o caso de países produtores deste tipo de álcool, uma vez que existe uma infra-estrutura de produção e fornecimento deste produto, para além da vantagem ambiental daí recorrente, visto que a sua obtenção é proveniente exclusivamente de biomassa, por processamento de amidos tais como cana-de-açúcar, milho, etc.

No entanto, é importante considerar que o metanol pode ser produzido a partir da biomassa, fazendo com que essa suposta desvantagem ecológica, desapareça [PARENTE, 2003]. Sob o ponto de vista objectivo, as duas reacções são equivalentes, pois tanto os ésteres metílicos quanto os etílicos são considerados como biodiesel e capazes de substituir o óleo diesel. A Tabela 3.2 apresenta sinteticamente as características da produção considerando os processos com rotas metílica e etílica [PARENTE, 2003].

Tabela 3.2 - Características da produção em função da rota de processo

Características da produção	Rota do Processo	
	Metilica	Etílica
Quantidade consumida de álcool por 1000 litros de biodiesel	90 kg	130 kg
Excesso recomendado de álcool, recuperável por destilação, após reacção	100 %	650 %
Temperatura recomendada de reacção	60 °C	85 °C
Tempo de reacção	45 min	90 min

[PARENTE, 2003]

Num estudo desenvolvido por LAPUERTA ET AL., (2008), foram testados biodiesel metílico e biodiesel etílico, obtidos a partir de óleo de fritura usado. Estes biocombustíveis foram testados num motor convencional de injeção a diesel, na forma pura e misturados com gasóleo (30 % e 70 % de biodiesel, em volume). Verificou-se que o tipo de álcool usado no processo de produção de biodiesel, tem um impacto significativo nas emissões de hidrocarbonetos e na composição de partículas. Quanto mais volátil for o álcool, maiores serão as emissões de hidrocarbonetos e maior será a fracção orgânica volátil da matéria particulada.

Como referido anteriormente, a reacção de transesterificação pode ser conduzida com catalisadores ácidos ou básicos, sendo que estes podem ser homogéneos ou heterogéneos. O emprego da catálise básica homogénea é preferível em processos industriais, pois a reacção ocorre de maneira mais rápida na presença de um catalisador alcalino do que na presença da mesma quantidade de catalisador ácido, observando-se maior rendimento e selectividade, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos [FERRARI ET AL., 2005]. Os catalisadores mais eficientes são KOH e NaOH [FERRARI ET AL., 2005]. Geralmente, o NaOH é muito mais barato do que o KOH, porém, é muito difícil decidir genericamente qual dos dois catalisadores deve ser o utilizado [PARENTE, 2003].

Embora a transesterificação de óleos vegetais na presença de catalisadores alcalinos homogéneos seja uma reacção relativamente simples, existe o inconveniente de produzir sabões, o que diminui o rendimento da transesterificação e dificulta os processos de separação do glicerol e a purificação do biodiesel. Sendo assim, o uso de catalisadores homogéneos em reacções de transesterificação envolve um número maior

de etapas na produção do biodiesel, elevando os custos e a produção de resíduos provenientes da purificação do produto e recuperação da glicerina [VICENTE ET AL., 2004].

No entanto, alguns óleos e algumas gorduras referidas anteriormente, como matéria-prima para a produção de biodiesel, têm altos teores de ácidos gordos livres. Refira-se, a título de exemplo, os óleos residuais de frituras, gordura animal e matéria gorda proveniente de esgoto doméstico, bem como determinados óleos de elevada acidez.

Nesse contexto, os catalisadores heterogéneos ácidos, que promovam simultaneamente reacções de alcoólise de triglicerídeos e de esterificação dos ácidos gordos livres, apresentam-se como substitutos promissores dos catalisadores homogéneos básicos. [SCHUCHARDT ET AL., 2006]. Além disso, tais catalisadores apresentam as vantagens inerentes à catálise heterogénea, das quais se destacam a redução significativa do número de etapas de purificação dos produtos, bem como a possibilidade desses catalisadores serem reutilizados viabilizando a produção do biocombustível por processo contínuo com reactores de leito fixo.

Recentemente, foi criada uma patente, que descreve o processo de produção de biodiesel utilizando-se uma série de catalisadores heterogéneos ácidos a base de fósforo e metais trivalentes. A grande eficiência apresentada por esses catalisadores tanto na rota metílica quanto na etílica pode torná-los de grande interesse. A maior vantagem desse processo seria a possibilidade de utilizar-se álcool etílico nas reacções de transesterificação de óleos vegetais. Além de apresentarem altos rendimentos em ésteres, o processo de separação das fases éster (metílico ou etílico) /glicerol mostrou-se relativamente simples, já que não ocorre formação de emulsões, devido à extracção dos catalisadores sólidos por filtração. Outra grande vantagem é que esses catalisadores são altamente activos nas reacções de transesterificação de óleos vegetais e simultaneamente, nas reacções de esterificação dos ácidos gordos livres, presentes nesses óleos. Desta forma, a produção de biodiesel a partir de oleaginosas como o azeite de dendém e gordura animal, que apresentam elevados índices de acidez, podem atingir altas conversões em éster. Numa reacção de duração de 1 hora, a 175 °C, razão molar óleo/álcool 1:12 e 5 % da massa de catalisador em relação à massa do óleo foram

obtidas conversões em ésteres metílicos e etílicos superiores a 95 % [SCHUCHARDT ET AL., 2006].

Para além dos parâmetros referidos anteriormente, existem outros igualmente importantes para o processo de transesterificação, tais como o teor de água existente na matéria prima, temperatura de reacção, agitação do reaktor, etc [SHARMA ET AL., 2008].

KUSDIANA & SAKA, (2004), observaram que a água poderia representar um efeito negativo maior do que presença de ácidos gordos livres e, consequentemente, as matérias primas devem ser isentas de água. ROMANO (1982) e CANAKCI & VAN GERPEN (1999), consideram que mesmo uma pequena quantidade de água (0,1 %) na reacção de transesterificação diminui a conversão do éster a partir de óleo vegetal [SHARMA ET AL., 2008].

A temperatura de reacção utilizada pelos investigadores durante diferentes etapas, variam entre 318 e 338 K. A temperatura de ebulição do metanol é 333,7 K, pelo que temperaturas mais elevadas irão queimar o álcool, resultando em rendimentos bastante inferiores.

LEUNG ET AL., (2006), mostraram que a temperatura mais elevada do que 323 K teve um impacto negativo sobre o rendimento da reacção de óleo vegetal puro, mas teve um efeito positivo a reacção com óleos usados, com viscosidades superior [SHARMA ET AL., 2008].

A agitação pode desempenhar um papel importante no rendimento da produção de biodiesel. MEHER ET AL., (2006), Investigaram a reacção de transesterificação a 180, 360 e 600 rotações por minuto (rpm) e comunicaram a reacção incompleta a 180 rpm. O rendimento do éster metílico foi o mesmo com 360 e 600 rpm. SHARMA & SINGH (2007), relataram que modo de agitação também desempenha um papel vital na transesterificação. A produção de biodiesel aumentou de 85 % para 89,5 % quando o agitador magnético (1000 rpm) foi substituído por um agitador mecânico (1100 rpm). Uma explicação plausível para este facto, pode ser a mistura mais profunda dos reagentes, obtida com o agitador mecânico [SHARMA ET AL., 2008].

O produto da reacção de transesterificação pode ser dividido em duas fases: a fase pesada, composta de uma mistura de glicerina, álcool, água e impurezas, e a fase leve composta pelo éster (metílico ou etílico), álcool, água e impurezas. É possível que se encontrem vestígios de glicerina na fase leve e de éster na fase pesada.

A separação de fases é uma etapa importante da produção de biodiesel. O processo de purificação dos produtos decorrentes da sua produção pode ser tecnicamente difícil e pode elevar substancialmente os custos de produção. A pureza do biodiesel deve ser alta e de acordo com a especificação da União Europeia, o teor de ácidos gordos livres, álcool, glicerina e água devem ser mínimos de modo que a pureza do biodiesel seja maior que 96,5 % [FERRARI ET AL., 2004].

A fase pesada é encaminhada para o processo de recuperação do álcool, recorrendo-se para tal, a um processo de evaporação. A mistura álcool e água que vaporiza deste processo é encaminhada para o processo de desidratação do álcool, o que é feito por destilação. A glicerina bruta é encaminhada para o processo de destilação da glicerina.

Também por evaporação elimina-se a mistura álcool e água do éster, sendo este remetido para o processo de purificação.

A desidratação da mistura metanol com água é muito mais fácil que a da mistura etanol com água. Isso ocorre pois a diferença de volatilidade entre o metanol e a água é muito grande e não existe azeotropismo para dificultar a completa separação, o que não ocorre com o etanol.

Uma vez que tenha passado pelo processo de recuperação do álcool, o éster deve sofrer um processo de purificação, onde é lavado por centrifugação e desumidificados, para que as suas características se enquadrem perfeitamente nas especificações desejadas. Esta é uma fase bastante crítica e deve ser rigorosamente controlada, para que sejam eliminadas todas as impurezas, principalmente resíduos de glicerina.

Para este processo, as unidades industriais de pequeno porte geralmente utilizam reactores de carga mas a maioria das unidades de grande porte (acima de 4 milhões de litros/ano) utiliza processos de fluxo contínuo envolvendo reactores de leito agitado (RCLA) ou reactores de fluxo pistão (*plug flow*). A reacção é muitas vezes efectuada em duas etapas em que 80 % do álcool e do catalisador são adicionados no primeiro estágio RCLA. Depois, o produto derivado deste reactor passa por um processo de remoção da glicerina formada na reacção, antes de dar entrada no segundo reactor RCLA. Os 20 % remanescentes de álcool e catalisador são adicionados neste segundo reactor. Este sistema dá condições de se atingir uma reacção completa com o potencial

de poder empregar menos álcool que os processos realizados numa única etapa. [KNOTHE ET AL., 2006].

PREDJEVIĆ, (2008), investigou três processos de purificação do biodiesel, após a reacção de transesterificação: lavagem com sílica gel; lavagem com 5 % de ácido fosfórico e lavagem com água destilada quente. Os resultados mostraram que com os tratamentos com sílica gel e com ácido fosfórico obtêm-se maiores rendimentos (cerca de 92 %), em detrimento do rendimento obtido com água destilada quente (sensivelmente 89 %), pelo que os primeiros procedimentos são considerados mais adequados para a purificação do biodiesel obtido a partir da transesterificação alcalina de óleos de fritura usados.

A glicerina bruta, obtida como subproduto do processo de transesterificação, já é um produto comercializável, porém, o mercado valoriza mais a glicerina pura, o que é feito por destilação a vácuo, resultando num produto transparente e límpido, denominado comercialmente de glicerina destilada e cujas aplicações destacam-se na indústria química e farmacêutica.

O produto de calda da destilação, ajustável na faixa de 10 – 15 % do peso da glicerina bruta, que pode ser denominado de “glicerina residual”, ainda encontra possíveis aplicações, as quais estão a ser objecto de estudo [PARENTE, 2003].

Uma vez produzido, o processo de distribuição e uso final do biodiesel segue princípios bastante semelhantes ao do gasóleo. Se for utilizado misturado ao gasóleo, deverá ser disponibilizado aos agentes que se encarregarão de misturá-lo ao óleo diesel na proporção especificada. Se for utilizado puro, atendendo a nichos específicos de mercado, deverá dispor-se de tanques para o respectivo armazenamento nos revendedores e nos postos de serviço. Neste caso, deve haver um cuidado especial quanto à contaminação por água, que pode acelerar a degradação do produto, nomeadamente por oxidação do mesmo.

Pode-se estabelecer um fluxograma do processo de produção do biodiesel a partir de óleos e gorduras ricas em triglicerídeos, principal matéria-prima para obtenção deste combustível, como pode ser visto na Figura 3.5.

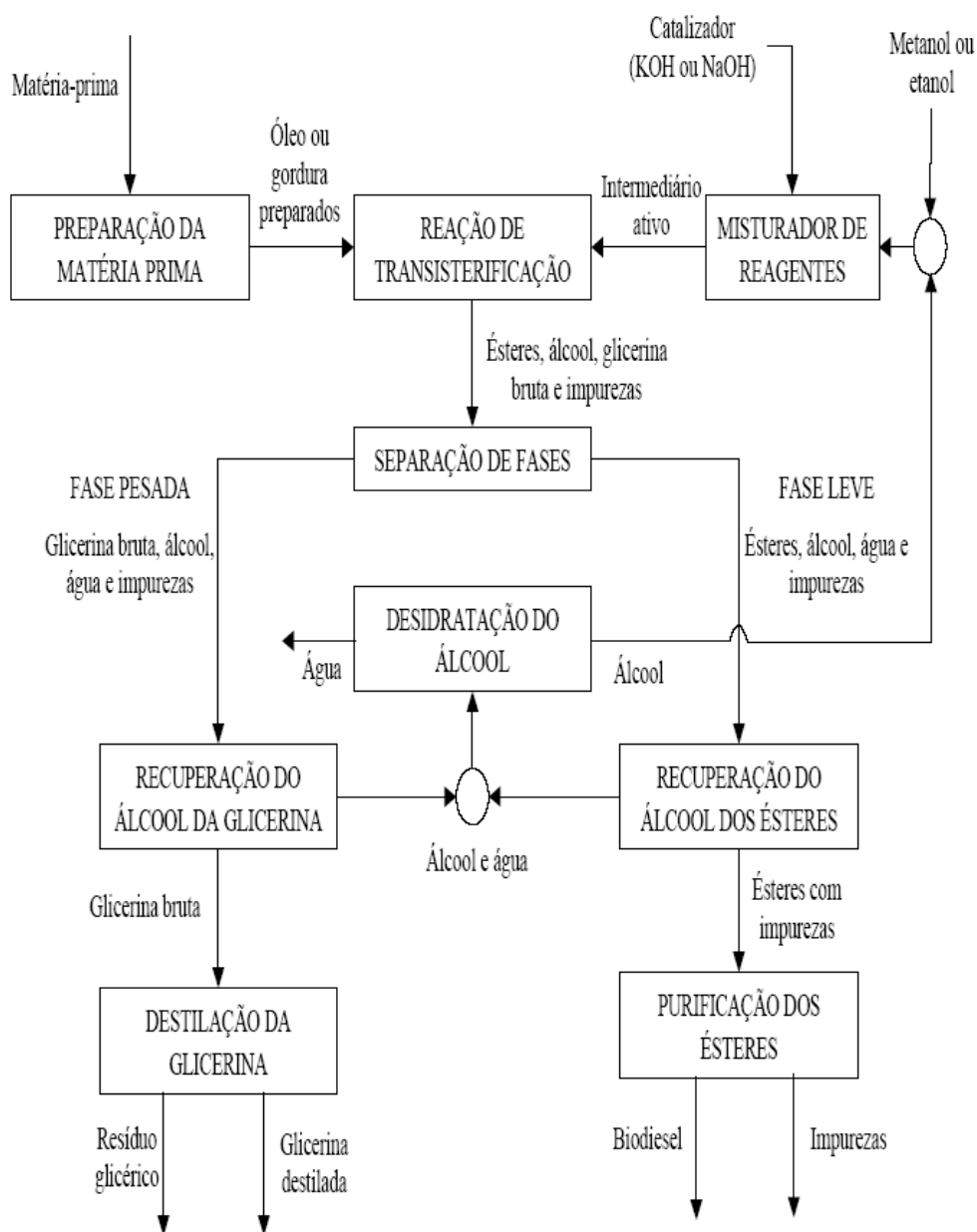


Figura 3.5 - Processo de produção de biodiesel.
 [PARENTE, 2003]

3.4. MECANISMOS PARA A PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Tendo em conta o processo de produção de biodiesel por transesterificação (processo mais utilizado), há que ter em conta os diferentes mecanismos em que o referido processo pode ocorrer, sendo que estes mecanismos diferem principalmente no tipo de catálise.

Destes mecanismos destaca-se a transesterificação por catálise básica, devido à sua utilização mais frequente. No entanto, existem outros mecanismos que permitem a produção de biodiesel e que embora menos utilizados, se mostram bastante interessantes, mediante determinadas características da matéria-prima utilizada. Assim, torna-se pertinente fazer uma breve abordagem a estes mecanismos, com referência às suas principais vantagens e desvantagens, bem como as situações em que apresentam aplicação interessante. Nesta secção é também abordada a esterificação, pelo facto de ser um processo “análogo” ao da transesterificação, sendo desta forma encarado como mecanismo.

3.4.1. TRANSESTERIFICAÇÃO POR CATÁLISE BÁSICA

A transesterificação por catálise básica é o mecanismo mais utilizado para a produção de biodiesel, pois apresenta normalmente taxas de conversão bastante elevadas (98 %). Este mecanismo, ocorre em dois passos. Inicialmente dá-se a formação de metóxido de sódio através da reacção de um álcool (metanol ou etanol) com uma base forte (hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio). As condições reaccionais mais comuns são uma temperatura de reacção de 60° C e uma pressão de 1 atm durante cerca de 20 minutos. É fundamental que ocorra uma boa formação de metóxido de sódio, uma vez que esta reduz significativamente a formação de sabão, resultante da reacção secundária da saponificação. No segundo passo ocorre a transesterificação propriamente dita, onde o metóxido de sódio reage com os triglicerídeos. As condições mais propícias para esta reacção são uma temperatura entre os 80-90 °C e uma pressão de 1,5 atm.

Os produtos da reacção são basicamente o biodiesel e a glicerina, que irão formar duas fases distintas. A glicerina, mais densa, arrasta consigo a maioria das impurezas existentes, tal como os sais, o sabão, assim como o metanol e metóxido de sódio que não reagiu. Na fase de biodiesel ficarão as moléculas de triglicerídeos não convertidas (2 % da alimentação de triglicerídeos) ou semi-convertidas tais como os monoglicerídeos e diglicerídeos, bem como a água e as impurezas anteriores sendo que estas últimas, se apresentam em quantidades vestigiais.

3.4.2. TRANSESTERIFICAÇÃO POR CATÁLISE ÁCIDA

Quando a transesterificação é catalisada por um ácido, a matéria prima, o catalisador ácido e o álcool são adicionados simultaneamente, visto que o metanol não reage com o ácido. A reacção ocorre idealmente a uma temperatura reaccional de 60°C e à pressão atmosférica. A principal vantagem da transesterificação em meio ácido é evitar a formação de sabão, (a produção de sabão diminui a quantidade de ésteres e dificulta a separação entre o glicerol e os ésteres), bem como permitir a reacção por esterificação dos ácidos gordos livres presentes na fonte de triglicerídeos. Desta forma, este método apresenta excelentes resultados para óleos que contenham grandes quantidades de ácidos gordos livres, já que os mesmos também são convertidos em biodiesel. No entanto, a reacção é bastante mais lenta quando comparada com a transesterificação básica (aproximadamente seis vezes mais lenta), o que o torna num método muito menos utilizado.

WANG ET AL., (2006), compararam o processo de transesterificação por catálise ácida (com utilização de ácido sulfúrico), com um processo de catálise em dois passos, para a produção de biodiesel a partir de resíduos de óleos vegetais provenientes de restaurantes chineses que apresentavam um número de acidez de $75,92 \pm 0,04$ mgKOH/g. As amostras de óleos foram misturadas com metanol e catalisadas a 95 °C, a diferentes tempos de reacção. A recuperação do metanol procedeu-se sob vácuo (10 ± 1 mmHg) a 50 °C com um evaporador rotativo. No novo processo, o biodiesel foi produzido através de uma reacção catalisada por sulfato de ferro (2,0 %), seguida de uma reacção de transesterificação por catálise alcalina com 1,0 % de hidróxido de potássio.

A conversão dos ácidos gordos livres em biodiesel no novo processo foi de 97,22 % para um tempo de reacção de 4 h, razão molar de metanol de 10:1, enquanto na catálise ácida convencional foi de 90 % em 10 h de tempo de reacção e com uma razão molar de metano, de 20:1.

Conclui-se então que a actividade catalisadora do sulfato de ferro é bastante superior, com a vantagem que este novo processo não envolve efluentes ácidas, tem uma elevada eficiência, apresenta baixo custo do equipamento e com fácil recuperação do catalisador.

3.4.3. ESTERIFICAÇÃO

A esterificação consiste na obtenção de ésteres a partir da reacção entre um ácido gordo e um álcool (metanol ou etanol), com formação de água como subproduto.

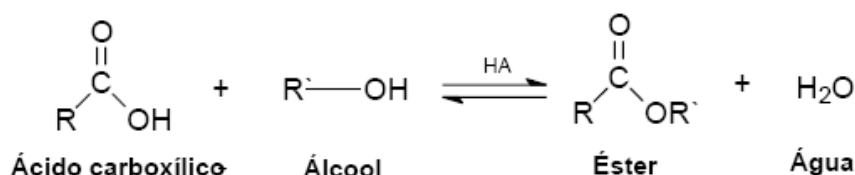


Figura 3.6 – Reacção de esterificação

Geralmente, a reacção de esterificação é catalisada por ácidos inorgânicos como o ácido sulfúrico. A reacção de esterificação é reversível e o ácido catalisa tanto a reacção directa (a esterificação) como a reacção inversa (a hidrólise do éster). Assim, para deslocar o equilíbrio em favor dos produtos podem-se utilizar dois métodos: remoção de um dos produtos, preferencialmente a água, ou utilizar um excesso de um dos reagentes, como o álcool.

O processo esterificação ocorre preferencialmente com álcoois de baixo peso molecular, sendo metanol o mais usado, essencialmente por factores económicos. No entanto, quando é utilizado etanol, este não necessita ser anidro uma vez que geralmente a água pode ser retirada do sistema reaccional.

No entanto, há uma grande dificuldade de encontrar na literatura dados termodinâmicos para a esterificação com os ácidos gordos, de alto peso molecular, e dos ésteres envolvidos nessas reacções, importantes para a produção do biodiesel [FABIANO ET AL., 2007].

Este processo difere da transesterificação, uma vez que a matéria-prima utilizada são ácidos gordos ao invés de triglicerídeos, o que a torna mais vantajosa devido à possibilidade do uso de matérias-primas de baixo valor agregado (tais como resíduos e borras ácidas) e a não formação de glicerina. Difere do processo de hidroesterificação, processo referido posteriormente nesta tese, por não necessitar da etapa de hidrólise, já que a matéria prima já é ácido gordo.

3.4.4. SAPONIFICAÇÃO SEGUIDA DE ESTERIFICAÇÃO

Como alternativa ao processo de transesterificação por catálise ácida, existe a saponificação seguida de esterificação, que consiste inicialmente na transformação dos triglicerídeos em ácidos gordos livres, através do processo de saponificação, sendo estes, posteriormente sujeitos a um processo de esterificação. A principal vantagem da utilização deste processo é a possibilidade de não só converter triglicerídeos como também os ácidos gordos livres existentes, permitindo assim a utilização de óleos com altos valores de ácidos gordos livres. A principal desvantagem, resulta do processo consistir de uma basificação seguida de uma acidificação, o que resulta na presença de um elevado teor de sais no produto final, reflectindo-se no acréscimo de custos com o processo, nomeadamente em catalisadores e com os gastos associados ao maior número de operações de separação/purificação necessárias.

3.4.5. ESTERIFICAÇÃO ÁCIDA SEGUIDA DE TRANSESTERIFICAÇÃO BÁSICA

O primeiro passo deste mecanismo consiste em acidificar o meio reaccional na presença do metanol, de modo a ocorrer uma esterificação ácida. Seguidamente, após remoção do metanol por decantação (arrastando-se assim parte do ácido), adiciona-se uma base forte de forma a ocorrer a transesterificação básica. O facto de se retirar o metanol por decantação e este arrastar parte do ácido, permite a esta operação utilizar

uma menor quantidade de base e uma consequente menor formação de sais. Este processo permite uma grande flexibilidade em relação à matéria-prima, permitindo a utilização de uma vasta gama de óleos. Tal como em diversos dos processos anteriormente referidos, a principal desvantagem da esterificação ácida, seguida de transesterificação básica, é a morosidade com que a reacção ocorre, bem como a complexidade do processo.

3.4.6. TRANSESTERIFICAÇÃO COM ADIÇÃO DE CO-SOLVENTES

A adição de co-solventes na reacção de transesterificação, permite a conversão simultânea dos ácidos gordos livres e dos triglicéridos. São utilizados como solventes o hexano, o metil-ter-butil éter (MTBE), o tetrahidrofurano (THF), que tornam o metanol, os ácidos gordos e os triglicerídeos completamente miscíveis e permitem assim acelerar a reacção. Contudo, a utilização de solventes requer depois que seja efectuada a separação da glicerina, do metanol e do co-solvente do produto final desejado, os ésteres.

3.4.7. TRANSESTERIFICAÇÃO COM METANOL SUPERCRÍTICO

Actualmente, a transesterificação com metanol supercrítico tem sido considerada muito efectiva, produzindo uma conversão de mais de 95 % em apenas 4 minutos. As melhores condições para a reacção têm sido: temperatura de 350 graus Celsius, pressão de 30 MPa e razão entre metanol e óleo de 42:1 para um tempo de reacção de 240 segundos. O tratamento supercrítico de lipídeos com o solvente adequado, como o metanol, depende da relação entre temperatura, pressão e propriedades termofísicas tais como constante dielétrica, viscosidade, massa específica e polaridade [www.camara.gov.br].

A Tabela 3.3 estabelece uma comparação entre a produção supercrítica com metanol e o método de transesterificação convencional.

Tabela 3.3 - Comparação entre a transesterificação convencional e a supercrítica

	Convencional	Supercrítica
Tempo de reacção	1- 6 h	0,067h
Condições da reacção	0,1 Mpa, 30- 65 °C	35 Mpa, 350°C
Catalisador	Ácido ou Básico	Sem catalisador
Ácidos gordos livres	Produtos Saponificados	Éster metílico
Produção	97 %	98,50 %
Remoção para purificação	Metanol, catalisador e produtos saponificados	Metanol

[<http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/pdf/Biodiesel03.pdf>]
(consultado a 20/3/2008)

WEST ET AL., (2008), simularam no HYSYS quatro processos em contínuo de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais usados. Em dois processos, foi utilizada a catálise homogénea alcalina e ácida. Nos dois restantes processos, foi considerada a catálise ácida heterogénea e a transesterificação supercrítica. Todos os processos em estudo produziram biodiesel de elevada pureza, sendo que os processos heterogéneo e supercrítico mostraram-se menos complexos e com um número inferior de unidades operacionais. Do resultado da análise económica destes processos concluiu-se que o processo com catálise ácida heterogénea implica um capital de investimento e custos de produção inferiores, sendo o único processo com taxa de retorno positivo, após impostos.

3.4.8. PROCESSOS CATALISADOS POR LÍPASES

Este tipo de processos continua em estudo. De facto, a utilização de enzimas no processo de transesterificação já foi testada em alguns óleos e gorduras, mas a sua utilização em processos industriais ainda não é possível, principalmente pelo elevado custo das enzimas [RANGANATHAN ET AL., 2008]. No entanto, a utilização a transesterificação enzimática já se demonstrou vantajosa pela obtenção de um produto de elevada pureza e pela facilidade na separação da glicerina [RANGANATHAN ET AL., 2008].

Adicionalmente, em termos de análise de ciclo de vida, a produção enzimática de biodiesel mostra-se ambientalmente mais “amigável”. HARDING ET AL., (2008), desenvolveram um estudo de análise de ciclo de vida para comparar a catálise inorgânica com a biológica do processo de transesterificação para a produção de biodiesel. A rota inorgânica, utilizando hidróxido de sódio como catalisador, foi comparada com a catálise enzimática (biológica), através da utilização da lipase produzida pela *Candida antarctica*. Neste estudo, foram investigados cinco diagramas de processo de produção de biodiesel através da transesterificação do óleo de colza, usando metanol ou etanol e o efeito da eficiência da recuperação do álcool. Concluiu-se que a catálise enzimática é ambientalmente mais favorável, tendo-se constatado melhorias em todas as categorias de impacto, tais como aquecimento global, acidificação sendo verificado uma redução de 5 % na oxidação fotoquímica. Estes resultados são devido, principalmente à menor necessidade de vapor para aquecimento, no processo biológico.

Contudo, os rendimentos obtidos na reacção e o tempo que é necessário para que sejam atingidos esses rendimentos tornam o processo pouco atractivo em produção industrial, quando comparado com a catálise básica.

RANGANATHAN ET AL., (2008) indicam que a reutilização das enzimas (intracelular e extracelular) pela imobilização em partículas de suporte de biomassa adequadas, aumenta a eficiência do processo. No entanto, a actividade da enzima imobilizada é inibida pela presença do metanol e da glicerina, existentes na mistura da reacção. O uso de tert-butanol como solvente, a remoção contínua da glicerina e adição em passos do metanol, reduzem os efeitos de inibição, aumentando assim, a eficiência do processo.

As lipases catalisam uma série de diferentes reacções. Além de quebrar as ligações de éster de triacilgliceróis com o consumo de moléculas de água (hidrólise), as lipases são também capazes de catalisar a reacção reversa sob condições microaquosas, como por exemplo, a formação de ligações éster, a partir de um álcool e ácido carboxílico (síntese de éster). Estes dois processos básicos podem ser combinados numa sequência lógica para resultar em reacções de interesterificação (acidólise, alcoólise e transesterificação), dependendo dos reagentes de partida utilizados [CASTRO ET AL., 2002].

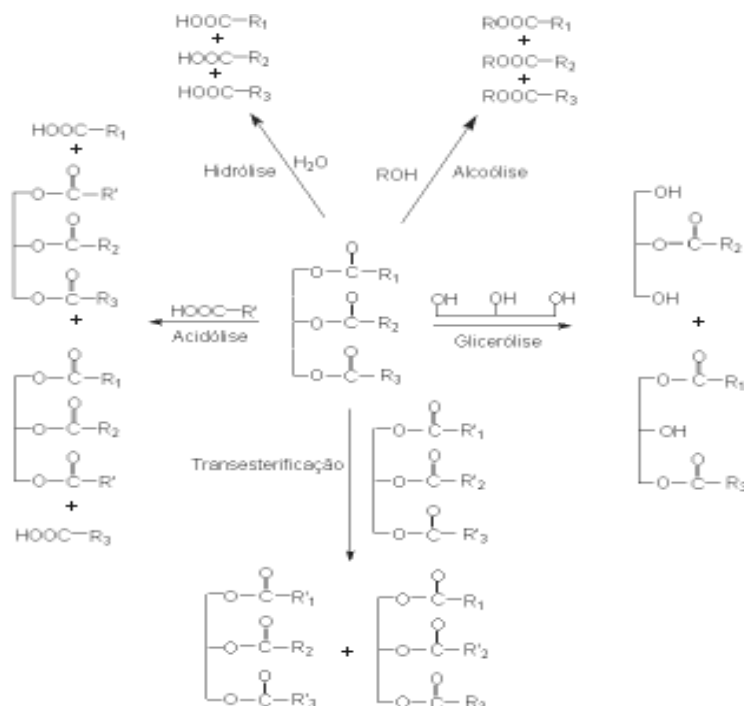


Figura 3.7 – Representação esquemática das reacções catalisadas por lipases

NELSON ET AL., (1996), foram os primeiros a estudar a alcoolise enzimática de triglicerídeos com o objectivo de produzir biodiesel. Quando a alcoolise de vários óleos e gorduras com metanol e etanol foi conduzida usando lipase imobilizada de *R. miceli* na presença de hexano, mais de 95 % dos triglicerídeos foram convertidos em metil ou etil ésteres. A metanolise de gordura de carne atingiu 65 % de conversão, sem adição de solventes orgânicos. Foi observado que, quanto maior a cadeia carbónica do álcool empregado, maior foi a conversão da gordura de carne [MACEDO, 2003].

Embora a transesterificação química, empregando catálise alcalina, resulte em altas taxas de conversão de triglicerídeos em seus respectivos ésteres, quando se trata de curtos tempos de reacção, existem alguns inconvenientes ou desvantagens das quais se destacam os altos gastos energéticos, a recuperação difícil e demorada do glicerol, a necessidade de remoção do catalisador e do tratamento da água alcalina residual do processo e os substratos/reagentes devem ter baixa concentração de água e ácidos gordos livres.

As lipases extracelulares e as intracelulares são também capazes de catalisar efectivamente a transesterificação de triglicerídeos em sistemas aquosos ou não-aquosos. Isto pode ser observado na Tabela 3.4, que compara qualitativamente a catálise

alcalina e enzimática em relação às características do substrato e dos produtos obtidos. Em particular, deve ser observado que a glicerina pode ser facilmente recuperada, sem processos complexos, e que os ácidos gordos livres nos óleos também são convertidos em seus ésteres correspondentes. Por outro lado, o custo de produção das lípases é significativamente maior do que dos catalisadores químicos.

Tabela 3.4 – Comparação entre catálise alcalina e catálise enzimática com lípases para a produção de biodiesel

	Catálise Alcalina	Catálise Enzimática
Temperatura de reacção	60 - 70 °C	30 - 40 °C
Ácidos gordos livres no óleo não refinado	Produtos Saponificados	Metil ésteres
Água na matéria-prima	Interferência na reacção	Sem influência
Rendimento de metil ésteres	Normal	Alto
Recuperação do glicerol	Difícil	Fácil
Purificação de metil ésteres	lavagens consecutivas	Nenhuma

Os principais resultados de vários estudos podem ser sintetizados da seguinte forma [www.bioteecnologia.com.br]:

- a) As lípases catalisam a alcóolise de triglicerídeos e as reacções ocorrem mais eficientemente se a cadeia carbónica for maior do que a do etanol e metanol;
- b) A alcóolise de metanol e etanol ocorre mais eficientemente na presença de solvente orgânico do que em meio aquoso;
- c) A não ser que a lipase seja imobilizada e permita a reutilização, o processo pode ser muito dispendioso;
- d) As vantagens ambientais do processo enzimático são evidentes: menor gasto energético com temperatura e pressão alta, mais fácil recuperação dos produtos e menor quantidade de glicerol como subproduto.

Desta forma, pode-se dizer que os estudos de transesterificação enzimática ainda são muito recentes, mas já demonstram o potencial desta tecnologia na transesterificação de óleos vegetais.

3.4.9. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ALGAS

Segundo a maior parte dos cientistas que estudam os biocombustíveis, não existe nenhuma cultura mágica utilizável como combustível capaz de resolver os problemas energéticos sem prejudicar o ambiente. No entanto, a maioria diz que as algas são as que mais se aproximam desse objectivo [NATIONAL GEOGRAPHIC, 2007]. As algas são a fonte uma das fontes mais promissoras para a produção de biodiesel podendo ser verdadeiramente competitiva e uma alternativa real aos combustíveis fósseis, económica e logisticamente.

Para substituir os combustíveis fósseis, seria necessário uma área vasta de colheitas, que possibilite fornecer o óleo vegetal para a produção da quantidade de biodiesel necessária. No entanto, não existe terra agrícola suficiente para tal. Assim quanto mais eficiente é uma planta em particular, melhor é de uma perspectiva dos biocombustíveis. Entre as plantas mais eficientes fotossinteticamente estão os vários tipos de algas. Algumas espécies das algas preenchem idealmente a produção de biodiesel (algumas têm índice de óleo de 50 %), e a taxas de crescimento extremamente rápidas. As quintas das algas poderiam também ser construídas para usar águas residuais, usando-as como meio nutritivo, fornecendo biorremediação, e após extracção do óleo pode ser usado como um fertilizante a biomassa, terminando o ciclo.

O inconveniente deste processo é o elevado custo, porque a cultura das algas necessita de fotobiorreactores, que têm um custo elevado. Assim é necessário investir no desenvolvimento de fotobiorreactores que possam formar este custo rentável, através de uma eficiência elevada.

Esta, contudo, parece ser a altura certa para a expansão das microalgas, cujas potencialidades até ao momento, tinham sido exploradas para a extracção de pigmentos e a alimentação humana e animal. As próprias petrolíferas podem obter benefícios no cultivo de microalgas, agora que serão obrigadas a introduzir dez por cento de biocombustível na gasolina e no gasóleo, pois tendo a obrigatoriedade de produzir biocombustíveis na mistura que distribuem, têm toda a vantagem em arranjar eles próprias matéria-prima.

Existem entre 20 a 30 mil espécies de algas no mundo, mas apenas cerca de 50 já foram estudadas e apenas cerca de dez são produzidas industrialmente, para variados

fins. Destas, só quatro ou cinco podem gerar um bom biodiesel. Para que seja rentável, as microalgas precisam de ter os indicadores de síntese de lípidos altos.

O processo de cultivo é simples e barato uma vez que só necessita de água, sem grandes exigências em termos de qualidade da mesma. Junta-se um inóculo que é constituído por sais com uma fonte de azoto e depois adiciona-se fósforo. Dadas estas condições, só é necessário Sol ou luz suficiente, para que as algas cresçam facilmente. A maior dificuldade, é na fase da colheita das mesmas, visto que existe um grande volume de água, com pouca biomassa, o que implica um elevado gasto de energia.

Se cultivar microalgas é fácil e barato, transformá-las em combustível ainda é um processo dispendioso. Para tal, é necessário concentrar as algas, para posteriormente proceder à extracção do óleo. Um dos processos de concentração é a centrifugação, processo bastante caro. Uma hipótese que está a ser estudada é a utilização de floculantes, um agente químico que faz com que as microalgas se agrupem em pequenos flocos, reduzindo o conjunto a uma papa. Chega-se, finalmente, à extracção do óleo, que nas algas é gerado em bastante quantidade. A partir daqui, o processo de transformação em biodiesel é igual ao que se faz com o óleo proveniente de qualquer outra matéria-prima.

Além de todas as vantagens que as microalgas parecem ter em comparação com as outras fontes de biocombustível, elas têm um efeito ecológico sem precedentes: consomem dióxido de carbono (CO_2), pelo que são ideais para ter junto de indústrias poluentes, que libertem muito CO_2 . Nas refinarias, que são grandes poluidoras, faz todo o sentido que esse CO_2 libertado seja aproveitado para fazer crescer algas.

Investir nas microalgas irá gerar, então, uma factura duplamente ecológica: servem para produzir um combustível amigo do ambiente e consomem o CO_2 emitido pelas indústrias.

No campo dos biocombustíveis, as algas parecem surgir como a opção menos polémica, já que quase não reúnem desvantagens: não competem com as culturas agrícolas destinadas à alimentação (e por isso não fazem o preço dos alimentos subir), crescem muito rápido e podem ser colhidas todos os dias (ao contrário de outras culturas, que estão dependentes da sazonalidade), precisam de pouco mais que água e luz para se desenvolverem (podem crescer em água salobra, salgada ou até águas residuais) e geram muito mais óleo por hectare que qualquer outro vegetal.

Outra vantagem de produzir biodiesel a partir de algas é que este produto é menos sensível à flocagem, o que faz ser uma melhor escolha para uso em condições climáticas frias e como combustível para a aviação.

Relativamente aos custos, está provado que a produção de biodiesel a partir de algas é mais barato. Segundo uma experiência realizada no Havai, o custo médio de produção é de 0,24 euros por litro e pode ser reduzido para 0,0105 por litro [www.excaliburproject.com].

3.4.9.1. LOCAIS IDEAIS DE PRODUÇÃO DE BODIESEL A PARTIR DE ALGAS

Os locais mais indicados para a produção de biodiesel são aqueles com condições climáticas favoráveis, isto é, com um número de horas de sol que em média sejam altas, caso contrário é necessário investimentos suplementares para garantir um ambiente propício para o cultivo das algas. As algas crescem e reproduzem-se melhor em temperaturas entre os 25 °C e 35 °C, pelo que o ideal seria locais com temperaturas que se mantenham ao longo do ano em média.

Para além das condições climáticas é de considerar a mão-de-obra e terrenos baratos e a existência de um porto marítimo favorável ao tráfego tanto para importações como exportações, relativamente aos custos de comercialização tanto da produção de matérias-primas, como óleo das algas e álcool, como o produto final que é o biodiesel.



Figura 3.8 - Projecto de unidade de produção de biodiesel e cultivo de algas [OIL FOX]

3.4.9.2. A PRODUÇÃO DO ÓLEO A PARTIR DAS ALGAS

As microalgas são seres vivos que têm uma estrutura celular procariótica considerada simples em relação a outros seres vivos como as plantas, no entanto o mecanismo de fotossíntese é semelhante com a vantagem de serem mais eficientes na conversão da energia luminosa (energia solar), devido à sua estrutura celular simples. Crescem em suspensão nos ambientes aquáticos, têm acesso à água, ao CO₂ e outros nutrientes, devido a este facto as algas são capazes de produzir 30 vezes mais a quantidade de óleo por unidade de superfície do que colheitas tradicionais de plantas usadas para a produção de óleos em solo. Com a aplicação de instrumentos como os fotobiorreactores este número ainda pode ser maior, pois funciona também em altura. Na Figura 3.9, são apresentados exemplos de estufas, para a produção de algas utilizadas pela empresa argentina, Oil Fox S.A.



Figura 3.9 – Exemplos de estufas para a produção de algas
[OIL FOX]

A acumulação de lípidos nas algas ocorre tipicamente durante períodos de stress ambiental, incluindo o crescimento sob circunstâncias de deficiência nutritiva. Estudos bioquímicos sugeriram a carboxilase do acetil-CoA (ACCCase), uma enzima que contém biotina, que catalisa uma etapa avançada na formação de ácidos gordos e que pode ser envolvida no controlo deste processo de acumulação lipídica. Consequentemente, pode ser possível realçar taxas da produção do lípido aumentando a actividade desta enzima através da engenharia genética [JL ET AL., 1994]. Este estudo introduziu um método integrado de manipulação genética para a produção de biodiesel de óleo microalgal. O crescimento heterotrófico de *Chlorella protothecoides* resultou na acumulação de um elevado índice de lípidos (55 % m/m) nas células.

Os resultados sugeriram que o novo processo, que combinou a bioengenharia e a transesterificação, é um método praticável e eficaz para a produção de biodiesel de alta qualidade de óleo microalgal [MIAO ET AL., 2006]. Adicionalmente, a produção em larga escala de biomassa microalgal através de manipulação genética, permite produzir biodiesel economicamente competitivo ao petrodiesel [SONG ET AL., 2008].

Seguidamente faz-se a comparação com outras fontes de produtividade em litros/ha/ano [www.excaliburproject.com].

Tabela 3.5 – Produtividade de diferentes fontes de biomassa, expressas em L/ha/ano

Fontes de biomassa	Produtividade (L/ha/ano)
Soja	55
Colza	145,7
Palma	728,5
Microalgas	8445

Estes estudos foram efectuados num sistema aberto de cultivo de algas em piscinas de pouca profundidade (“Racetrack-ponds”) em que a fonte de alimentação foi o CO₂ industrial. No entanto existem outras formas de cultivo de algas para a produção de biodiesel, tal como existem diversas espécies de algas que devem ser avaliadas relativamente à produtividade.

Outra forma de cultivo de algas, tal como já foi referido, é utilizando os fotobiorreactores, que permitem a produção contínua de algas (sistema fechado) num sistema de tubagens transparentes ou em “mangas”. A luz é a principal fonte de energia para a fotossíntese, mas os fotobiorreactores permitem também o uso de luz artificial. Pode ser aplicado um sistema combinado de iluminação natural e artificial para aumentar a produção, podendo utilizar lâmpadas fluorescentes vulgares no caso da iluminação artificial.

A alimentação das algas é um factor importante. A alimentação consiste em CO₂ mais um nutriente consoante a espécie que pode ser dejectos da suinicultura ou mesmo de águas residuais de esgotos, água (salgada ou doce), calor e luz.

Utilizando um sistema aberto com profundidade superior a cerca de 10 cm deve ser usado um sistema de agitação. Nos fotobiorreactores pode ser criado um sistema de agitação à base da introdução dos alimentos, por exemplo com injectores, que pode ser o próprio sistema de bombagem fornecendo agitação suplementar. Outro factor de relevo é a colheita das algas maduras, existindo vários métodos feitos por centrifugadores, filtragem ou floculação.

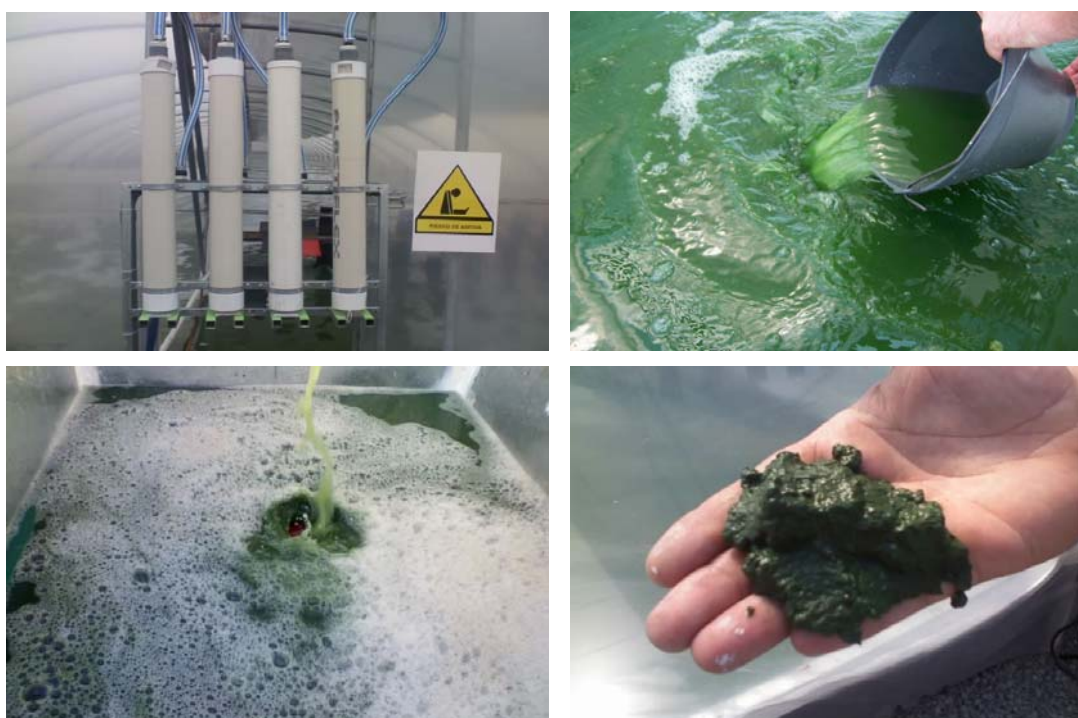


Figura 3.10 – Sistema de colheita automatizado e contínuo de colheita de algas, e colheita de algas contendo 1,5 g de algas por litro
 [Oil Fox]

Outro assunto que merece atenção é a extracção do óleo existindo três procedimentos:

- Prensagem;
- Quimicamente;
- Choque térmico ou extracção com líquidos super-críticos.

3.4.9.3. PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O biodiesel é produzido não apenas com o óleo de algas, mas também é necessário um álcool (metílico ou etílico) Outro componente importante é o catalizador, em geral uma base sendo que a quantidade aplicada deve ser determinada consoante a qualidade do óleo recolhido, baseado no seu grau de acidez.

O biodiesel é vulgarmente produzido por meio de transesterificação. Para uma produção de 3000 litros de biodiesel por dia tem de ser concebido um fotobiorreactor que produza em média algas suficientes, para isso são necessários 6000 litros de algas e com isso 18.000 litros de capacidade do sistema [<http://forum.excaliburproject.com>].

3.5. TECNOLOGIAS DE SEGUNDA GERAÇÃO

A preocupação mundial com o desenvolvimento sustentável evidenciou a necessidade da definição de limites de emissão para as tecnologias automotivas. Desde então, os pesquisadores têm procurado a produção de combustíveis menos poluentes, economicamente viáveis e de origem renovável para alcançar as melhorias ambientais desejadas. No entanto, actualmente o mundo vê-se confrontado com uma enorme crise alimentar, visto que alguns países passaram a produzir oleaginosas e cereais para o mercado energético em detrimento do mercado alimentar, anteriormente o único destino para essas produções.

Segundo as conclusões de um relatório da ONU, embora proporcionando vantagens potenciais, o crescimento explosivo dos biocombustíveis poderá enfraquecer a segurança alimentar e aumentar os preços dos alimentos num mundo onde 25 mil pessoas morrem de fome todos os dias, na sua maioria com menos de 5 anos de idade. Prevê-se que a procura de combustíveis e de alimentos duplique em meados do século XXI, e muitos cientistas temem que, nas próximas décadas, as alterações climáticas prejudiquem a produtividade agrícola.[NATIONAL GEOGRAPHIC, 2007]. Esse problema tornou-se assim, um problema ético à escala mundial. Neste sentido, têm sido desenvolvidas tecnologias de segunda geração, mais eficientes, utilizando uma parcela de matéria-prima renovável, sem contudo utilizar matéria-prima com aplicação alimentar, obtendo-se um biodiesel com características mais próximas do diesel de origem fóssil (como por exemplo no que concerne à sua estrutura química), e com claras vantagens ambientais (emissões de NO_x mais baixas e ausência de enxofre).

Uma das tecnologias mais promissoras no domínio dos biocombustíveis de segunda geração – o processamento de matérias lenhinocelulósicas – já está bastante avançada, tendo sido construídas três unidades-piloto na União Europeia (Suécia, Espanha e Dinamarca). Entre as outras tecnologias de conversão de biomassa em biocombustíveis líquidos, contam-se os processos biodiesel Fischer-Tropsch e bio-DME (éter dimetilico), estando em funcionamento unidades de demonstração na Alemanha e na Suécia [COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2006].

A seguir, são apresentadas de forma ligeira, as principais tecnologias de segunda geração, com destaque para as principais vantagens em relação à produção convencional de primeira geração de biodiesel.

3.5.1. PROCESSO FISCHER-TROPSCH

3.5.1.1. HISTÓRIA

O processo de Fischer-Tropsch é uma das tecnologias mais avançadas para a produção de biocombustíveis, que compreende a gasificação de matérias primas provenientes da biomassa, limpeza e condicionamento do gás de síntese produzido, e subsequente síntese de biocombustíveis gasosos ou líquidos. Este processo é conhecido desde 1920 na Alemanha, mas no passado foi basicamente utilizado para a produção de combustíveis líquidos a partir do carvão ou do gás natural. No entanto, este processo utilizando biomassa como matéria-prima, continua ainda em desenvolvimento.

Com a difusão do uso dos motores de combustão interna os países industrializados passaram a ser cada vez mais dependentes da importação de combustíveis líquidos. As importações produziam efeitos negativos nas suas balanças comerciais e economias. Adicionalmente, a dependência externa para o suprimento de recursos energéticos causava forte sentimento de insegurança, especialmente quanto ao abastecimento das forças militares. A produção de combustíveis líquidos deixou de ser uma questão energética para se tornar uma questão de soberania nacional. A transformação dos factores institucionais alterou o ambiente de selecção das tecnologias, impulsionando a busca por fontes e processos alternativos à refinação de petróleo.

Nesse contexto, verificam-se esforços de I&D em processos de produção de combustíveis sintéticos em vários países, com destaque para Alemanha, Estados Unidos e Japão. Estes três países promoveram os mais significativos programas de pesquisa, com desdobramentos em unidades-piloto e unidades industriais. Na Alemanha, o desenvolvimento dos processos de produção de combustíveis sintéticos esteve intrinsecamente relacionado com as políticas do governo nazi, implementadas nas décadas de 1930 e 1940. O esforço de I&D e os incentivos à criação de uma indústria local eram parte central do planeamento estratégico daquele governo, que tinha objectivos militares bem definidos. Os alemães implementaram uma série de medidas com o objectivo de tornar o país independente das fontes externas de petróleo, passando a ser auto-suficiente na produção de combustíveis.

Um dos processos por eles desenvolvido consistia na conversão de monóxido de carbono e hidrogénio em hidrocarbonetos. O seu desenvolvimento deu-se a partir de 1914 e ficou conhecido pelo nome de seus investigadores: processo Fischer-Tropsch.

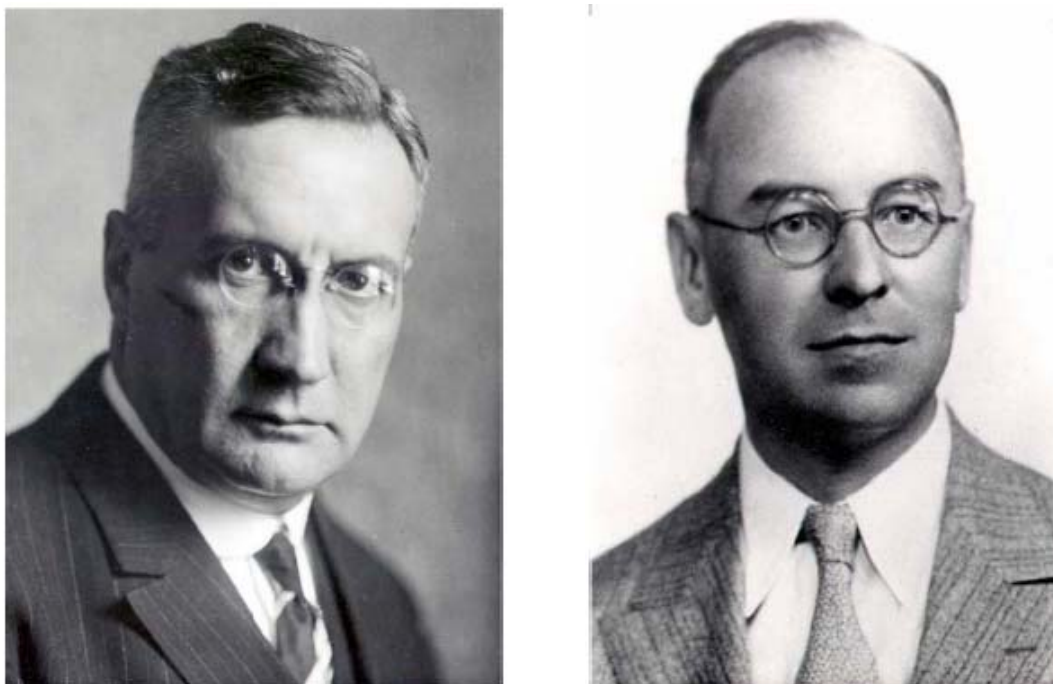


Figura 3.11 – Fotografias do Prof. Franz Fischer e do Dr. Hans Tropsch, respectivamente [OPDAL, 2006]

Para viabilizar economicamente a indústria de combustíveis sintéticos, o governo nazi estabeleceu uma política de incentivos tarifários, subsídios directos e associações comerciais que resultavam em contratos com baixo nível de risco para o sector privado.

A política de fomento aos combustíveis sintéticos incluía garantias de reembolso nos períodos em que o preço de mercado fosse inferior aos custos, além de assegurar a compra dos volumes excedentes caso o mercado não absorvesse toda a produção. Na época, o custo dos produtos sintéticos era cerca de três vezes maior do que o preço dos combustíveis derivados do petróleo no mercado internacional.

3.5.1.2. MATÉRIAS-PRIMAS E REACÇÕES

O Fischer-Tropsch permite a transformação de qualquer tipo de biomassa como matéria-prima, incluindo madeira, matérias gordas e resíduos de agricultura e de florestas, em gasolina, gasóleo, GPL, gás doméstico, lubrificante etc., todos eles chamados “sintéticos”, porque não derivam do petróleo.

O processo de síntese Fischer-Tropsch pode ser descrito pelo conjunto de seguintes equações, adaptadas por BARTHOLOMEW (2006).



Figura 3.12 – Reacções envolvidas no processo Fischer-Tropsch

A reacção 1 corresponde à produção de metano e a reacção 2 à produção de hidrocarbonetos mais pesados que o metano. As reacções 1 e 4 são indesejáveis, enquanto a reacção 2 é desejável e dominante na presença de catalisador de cobalto.

Quando se utiliza catalisador de ferro, a reacção 3 também ocorre, e consequentemente a possibilidade de operação a baixas temperaturas.

Além disso, os cálculos do equilíbrio indicam que a formação do metano está altamente favorecida sobre a formação de hidrocarbonetos de um peso molecular mais pesado, implicando desse modo a necessidade de um catalisador projectado para a elevada selectividade para hidrocarbonetos diferentes do metano. Os catalisadores de Co, Fe e de Ru podem ser projectados para cumprir esta exigência [OPDAL, 2006].

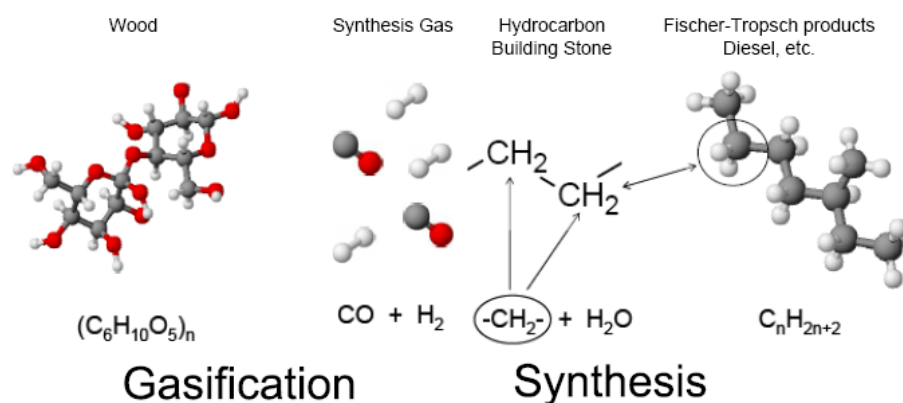


Figura 3.13 – Gaseificação da biomassa e síntese Fischer-Tropsch
[Opdal, 2006]

As reacções principais de Fischer-Tropsch são na realidade reacções de polimerização, consistentes em cinco passos básicos:

1. Adsorção de CO sobre a superfície do catalisador;
2. Início de polimerização mediante formação de radical metilo (por dissociação do CO e hidrogenação);
3. Polimerização por condensação (adição de CO e H_2 e libertação de água) ;
4. Terminação;
5. Dessorção do produto.

Como a reacção Fischer-Tropsch é altamente exotérmica, é importante remover rapidamente o calor da reacção porque o catalisador pode sobreaquecer e danificar-se. Por outro lado, o aumento de temperatura da reacção aumenta a produção do metano, reduzindo a produção de hidrocarbonetos de cadeia longa [OPDAL, 2006].

A velocidade de reacção está limitada pela cinética e em particular pelo passo de polimerização por condensação. A distribuição de pesos moleculares no produto pode ser predita aproximadamente pelo modelo de Anderson-Schulz-Flory (ASF) [OPDAL, 2006] :

$$W_n = n(1 - \alpha)^2 \cdot \alpha^{(n-1)} \quad (3.5)$$

onde W_n é a fracção em peso de produto com n átomos de carbono e α é a probabilidade de crescimento de cadeia, função das condições de reacção (catalisador, temperatura, pressão e composição do gás). Na Figura 3.14, é apresentada a distribuição de produtos da reacção de Fischer-Tropsch, para diferentes valores de α .

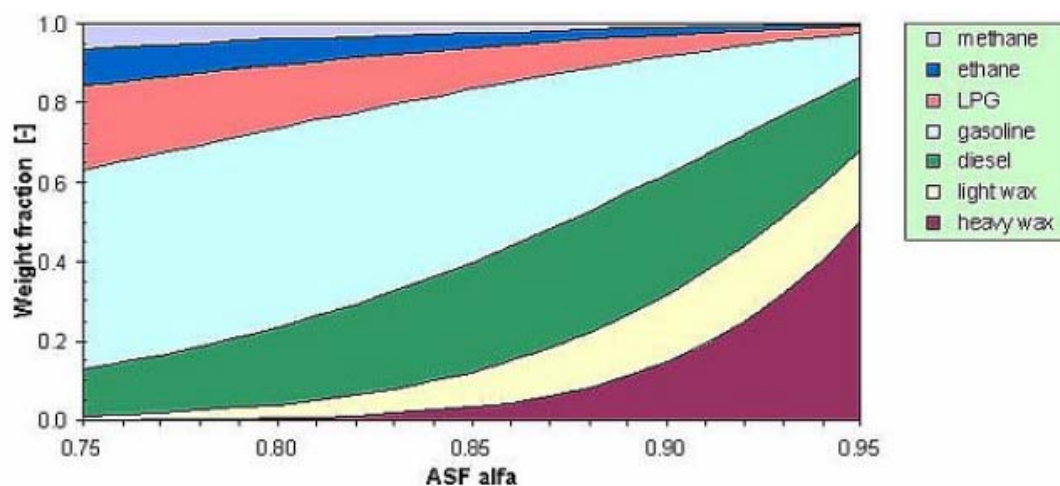


Figura 3.14 - Distribuição de produtos da reacção de Fischer-Tropsch, para diferentes valores de α [OPDAL, 2006]

O produto obtido à saída de um reactor de Fischer-Tropsch consiste numa mistura de hidrocarbonetos livres de enxofre e com uma distribuição muito ampla de pesos moleculares, que vão desde os gases até às ceras passando pela gasolina, o querosene e o gasóleo. A natureza e proporção dos produtos depende do tipo de reactor e de catalisador. Em geral os processos que operam a alta temperatura produzem uma maioria de gasolinas olefínicas enquanto que os de baixa temperatura dão sobretudo gasóleos parafínicos. É necessária uma etapa posterior de hidrotratamento para que os produtos alcancem a qualidade exigida pelo mercado.

O gasóleo Fischer-Tropsch é semelhante ao gasóleo de origem fóssil no que respeita ao seu conteúdo energético, densidade e viscosidade, e pode ser misturado com gasóleo de origem fóssil em qualquer proporção sem que seja necessárias alterações na estrutura dos motores. Apresenta como vantagens relativamente ao gasóleo convencional, um índice de cetano superior e consequente melhor qualidade de auto ignição e menor quantidade de compostos aromáticos, resultando em menores emissões de NO_x e de partículas.

A Sasol é uma companhia sul-africana fundada em 1950, pioneira mundial em utilizar plenamente em escala industrial o Processo Fischer-Tropsch.

O gasóleo sintético feito pela Sasol a partir do carvão tem qualidade superior e é muito menos poluente que o óleo diesel a partir do petróleo, conforme se vê na Figura 3.15.

Actualmente a Sasol, que se associou à Chevron americana, detém a tecnologia mais avançada na produção do petróleo sintético e seus derivados em que mais de 90 % do carvão utilizado no Processo Fischer-Tropsch é convertido em petróleo sintético e seus derivados. Assim sendo, através da distribuição probabilística de Anderson-Schulz-Flory para formação das cadeias carbónicas dos componentes orgânicos obtidos pelo processo Fischer-Tropsch, no caso de se usar lenha como matéria-prima nesse processo, pode-se estimar que mais de 90 % da massa total da lenha é transformada em: 18 % em gás combustível; 22 % em GLP (butano), 45 % em gasolina, e 15 % em óleo diesel [ALCKMIN FILHO ET AL., 2006].

Propriedades dos combustíveis			
Description	ASTM	Typical Sasol Chevron GTL Fuel	Typical conventional diesel fuel
Density at 15°C (kg/l)	D 4052	0.78	0.82 - 0.86
API Gravity		50	33-39
Distillation (°C)	D 86		
IBP		190	171 - 216
10% evap (v/v)		210	204 - 254
50% evap (v/v)		255	243 - 293
90% evap (v/v)		330	288 - 321
Final boiling point		355	204 - 349
Kinematic viscosity at 40 deg C (cSt)	D 445	2.0	2.0-4.1
Flash point (deg C)	D 92	>55	>55
Cetane Number	D 613	>70	45 - 50
Total sulphur (ppm)	D 4294	<5	>350
SFC Aromatics (vol.%)	D 5186	<3	>10
HPLC Aromatics (mass%)			
Monocyclic		0,436	
Bicyclic		0,025	
Polycyclic		<0.01	1.4 (max)

Fonte: Sasol (http://www.sasolchevron.com/gtl_fuel_comparison.htm).

Figura 3.15 - Propriedades dos combustíveis

3.5.2. Bio- DME

A produção de bio-DME (éter dimetílico) é muito semelhante à produção de biometanol, ou seja, pode ser produzido a partir da biomassa, para a produção de gás de síntese, sendo que o bio-DME pode ser produzido directamente a partir deste gás. Contudo, na indústria química, o DME é produzido a partir de metanol puro através de um processo denominado de desidratação catalítica, que separa quimicamente a água do metanol. O metanol pode ser produzido a partir de carvão, gás natural ou biomassa. Frequentemente, a produção de metanol e de DME é combinada num único processo.

Pesquisas sobre a aplicação de DME como combustíveis de motor só começaram recentemente e no passado, o DME derivado de combustíveis de origem fóssil, era principalmente usado como substituto dos CFCs em aerossóis. O bio-DME é adequado como combustível de motor diesel devido à sua baixa temperatura de auto-ignição e elevado número de cetano. Contudo, o DME não pode ser misturado com gasóleo e o seu conteúdo energético por volume é bastante inferior, cerca de metade do do gasóleo.

Apesar do DME não corroer metais, pode afectar certos tipos de plásticos, elastómeros e borrachas ao fim de algum tempo.

O transporte, armazenamento e distribuição do DME é similar ao do GPL.

3.5.3. TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS PELA PETROBRÁS

A Petrobrás, através do seu centro de investigação, (CENPES), tem desenvolvido importantes avanços na tecnologia de produção de biodiesel. Este desenvolvimento, tem sido no sentido de produzir um biodiesel sem as limitações técnicas existentes no biodiesel produzido com tecnologias de primeira geração, mas também no âmbito de minimizarão dos custos de produção, principal obstáculo à produção do biodiesel.

Actualmente, a Petrobrás recorre a três tecnologias para a produção de biodiesel. A primeira, a tecnologia convencional de primeira geração, consiste na transesterificação de óleos vegetais refinados, pela rota metílica e/ou etílica. As restantes tecnologias, são processos desenvolvidos e patenteados pela Petrobrás, pelo que irá ser feita uma breve abordagem, de acordo com a informação disponibilizada pela empresa.

Estes três processos estão apresentados de forma sucinta, na Figura 3.16.

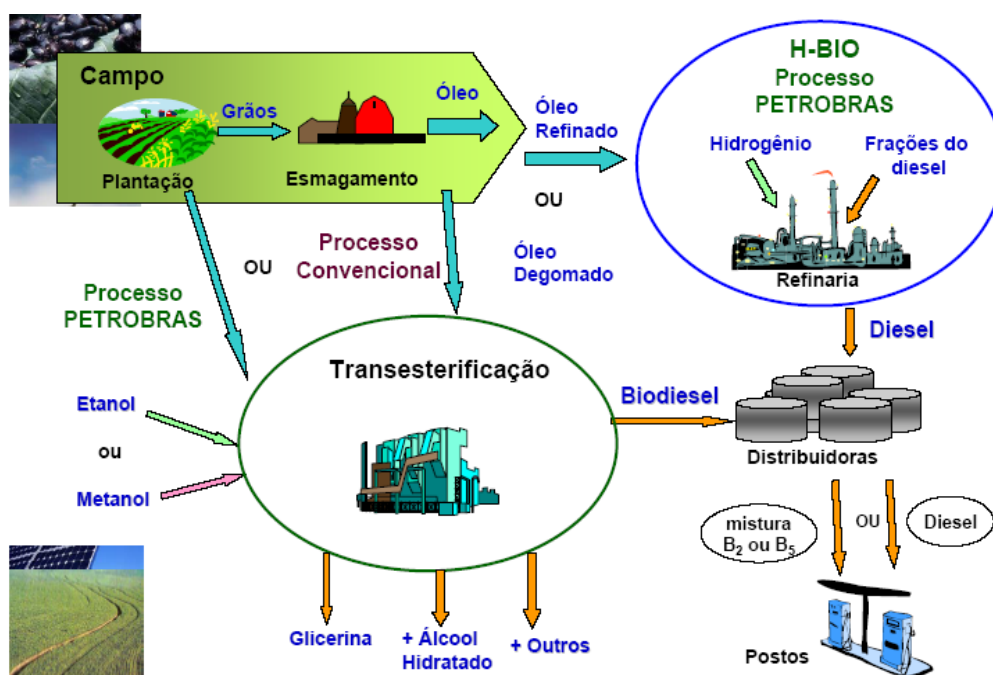


Figura 3.16 – Tecnologias utilizadas pela Petrobrás, para a produção de biodiesel
 [http://www.akatu.org.br/central/noticias/2004/11]

3.5.3.1. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMENTES DE OLEAGINOSAS

Em 2003, a Petrobrás desenvolveu uma nova tecnologia (Patente PI 01058886 de 30/Nov/2003), para produzir o biodiesel com grande ganho de rendimento e custo. Em vez de gerar biodiesel a partir do óleo, a nova técnica extrai o combustível da própria semente que é fonte do óleo, o que diminui os custos do processo. A tecnologia desenvolvida no mundo inteiro, principalmente na Europa, onde o projecto do biodiesel praticamente se iniciou, parte do óleo vegetal. Esse cenário para o Brasil não é vantajoso visto que um litro de óleo vegetal é mais caro do que um litro de diesel. Segundo Carlos Khalil, pesquisador sênior do Centro de Pesquisas da Petrobrás, na sua entrevista dada ao site *Biodiesel.br.com*, a grande vantagem desta tecnologia é a utilização da oleaginosa como matéria prima, em detrimento do óleo refinado geralmente utilizado, uma vez que o preço do óleo dentro da semente é bastante mais barato do que o preço do óleo já refinado.

De acordo com Khalil, neste novo processo converte-se a semente directamente em biodiesel, através de transesterificação. A oleaginosa mais utilizada é a mamona, apesar de se obter bons resultados com soja, amendoim, girassol e outras fontes. Desta forma, é possível converter directamente uma semente em biodiesel de alto grau de pureza, o que o torna competitivo com o diesel de petróleo, com a grande vantagem, por ter como matéria-prima uma fonte renovável que vem da cadeia agrícola. Na Tabela 3.6, são apresentadas as principais características deste processo.

Tabela 3.6 - Tecnologia Petrobrás para produção de biodiesel a partir da semente da mamona e etanol [Patente PI 01058886 de 30/Nov/2003]

Características do Processo	
Tipo de fonte oleosa	Grão
Tipo de oleaginosa	Mamona
Tipo de reacção	Transesterificação
Tipo de Álcool	Etanol
Tipo de catalisador	Hidróxido de Sódio
Tipo de processo	Semi-Contínuo

3.5.3.2. H-BIO

H-BIO ou HBIO é um processo desenvolvido e também patenteado pela Petrobrás constituído pela hidrogenólise (decomposição por hidrogénio) ocorrida através do coprocessamento de triglicerídeos, principais constituintes de óleos vegetais e gorduras animais, em unidades de hidrotratamento de óleo diesel.

Este processo foi desenvolvido para inserir o processamento de matéria-prima renovável no esquema de refinação de petróleo e permitir a utilização das instalações já existentes. O óleo vegetal ou animal é misturado com fracções de gasóleo de petróleo para ser hidroconvertido em Unidades de Hidrotratamento (HDT), que são empregadas nas refinarias, principalmente para a redução do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel, ajustando as características do combustível às especificações.

O processo envolve uma hidroconversão catalítica da mistura de fracções de diesel e óleo de origem renovável, em reactor de HDT, sob condições controladas de alta temperatura e pressão de hidrogénio.

Assim, o óleo vegetal é transformado em hidrocarbonetos parafínicos lineares, similares aos existentes no óleo diesel de petróleo. Esses compostos contribuem para a melhoria da qualidade do óleo diesel final, destacando-se o aumento do número de cetano, que garante melhor qualidade de ignição, e a redução da densidade e do teor de enxofre. O benefício na qualidade final do produto é proporcional ao volume de óleo vegetal usado no processo.

O CENPES realizou testes em protótipo com até 30 % de óleo vegetal na carga do HDT, em mistura com fracções de diesel, tendo gerado um produto que tem as mesmas características do diesel de petróleo. No desenvolvimento desta tecnologia foram testados em protótipo, diferentes óleos vegetais tais como soja e mamona, em diferentes condições de operação, que evidenciaram as vantagens do processo onde se destaca o alto rendimento, de pelo menos 95 % v/v, em diesel sem produção de resíduos e uma pequena produção de propano. Porém, o uso de alta proporção de óleo vegetal, nas unidades industriais de HDT já existentes, encontra restrições operacionais devido ao maior consumo de hidrogénio e limitações de alguns equipamentos, que não foram dimensionados para tal, no seu projecto original.

O HBIO apresenta uma grande vantagem económica no aspecto de integração de biocombustíveis na cadeia de produção de combustíveis fósseis, uma vez que com a possibilidade de utilizar óleos vegetais puros directamente nos processos já existentes na refinaria, o seu produtor dispensa o serviço das unidades de esterificação/transesterificação para a produção de biodiesel. No entanto, embora seja uma forma de produção de combustível a partir de biomassa e assim constituindo a produção de um biocombustível, o processo HBIO não deve ser confundido com biodiesel. Por outro lado, em termos ambientais, apesar da utilização de fontes renováveis (óleo vegetal), o HBIO não reduz as emissões de monóxido de carbono (CO) nem de partículas para o ambiente, visto que o oxigénio retirado no processo, elimina a vantagem de uma combustão completa e consequentemente mais limpa, existente no biodiesel obtido pelo processo convencional de transesterificação.

3.5.4. HIDROESTERIFICAÇÃO

O processo de hidroesterificação é a mais moderna alternativa na produção de biodiesel. Esse processo permite o uso de qualquer matéria-prima gorda (gordura animal, óleo vegetal, óleo de fritura usado, borras ácidas de refinação de óleos vegetais, entre outros). Essas matérias-primas são totalmente transformadas em biodiesel independente da acidez e da humidade que possuem.

Esta versatilidade de selecção das matérias primas a utilizar no processo, constitui a principal vantagem quando comparado ao processo convencional de transesterificação. A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de esterificação.

A hidrólise consiste numa reacção química entre a gordura (ou óleo) com a água, gerando-se glicerina e ácidos gordos (Figura 3.17). Nesse processo, atinge-se conversões superiores a 99 %. Independente da acidez e da humidade da matéria-prima, o produto final de hidrólise possui acidez superior a 99 %. Portanto, ao contrário de diminuir a acidez através de um processo de refinação, a hidrólise aumenta propositadamente este parâmetro da matéria-prima. Além disso, obtém-se uma glicerina muito mais pura que a glicerina proveniente da transesterificação.

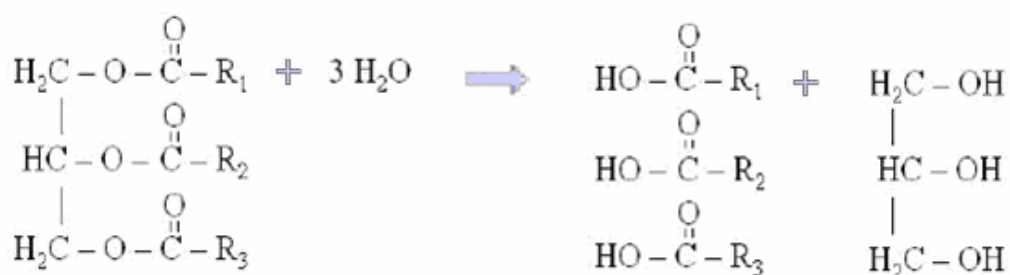


Figura 3.17 – Reacção de Hidrólise

Após a hidrólise, os ácidos gordos gerados são então esterificados com metanol ou etanol, obtendo-se o metil éster com elevada pureza. O próprio álcool “neutraliza” a acidez presente. Não existe contacto de glicerina (já removida na hidrólise) com o biodiesel (produzido na esterificação).

Apenas água é gerada como subproduto (Figura 3.18). Essa água retorna para o processo de hidrólise. Isso evita problemas de contaminação do biodiesel com resíduos de glicerina livre ou total (mono, di e triglicerídeos). Gera-se um biodiesel da mais elevada pureza, sem necessidade de etapas de lavagem que geram efluentes e elevado consumo de compostos químicos.



Figura 3.18 – Reacção de Esterificação

Estima-se que uma unidade de produção de biodiesel por transesterificação possui um custo operacional de 45 €/t¹ de biodiesel (energia eléctrica, energia térmica, produtos químicos e mão de obra). A hidroesterificação por dispensar catalisadores homogéneos ou ácidos e bases de lavagem possui um custo operacional de 22,7 €/t. Numa unidade industrial de 100.000 ton/ano isso representa uma economia de 2,3 M€/ano [ARANDA, 2007]².

Existem também outras vantagens adicionais, tais como a possibilidade de utilização de matérias-primas ácidas como óleos brutos de palmáceas ou gorduras de vísceras de animais de elevada acidez (porco, boi, galinha). Como cerca de 80 % do custo de produção do biodiesel é proveniente do custo da matéria-prima, a hidroesterificação permite um significativo salto na viabilidade de um projecto de biodiesel [ARANDA, 2007].

¹ foi efectuada a taxa de conversão de dólar americano, para euros, com taxa de câmbio do dia 7/5/2008.
 Fonte : http://www.bportugal.pt/rates/cambtx/Txrefer/tcreur_p.htm

² Esta referência bibliográfica corresponde a informação fornecida via e-mail pelo Eng. Donato Aranda, no dia 5/Nov/2007.

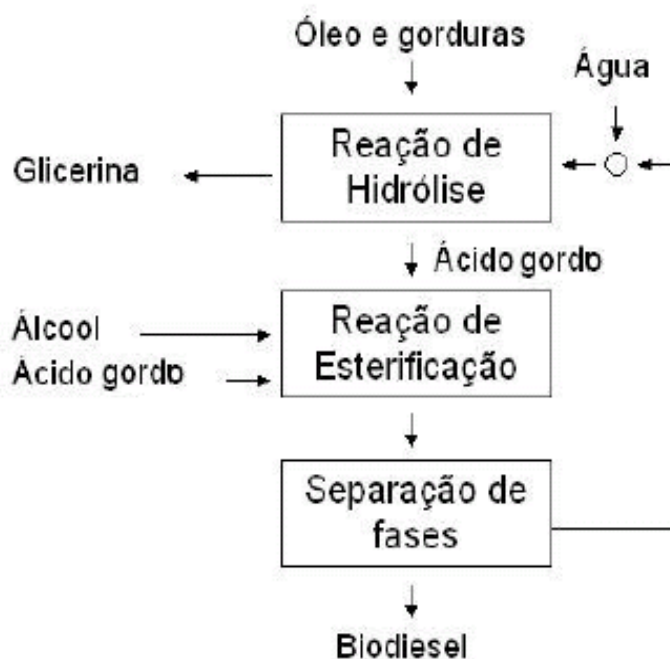


Figura 3.19 – Processo de Hidroesterificação

Os subprodutos deste processo são água e glicerina. A primeira etapa do processo gera glicerina equivalente a 10,5 % da massa de triglicerídeos utilizados como matéria prima, e possui alta qualidade, dependendo da qualidade do triglicerídeo que a gerou. A segunda etapa gera água que é reutilizada na primeira etapa.

A fábrica de biodiesel da Agropalma, no Brasil, utiliza na etapa de esterificação, o conceito de destilação reactiva, em presença de um único catalisador heterogéneo (ácido nióbbico), tornando-se portanto, impossível a formação de sabão e permitindo que toda a matéria gorda se transforme em biodiesel. Dessa forma, o processo que já gera o biodiesel com menor custo de produção do mundo, torna-se ainda mais competitivo [ARANDA, 2007].

Na destilação reactiva não se trabalha com excesso de álcool (metanol ou etanol), pelo que não é necessário coluna para recuperação de excesso. Assim, não há preocupação com a destilação azeotrópica de etanol, simplesmente porque não há excesso de etanol a ser recuperado.

A coluna de destilação reactiva funciona de forma contínua, como se fossem vários reactores contínuos em série.

3.5.4.1. HIDROESTERIFICAÇÃO VS. TRANSESTERIFICAÇÃO

TRANSESTERIFICAÇÃO

VANTAGEM : Investimento inicial menor

DESVANTAGENS :

- Gera sabões, exigindo matérias primas semi-refinadas, mais caras. Este problema afecta o rendimento da produção, bem como apresenta a dificuldade na separação biodiesel/ glicerina;
- A separação biodiesel/glicerina requer grandes quantidades de ácidos para quebra da emulsão., o que gera um custo operacional adicional elevado;
- Os subprodutos gerados (glicerina), ou adicionados em excesso como o álcool, a solução aquosa com catalisador , exigem custosos processos de recuperação, ou perda destes resíduos;
- Necessita etapas de lavagem gerando efluentes que têm que sofrer tratamento. Implica elevado consumo de compostos químicos de elevado custo, apresentando por isso, este processo, um elevado custo de produção.

HIDROESTERIFICAÇÃO (TECNOLOGIA USDA/GSH)

DESVANTAGEM : Investimento inicial maior

VANTAGENS :

- Permite o uso de qualquer matéria prima. Permite o uso de matérias primas mais baratas, inviáveis para a transesterificação. Permite o uso da mistura destas matérias primas, independentemente da acidez e humidade que possuem;
- Permite conversões superiores a 99 %;
- Velocidade para completar a reacção maior, tempo para produção menor, capacidade produtiva maior;
- Obtém-se glicerina com maior grau de pureza;
- O metil éster obtido é de altíssima pureza, límpido e claro, independente dos óleos bases;
- Apenas é gerada água como subproduto, que é reaproveitada;
- Custo operacional 50 % menor, o que permite retorno do capital em tempo menor.

3.6. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL

As características físicas e químicas do biodiesel são semelhantes entre si, independentemente da sua origem. Essas características são quase idênticas, independente da natureza da matéria-prima e do agente de transesterificação. As principais características a ter em conta, são descritas a seguir.

Combustibilidade de uma substância, proposta como um combustível, diz respeito ao seu grau de facilidade em realizar a combustão no equipamento da forma desejada, na produção de energia mecânica mais adequada. Em motores diesel a combustibilidade relaciona as seguintes propriedades essenciais do combustível: poder calorífico e o índice de cetano.

A **viscosidade cinemática** e a tensão superficial, pelo facto de definirem a qualidade de pulverização na injeção do combustível, participam também como factores de qualidade na combustão.

Os impactos ambientais das emissões constituem uma característica básica importante, por questões ambientais. O teor de enxofre e de hidrocarbonetos aromáticos, além da combustibilidade, são características importantes inerentes aos impactos das emissões.

A **compatibilidade ao uso** diz respeito a longevidade, não somente do motor como dos seus periféricos, representada pela lubricidade e pela corrosividade, sendo esta última, definida principalmente pelo teor de enxofre e pela acidez do combustível.

A **compatibilidade ao manuseio**, diz respeito aos transportes, ao armazenamento e a distribuição do combustível, sendo a corrosividade, a toxicidade e o ponto de inflamação as propriedades mais importantes. Durante o inverno nos países mais frios, o ponto de fluxão torna-se também uma importante propriedade, sinalizando para a adição de aditivos anticongelantes.

3.6.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

Ponto de Névoa e de Fluxão

O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluxão é a temperatura em que o líquido não mais escoava livremente. Tanto o ponto de fluxão como o ponto de névoa do biodiesel variam segundo a matéria-prima que lhe deu origem, e ainda, o álcool utilizado na reacção. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambiente onde o combustível deva ser armazenado e utilizado.

Ponto de Inflamação ou *Flash Point*

O ponto de inflamação do biodiesel (mais correctamente denominado pelos brasileiros por ponto de fulgor), se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais onde ele é transportado, manuseado e armazenado, servindo inclusive, para ser utilizado em embarcações.

Poder Calorífico

O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5 %. Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral.

Índice de Cetano

O índice de octano ou octanagem dos combustíveis está para motores do ciclo Otto, da mesma forma que o índice de cetano ou cetanagem está para os motores do ciclo Diesel. Portanto, quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral este índice varia entre 48 a 52,

bastante menor, sendo esta a razão pelo qual o biodiesel queima muito melhor num motor diesel que o próprio óleo diesel mineral.

3.6.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Teor de Enxofre

Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento desse elemento. No entanto, este parâmetro é de especial relevância no gasóleo devido à sua contribuição para a formação das chuvas ácidas, pelo que o teor máximo de enxofre nos combustíveis está devidamente legislado. O biodiesel, neste parâmetro, apresenta uma clara vantagem em detrimento do diesel de origem fóssil.

Poder de Solvência

O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo as resinas que compõem as tintas. Dessa forma, devem ser tomados cuidados especiais com o manuseio do biodiesel para evitar danos à pintura dos veículos, nas proximidades do bocal de abastecimento.

3.6.3. ESTABILIDADE DO BIODIESEL

O biodiesel consiste quimicamente em moléculas de éster de ácidos gordos (metílico em caso de utilização de metanol no seu processo de produção, ou etílico quando o álcool utilizado foi o etanol). Estas moléculas éster são hidrolizadas a álcool e ácido na presença de ar. A conversão do éster em álcool, conduz à redução do ponto de fulgor, enquanto a conversão do éster em ácido aumenta o número de acidez, fazendo com que o biodiesel seja instável ao armazenamento [SHARMA ET AL., 2008].

A estabilidade do biodiesel depende também das matérias primas utilizadas para a produção do biodiesel: as matérias-primas com maior proporção de ácidos gordos

saturados irão produzir um biodiesel mais estável do que aqueles que têm maior proporção de ácidos gordos insaturados. No entanto, uma maior porção de ácidos gordos saturados diminui, a baixas temperaturas, propriedades como o ponto de névoa e ponto de fluidez. Desta forma, o grande problema do biodiesel reside no seu compromisso entre o nível de saturação do biodiesel e as suas propriedades a frio [SHARMA ET AL., 2008].

Quedas bruscas na temperatura ambiente promovem o aumento da viscosidade e a cristalização de ésteres gordos saturados que, eventualmente podem causar o entupimento de filtros de óleo e sistemas de injeção. A tendência à “solidificação” do combustível é medida através dos pontos de névoa e de fluxo, que devem ser tanto mais baixos quanto possível. Abaixamentos no ponto de fluidez, muitas vezes motivados pela aditivação de inibidores de cristalização minimizam as restrições do biocombustível às variações de temperatura, evitando problemas de armazenamento e de utilização em regiões mais frias.

A formação de depósitos por precipitação também pode ocorrer em função do envelhecimento e/ou rancificação do biodiesel. Vários estudos constataram que a degradação do biodiesel gera resinificação que, por aderência, constitui uma das principais causas de formação de depósitos nos equipamentos de injeção. Em decorrência desse fenómeno, foi também observada uma queda no desempenho, aumento da susceptibilidade à corrosão e diminuição da vida útil dos motores [DOMINGOS, 2005].

Em 1997, VAN GERPEN e colaboradores observaram que o número de cetano aumenta proporcionalmente ao aumento do grau de oxidação do biodiesel. MONYEN ET AL., (2001), estudaram o efeito da oxidação de ésteres metílicos de óleo de soja sobre o desempenho e produtos de combustão dos motores, tendo sido concluído que o uso do biodiesel quer oxidado ou não, apresentou um impacto muito semelhante ao gasóleo nº 2 sobre a performance dos motores. Relativamente ao perfil de emissões, observaram que, em comparação ao biodiesel não oxidado, o material oxidado ocasionou reduções significativas dos níveis de CO (15 %) e HC (16 %).

A rancificação de óleos e derivados, como ésteres metílicos ou etílicos, pode ocorrer por meio de processos hidrolíticos ou oxidativos.

A ocorrência da rancificação oxidativa está directamente relacionada à disponibilidade de ar e à presença de compostos insaturados, sendo que o desencadeamento deste processo pode ocorrer via autooxidação ou fotoxidação. Para que uma cadeia de ácido gordo insaturado reaja com o oxigénio, um destes intervenientes precisa ser activado. Para tal, ou a olefina é convertida num radical alílico estabilizado por ressonância, ou o oxigénio é convertido a uma espécie mais reactiva, como o oxigénio singlete. Estas duas reacções ocorrem por meio de diferentes mecanismos, resultando em produtos semelhantes, porém não idênticos [DOMINGOS, 2005]. Os produtos primários tanto da autooxidação quanto da fotoxidação são hidroperóxidos alílicos, que posteriormente dão origem a compostos voláteis como aldeídos (que dão odor ao ranço) e compostos de alta massa molecular (polímeros), entre outros.

Visto que a degradação do biodiesel está associada à formação de peróxidos na etapa inicial, é conveniente prevenir a sua formação durante as etapas de produção de biodiesel e durante a cadeia de distribuição do mesmo [SHARMA ET AL., 2008]. Para tal, o armazenamento deve ser feito em atmosfera inerte, e deve-se proceder à remoção de compostos e condições que promovem a rancificação, tais como luz, metais e calor. Adicionalmente, podem ser adicionado ao biodiesel, compostos que retardam estes processos oxidativos, os antioxidantes, que podem ser naturais ou sintéticos.

De forma geral, os óleos vegetais brutos apresentam antioxidantes naturais na sua composição, em teores que variam de acordo com factores tais como, a cultura em questão, sazonalidade e agronomia. No entanto, os processos de purificação destes óleos, acarretam na remoção de parte destes compostos, sendo necessária a utilização de antioxidantes no produto final [SHARMA ET AL., 2008]. Os óleos de origem animal, por não apresentarem antioxidantes naturais na sua composição, são muito mais susceptíveis à oxidação. Por esta razão, industrialmente a refinação destes óleos é feita com a adição de antioxidantes sintéticos no decorrer do processo, para minimizar a deterioração da matéria prima [DOMINGOS, 2005].

MITTELBatch & SCHÖBER, (2003), constataram que a eficiência de um dado antioxidante depende da matéria prima de origem e da tecnologia empregada no processo produtivo, o que ressalta a importância da realização de investigações específicas para ésteres produzidos por diferentes vias reaccionais [DOMINGOS, 2005].

3.7. APLICAÇÕES DA GLICERINA

Com o aumento da produção de biodiesel verificado a nível mundial, tem-se verificado alterações no mercado da glicerina, principal subproduto da produção de biodiesel, nomeadamente na descida brutal do preço da mesma. Assim, surge a necessidade de gerir este subproduto pelos produtores de biodiesel, de forma a tornar o processo de produção de biodiesel mais rentável.

A glicerina, também denominada de glicerol ou propano 1-2-3—triol, é um líquido claro, da cor da água, viscoso, de gosto doce e higroscópico a temperaturas ordinárias acima de seu ponto de fusão.

Actualmente existem aplicações para a glicerina, que com o aumento da sua produção, irão ser incapazes de absorver toda a glicerina existente. Na Tabela 3.7, são apresentadas as actuais aplicações da glicerina, bem como a percentagem da sua representação nas diferentes indústrias.

Tabela 3.7 - Principais aplicações da glicerina

Indústria	% de Consumo
Cosmética, sabonetes, indústria farmacêutica	26
Resinas	6
Indústria alimentar	8
Tabaco	4
Filmes de celulose	3
Ésteres de poliglicerol	12
Ésteres	11
Indústria do papel	1
Outras aplicações	12

[JOHNSON, 2007]

A principal aplicação da glicerina encontra-se na indústria farmacêutica e cosmética, para a produção de pomadas, sabonetes e cremes.

Uma área com grande potencial de aplicação da glicerina é a indústria alimentar, uma vez que poderá substituir o sorbitol que actualmente é muito usado para humedecer e conservar bebidas/alimentos como refrigerantes, bolos, pastas de queijo e carne, e ração animal seca.

Outra área promissora é a de polímeros, na produção de propanodiol (PDO), precursor de um plástico de alto valor agregado e utilizado na confecção de tapetes e roupas.

A mais recente novidade é o uso da glicerina produzir o propeno, resina obtida até aqui de derivados de petróleo e utilizada para fazer polipropileno (PP). Esse plástico é amplamente utilizado em automóveis, electrodomésticos, seringas descartáveis, fraldas, embalagens para alimentos e produtos de limpeza [OLIVEIRA, 2008].

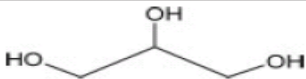
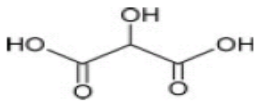
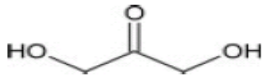
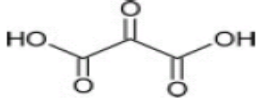
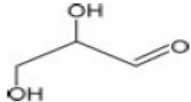
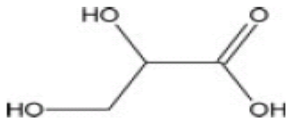
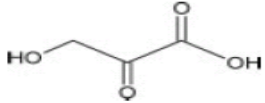
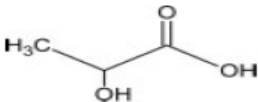
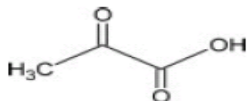
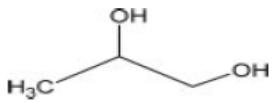
Estudos indicam também que a glicerina possui alto potencial para uso como suplemento na produção de biogás. A adição de apenas 5 % de glicerina residual melhora o desempenho do biodigestor, aumentando em mais de cinco vezes a produção de biogás e otimizando a capacidade útil do biodigestor.

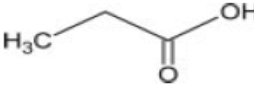
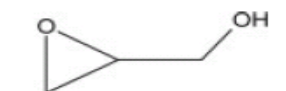
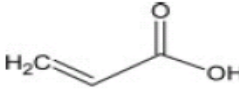
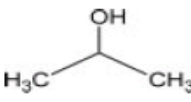
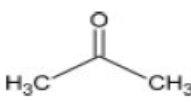
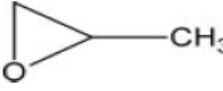
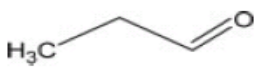
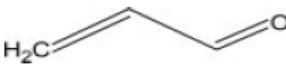
Existem estudos com referência à produção de hidrogénio, a partir da reformação por vapor da glicerina, com rendimentos de cerca de 50 % [ADHIKARI, 2007].

Uma das alternativas mais drásticas que tem sido estudada é a queima da glicerina. Esse processo deve ser controlado a fim de se evitar a produção de acroleína, subproduto altamente tóxico.

Geralmente a conversão da glicerina pode ser efectuada em duas classes: oxidação ou redução da glicerina em outros compostos de três carbonos, ou reacção da glicerina com outras moléculas para formar novos compostos. Na tabela seguinte, é apresentada a lista de compostos que podem ser produzidos via oxidação ou redução da glicerina [JOHNSON, 2007].

Tabela 3.8 – Lista de compostos que podem ser produzidos via oxidação ou redução da glicerina [JOHNSON, 2007]

Name	Chemical formula	Chemical structure
Glycerol	$C_3H_8O_3$	
Tartronic acid	$C_3H_3O_5$	
Dihydroxyacetone	$C_3H_6O_3$	
Mesoxalic acid (Ketomalonic acid)	$C_3H_2O_5$	
Glyceraldehydes	$C_3H_5O_3$	
Glyceric acid	$C_3H_6O_4$	
Malonic acid	$C_3H_4O_4$	
Hydroxypyruvic acid	$C_3H_4O_4$	
Lactic acid	$C_3H_6O_3$	
Pyruvic acid	$C_3H_4O_3$	
Propylene glycol	$C_3H_8O_2$	

Name	Chemical formula	Chemical structure
Propionic acid	$C_3H_6O_2$	
Glycidol	$C_3H_6O_2$	
Acrylic acid	$C_3H_4O_2$	
Propanol	C_3H_8O	
Isopropanol	C_3H_8O	
Acetone	C_3H_6O	
Propylene oxide	C_3H_6O	
Propionaldehyde	C_3H_6O	
Allyl alcohol	C_3H_6O	
Acrolein	C_3H_4O	

A actual prioridade é escolher um produto que tenha grande saída de mercado, de forma que tenha capacidade de absorver toda a glicerina produzida no processo de produção de biodiesel, e que simultaneamente apresente um preço superior à da glicerina. O propilenoglicol, ácido propiónico, ácido acrílico, propanol, isopropanol, são exemplos de produtos que apresentam uma vantagem de preço relativamente à glicerina bem como uma grande capacidade de mercado, e que podem ser produzidos a partir da glicerina.

No campo da biotecnologia, foi descoberta uma grande variedade de microorganismos capazes de utilizar o glicerol. Estudos recentes com as espécies *Yarrowia*, *Candida*, e *Rhodotorula* debruçaram-se sobre a produção de ácido cítrico e células de óleo a partir de glicerol mas actualmente, ainda não foram reportadas aplicações comerciais.

Em alternativa, o glicerol pode ser degradado anaerobiamente via acidogénese, seguido de metanogénese, para a produção de biogás.

Foi também já demonstrada a conversão de glicerol em hidrogénio e etanol, através da digestão anaeróbia pela bactéria *Enterobacter aerogenes*.

A opção mais promissora para a conversão biológica do glicerol, é a produção fermentativa anaeróbia de 1,3-propanodiol (PDO) e vários outros co-produtos das quais se destacam ácido acético, ácido butírico, butanol, acetona, etanol, 2,3-butanodiol, ácido láctico, ácido succínico e hidrogénio.

A fermentação do glicerol foi verificada em diferentes géneros de bactérias da família Enterobacteriaceae, incluindo as espécies *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. Todos estes organismos são anaeróbios facultativos, capazes de utilizar o glicerol tal como o carbono proveniente do solo, no entanto, a *Klebsiella pneumonia* apresenta maior produtividade e tolera concentrações muito superiores de glicerol, sendo por isso, mais vantajosa.

Na Tabela 3.9, é apresentada a produção de vários compostos via fermentação anaeróbia do glicerol, pela *Clostridia*.

Tabela 3.9 - Produção de vários compostos via fermentação anaeróbia do glicerol pela *Clostridia*

Composto	Concentração (g/L)	mol Produto / mol Glicerol Consumido
1,3_PDO	67-70	0,6-0,65
Ácido Acético	11,5	Acima de 0,15
Ácido Butírico	15-15,9	Acima de 0,14
Ácido Láctico	8,82	Acima de 0,25
Ácido Succínico	3	< 0,1
Butanol	17,1	0,3-0,4
Etanol	4,6	Acima de 0,25
Acetona	Vestigial	N/A

[JOHNSON, 2007]

Tanto a catálise convencional, como a conversão biológica oferecem oportunidades promissoras à indústria de biodiesel para a produção de produtos de valor acrescentado a partir da glicerina. No entanto, algumas das tecnologias referidas necessitam de investigação adicional de forma a torná-las económica e operacionalmente vantajosos para incorporação nas unidades de biodiesel já existentes.

O futuro das unidades de biodiesel passa pela utilização da combinação da conversão biológica e da catálise convencional para a transformação da glicerina, pois esta tem potencial para ser uma importante matéria-prima para a produção de novos produtos químicos, biogás e hidrogénio.

3.8. PROCESSO DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)

DESCRIÇÃO GERAL DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das actividades no decurso da vida do produto desde a sua produção, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para o seu processo produtivo. A figura seguinte ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas [FERREIRA, 2004].

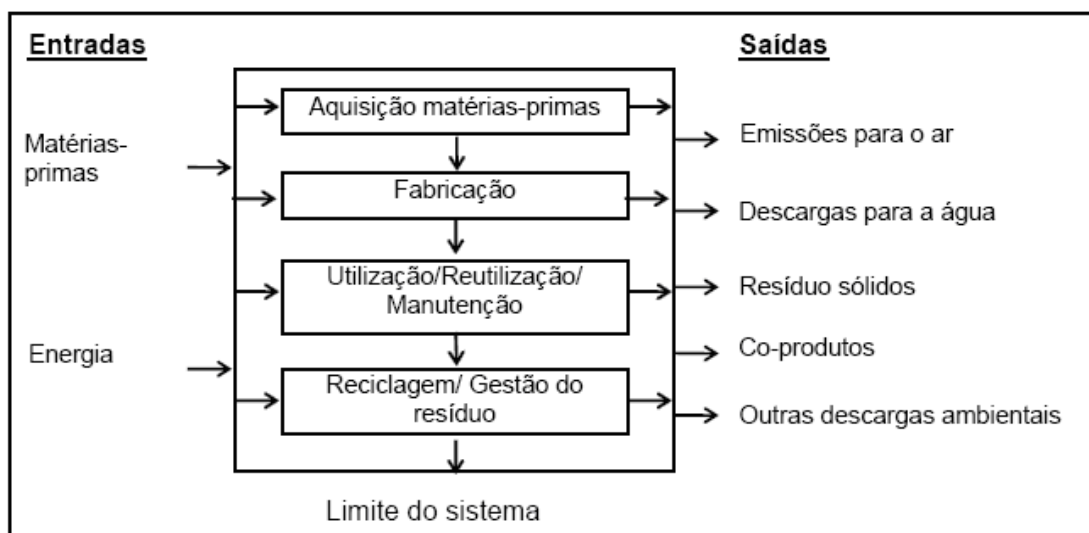


Figura 3.20 - Estágios do ciclo de vida do produto
[FERREIRA, 2004]

Num estudo ACV de um produto ou serviço, todas as extracções de recursos e emissões para o ambiente são determinadas, quando possível, numa forma quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida, desde que "nasce" até que "morre" - “do berço ao túmulo”, sendo com base nestes dados que são avaliados os potenciais impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana.

O processo ACV é uma abordagem faseada composta por quatro componentes: definição de objectivos e âmbito; análise de inventário; análise de impacto; e, interpretação dos resultados, como se ilustra a seguir (ISO 14040: 1997).

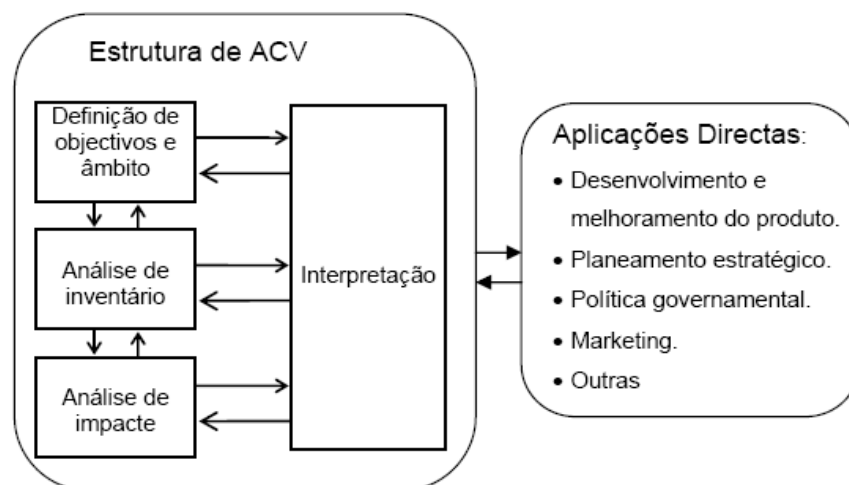


Figura 3.21 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida
 [ISO 14040:1997]

Definição de Objectivos e Âmbito – Define e descreve o produto, processo ou actividade. Estabelece o contexto no qual a avaliação vai ser realizada e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação.

Análise de Inventário – Identifica e quantifica a energia, água e materiais utilizados e descargas ambientais (por exemplo: emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos).

Análise de Impacto – Analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário.

Interpretação – Avalia os resultados da análise de inventário e análise de impacto para seleccionar o produto preferido, processo ou serviço com uma compreensão clara das incertezas e suposições utilizadas para gerar os resultados.

A metodologia ACV tem numerosas aplicações, das quais se destacam o desenvolvimento de produtos e definição de cenários de prioridade e de política ambiental.

3.8.1. PROCESSO ACV DO BODIESEL VS. GASÓLEO

Os combustíveis líquidos, devido ao seu alto poder calorífico e suas características positivas no manuseio, armazenamento e transporte, são formas nobres de energia de difícil substituição a curto prazo. Apesar dessa relativa supremacia dos combustíveis líquidos frente a outras formas de energia, alguns problemas comprometem a sua performance, destacando-se os diversos problemas ambientais associados ao ciclo de vida dos combustíveis fósseis; a finitude das reservas mundiais de petróleo e a distribuição desigual da localização e propriedade das reservas existentes no globo.

De entre as alternativas numa transição de paradigma energético, destacam-se os biocombustíveis líquidos, nomeadamente o biodiesel.

Estudos ambientais recentes questionam esta associação directa dos biocombustíveis com o “ecologicamente correcto” ou “ambientalmente amigável”. A discussão sobre sustentabilidade ecológica na produção e uso de um biocombustível deve considerar aspectos específicos, destacando-se entre eles: a análise de toda a cadeia de produção do biocombustível (cultivo, processamento, uso/conversão e destino dos resíduos), limites da capacidade de regeneração dos recursos naturais (solo, água, etc.), de tal modo que a taxa de utilização não supere a de renovação do recurso energético em análise e possíveis conflitos e concorrências no uso das matérias primas e recursos naturais utilizados na produção do biocombustível, como por exemplo o conflito entre produção de alimentos versus produção de energia, questão esta, bastante debatida a nível mundial. De facto, actualmente verifica-se um grande subida dos preços dos alimentos, não só no preço dos cereais, como também nos bens alimentares que de alguma forma, directa ou indirectamente, estão a eles associados, tais como rações para animais (e consequentemente a carne), pão, óleo, massas, cereais, farinhas e ovos. Esta questão repercute-se a nível social, uma vez que os bens de primeira necessidade tal como o pão, apresentaram, em 2007, subidas de 8 a 10 %. [DIÁRIO DE NOTÍCIAS, 27/07/2007].

Para analisar comparativamente os efeitos ambientais decorrentes da produção do biodiesel com a do diesel, vários estudos recorreram ao método de análise de ciclo de vida (ACV). Neste método, considera-se que o início de ciclo de vida de um produto ocorre quando os recursos para sua produção são extraídos da sua origem, e finaliza

quando com a estimativa das emissões resultantes da sua utilização, bem como os resíduos decorrentes do final de vida do produto.

Tanto o gasóleo quanto o biodiesel provocam, ao longo de seus ciclos de vida (extração das matérias-primas, transporte, processamento, distribuição e uso final dos combustíveis), impactos ambientais em menor ou maior grau. Dentre os impactos pode-se destacar os de alcance local, como a emissão de partículas e outros poluentes prejudiciais à saúde humana, os de alcance regional, como a chuva ácida ou ainda os de alcance global, como o efeito de estufa [LIMA ET AL., 2007].

A seguir é apresentado o fluxograma da ACV do gasóleo vs. biodiesel produzido a partir de sementes e do gasóleo vs biodiesel produzido a partir de óleos usados em fritura (resíduos). É de salientar, que no fluxograma correspondente ao biodiesel de óleos de fritura, a primeira etapa corresponde ao transporte da matéria prima (óleo usado). Não são consideradas as etapas associadas à produção da matéria-prima.

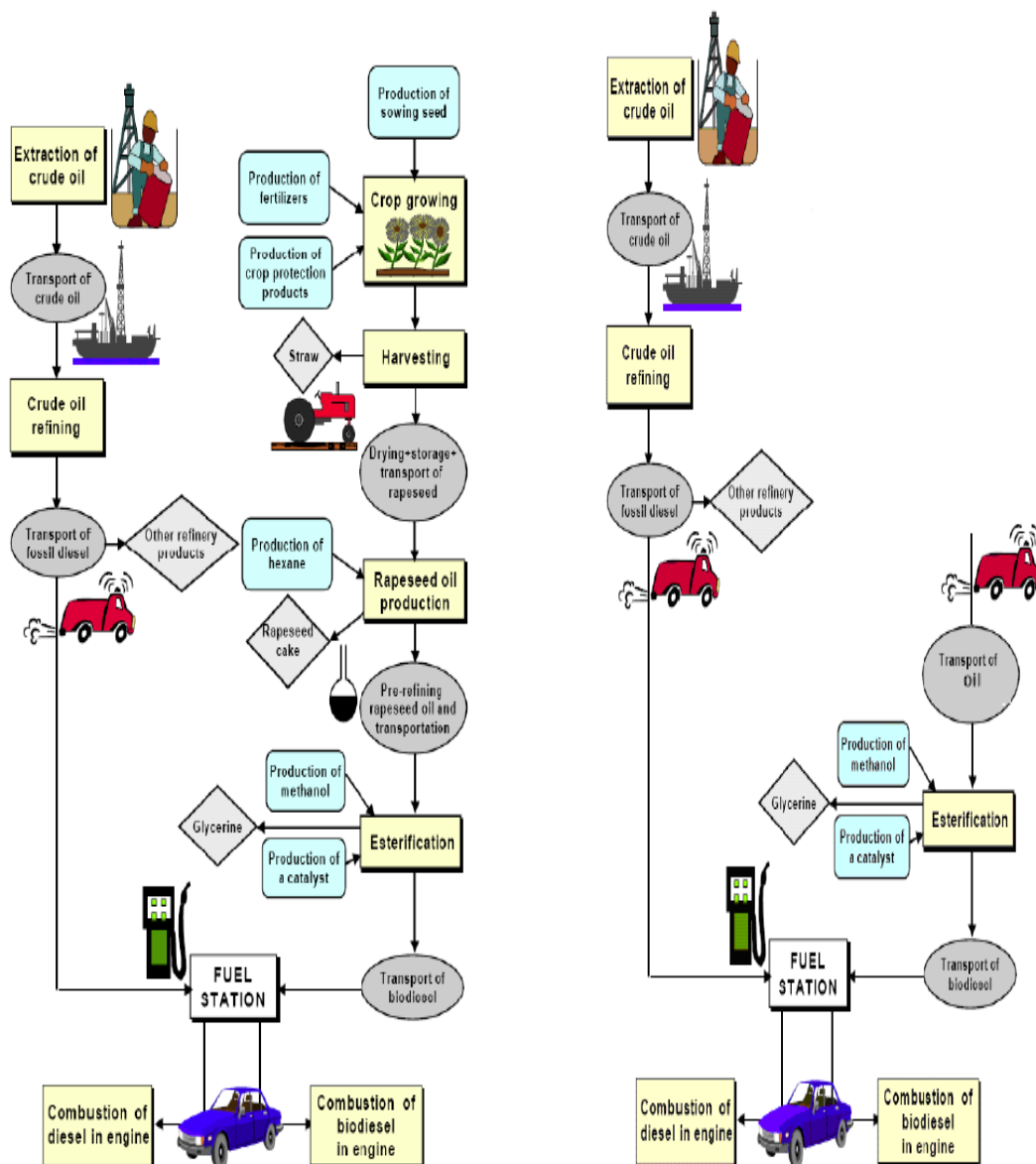


Figura 3.22 - Fluxograma do Ciclo de vida do gasóleo vs biodiesel e do gasóleo vs. biodiesel de óleos de frituras [TORRES ET AL., 2007]

Num estudo desenvolvido pelo departamento da agricultura conjuntamente com o departamento de energia dos Estados Unidos, foi elaborado o do ciclo de vida do gasóleo e do biodiesel, bem como de uma mistura de 20 % de biodiesel no gasóleo, B20 [http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf].

O biodiesel considerado foi produzido a partir de óleo de soja, pelo que foi tido em conta , para a produção do biodiesel, a produção das sementes de soja e o respectivo

transporte para a unidade de processamento de óleo; a produção do óleo de soja e transporte do óleo para a unidade de produção do biodiesel; a conversão do óleo de soja em biodiesel e respectivo transporte até ao local de consumo para sua utilização num autocarro.

Relativamente ao ciclo de vida do gasóleo, foi considerado o processo de extracção do petróleo e o respectivo transporte até à refinaria; a refinação do petróleo para produção do gasóleo; o transporte do gasóleo até ao local de consumo e sua utilização num motor de autocarro, com as mesmas características do utilizado no cenário anteriormente descrito. [<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]. Os gráficos a seguir apresentados, são resultado deste estudo.

A unidade básica de energia considerada neste estudo é o *brake-horsepower-hour* (bhp-h). *Brake-horsepower* (bhp) é a medida da potência de um motor sem considerar as perdas de potência provocadas pelo gerador, diferencial, bomba de água e outros componentes auxiliares, tais como alternador, compressor AC, etc. O prefixo “*brake*” refere-se ao ponto onde a potência é medida: no eixo de saída do motor e através de um banco de ensaios (*test brake*).

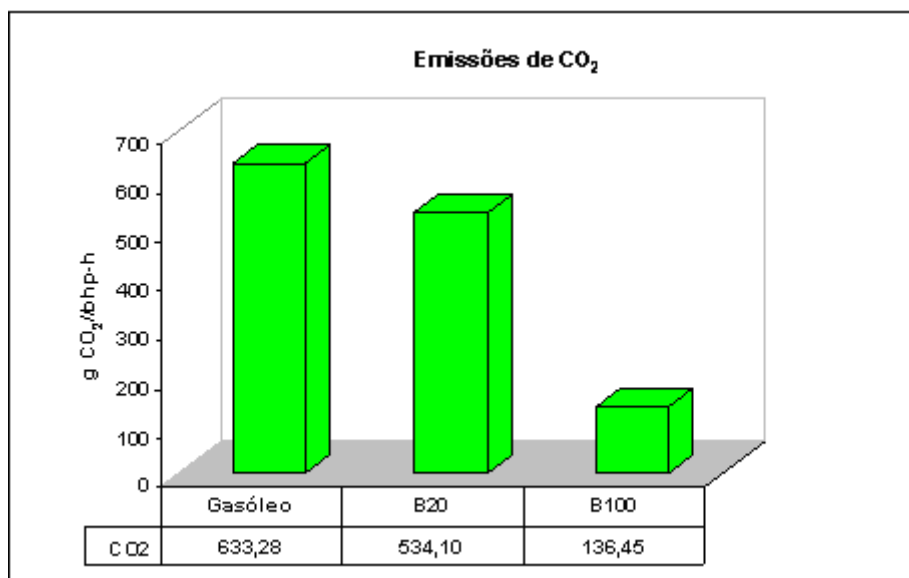


Figura 3.23 - Nível de emissões de CO₂ no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
 [<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

Verifica-se uma redução de 15,66 % e de 78,45 % das emissões de CO₂ nos ciclos de vida do B20 e do B100, respectivamente, em comparação com o ciclo de vida do gasóleo de origem fóssil.

Na Figura 3.24, é apresentada a percentagem de redução nas emissões de CO₂, com o aumento da percentagem de incorporação de biodiesel.

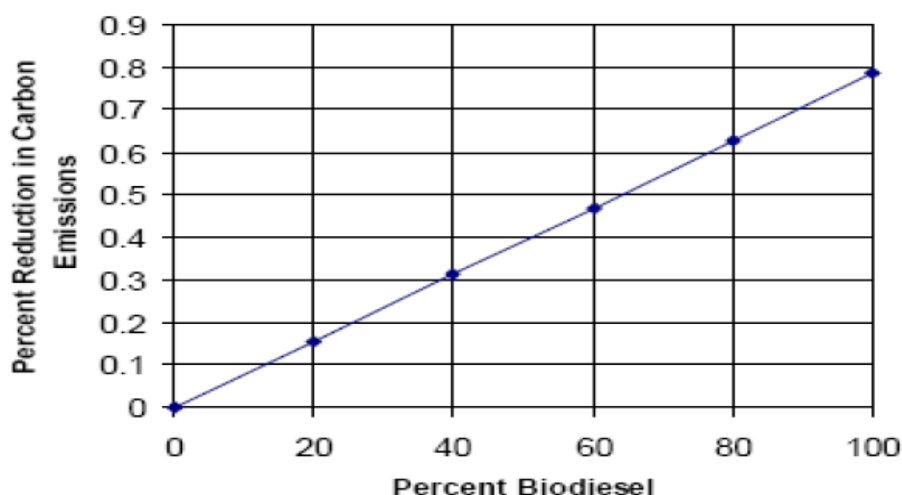


Figura 3.24 - Efeito da percentagem de biodiesel na redução das emissões de CO₂
Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

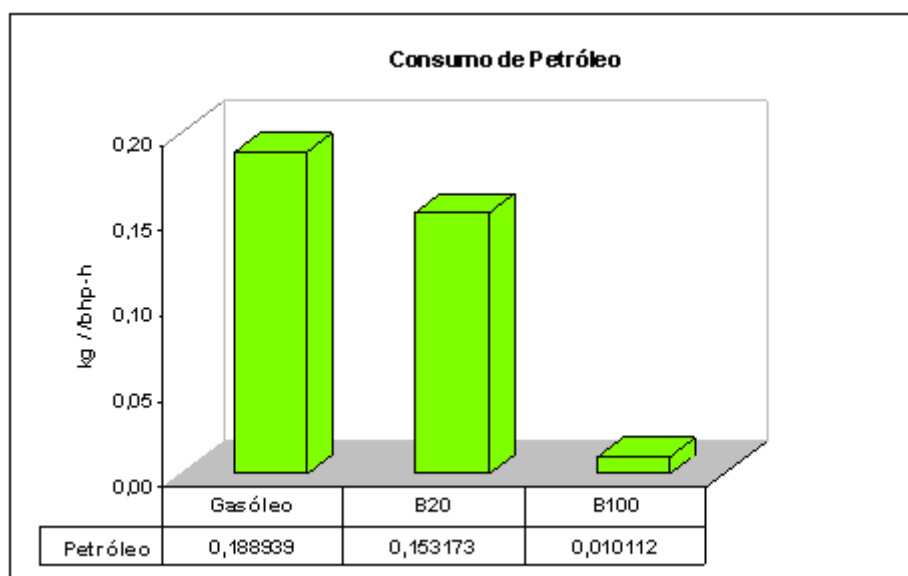


Figura 3.25 - Consumo de Petróleo no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

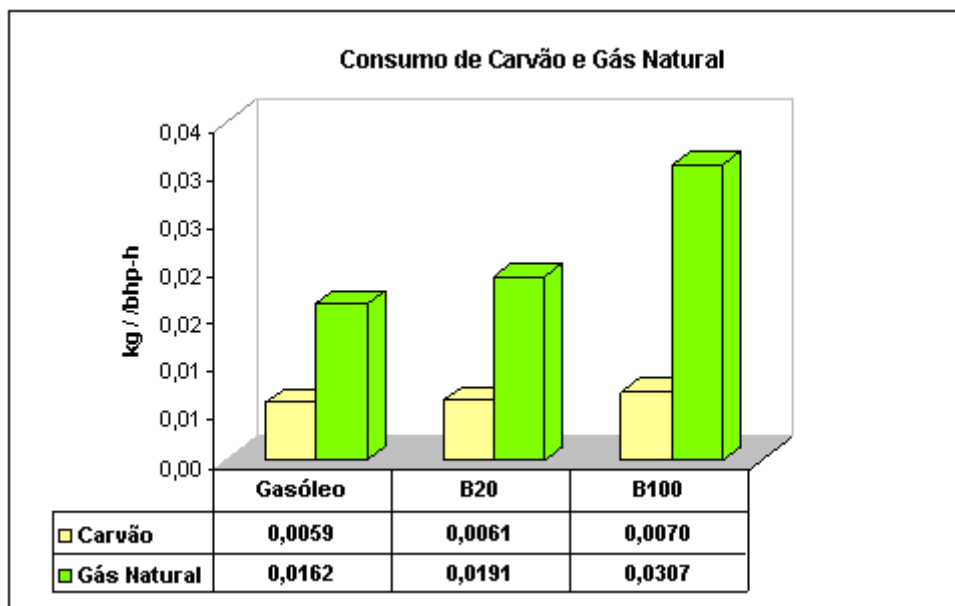


Figura 3.26 - Consumo de Carvão e Gás Natural no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

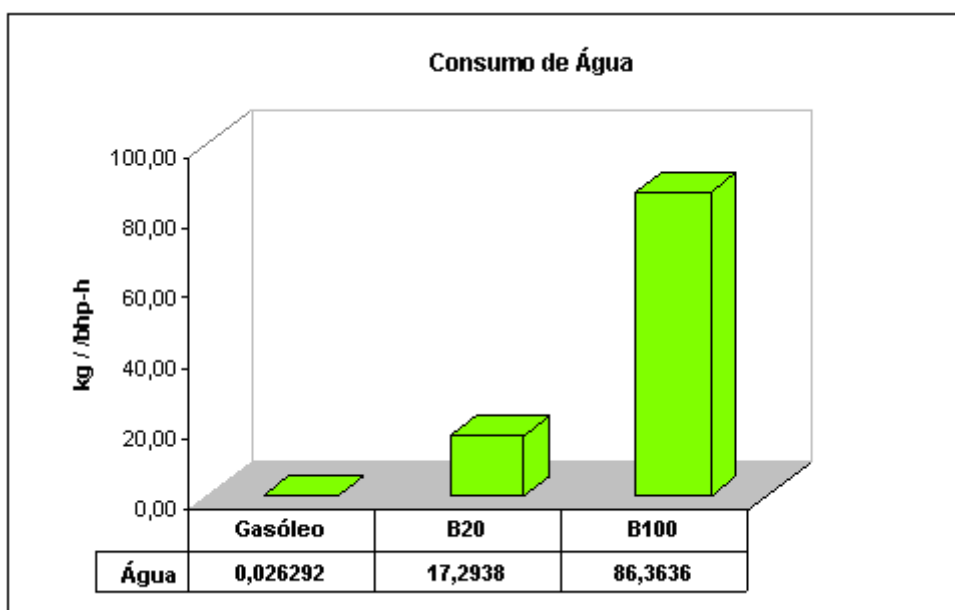


Figura 3.27 - Consumo de água no Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

Tabela 3.10 - Emissões gasosas durante o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100

Poluente	Gasóleo	B20	B100
CH4	0,202839	0,201795	0,197616
NOx	0,006784	0,005887	0,002297
CO	1,26981	1,18219	0,831723
NMHC	0,131467	0,194075	0,44451
Hidrocarbonetos	0,249053	0,229605	0,151814
Benzeno	4,24E-05	3,43E-05	1,84E-06
Formaldeído	0,000568	0,000459	2,48E-05
PM10	0,084094	0,076589	0,046572
Partículas	0,130281	0,123891	0,098329
SOx	0,926335	0,911458	0,851949
NOx	5,00856	5,1423	5,67728
HCl	0,003164	0,00325	0,003593
HF	0,000396	0,000383	0,000334
NH3	3,15E-08	0,014694	0,073471

Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

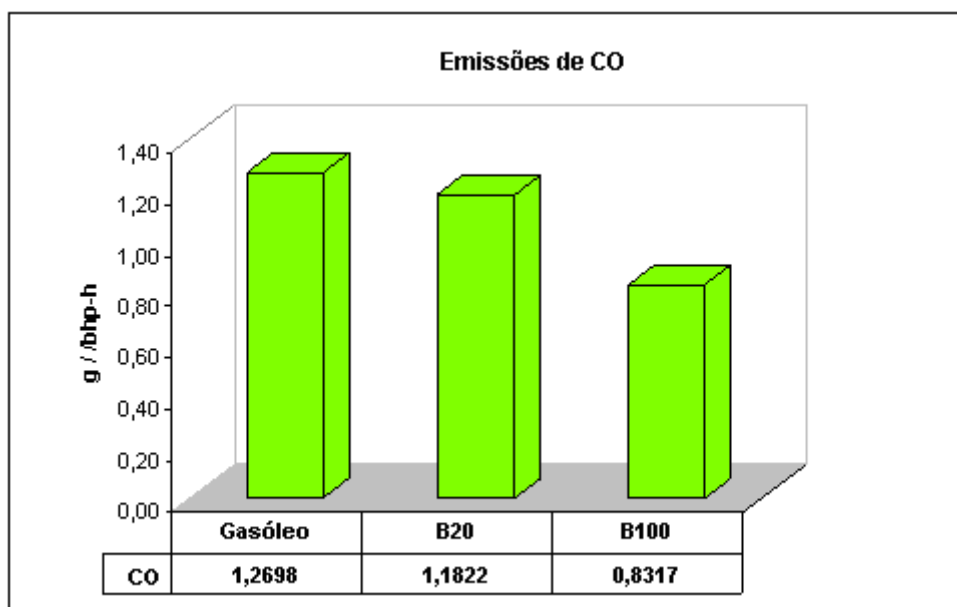


Figura 3.28 - Emissões de CO, para o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

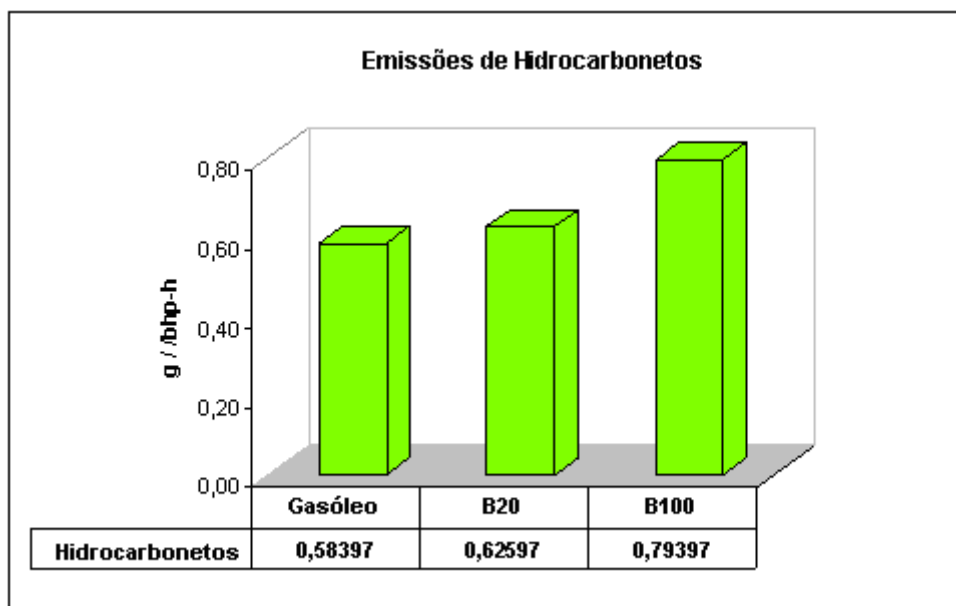


Figura 3.29 - Emissões de Hidrocarbonetos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

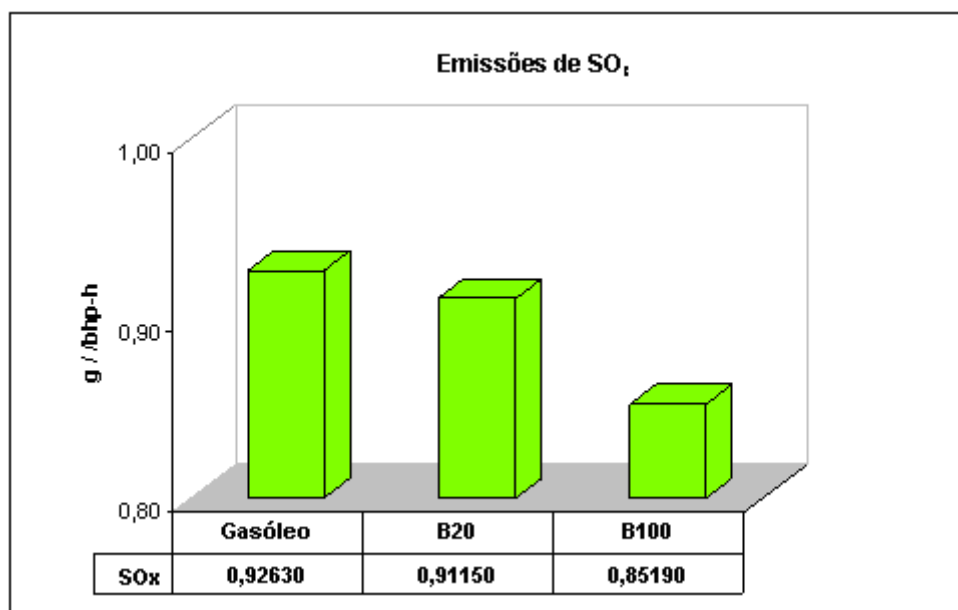


Figura 3.30 - Emissões de SO_x nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

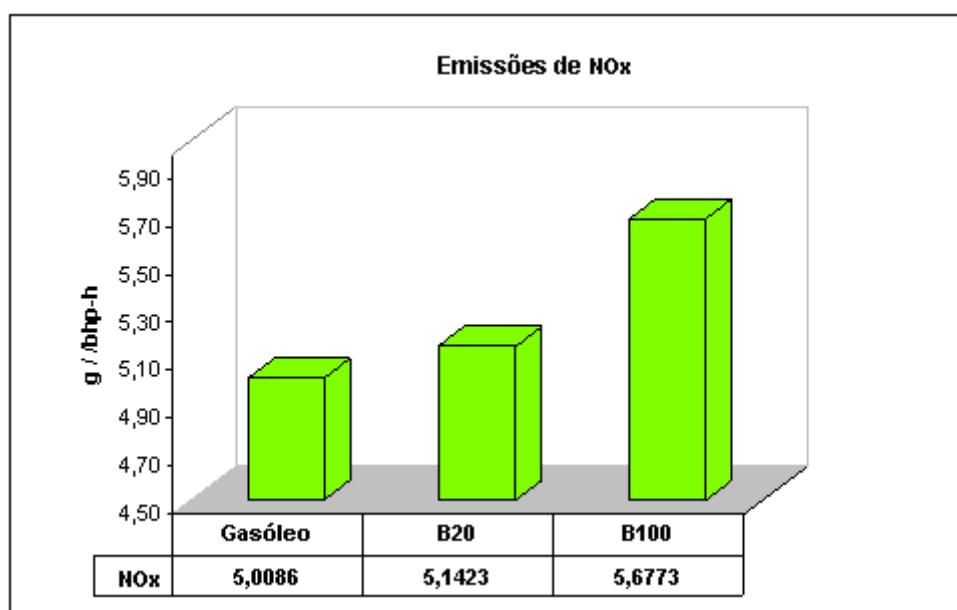


Figura 3.31- Emissões de NOx nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

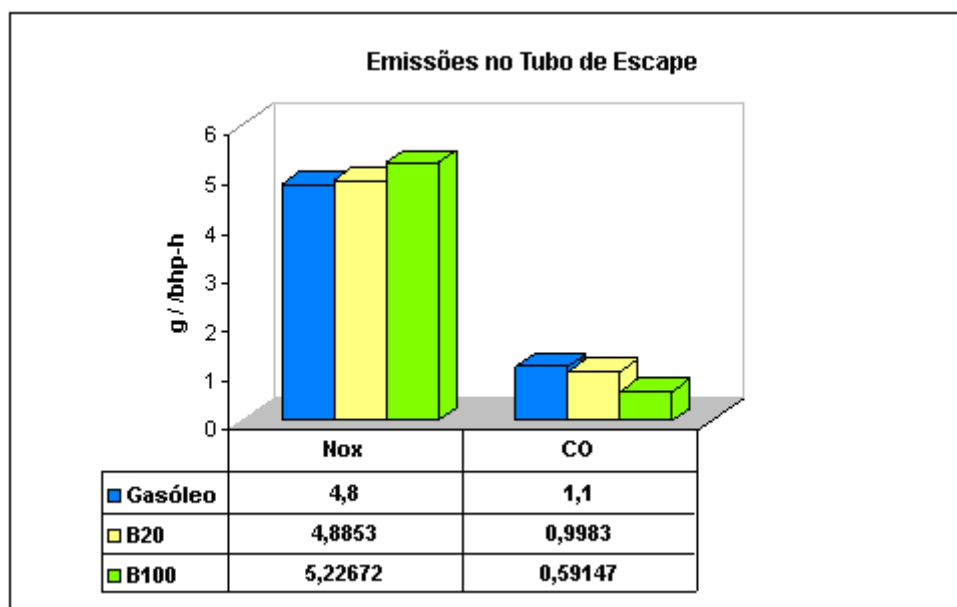


Figura 3.32 - Emissões produzidas no tubo de Escape, pelo gasóleo, B20 e B100
 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[\[http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf\]](http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf)

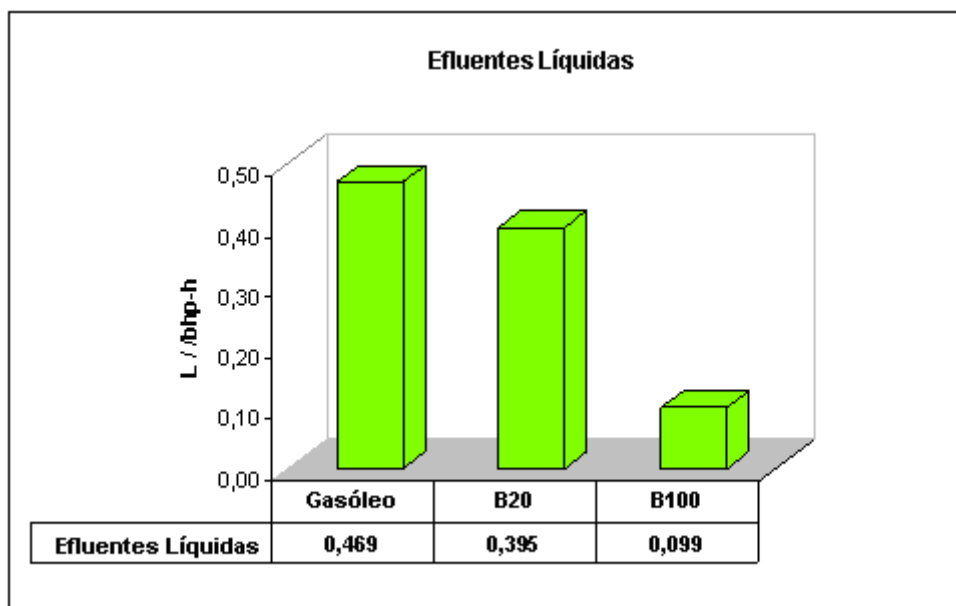


Figura 3.33 - Efluentes Líquidos produzidos durante o Ciclo de Vida do gasóleo, B20 e B100
Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

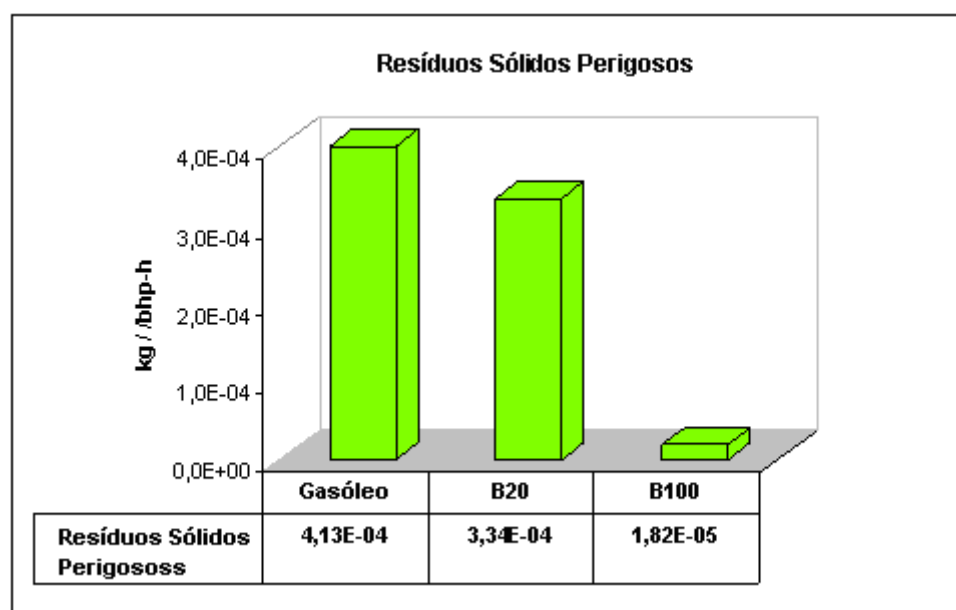


Figura 3.34 - Resíduos Sólidos Perigosos produzidos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100
Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998.
[<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

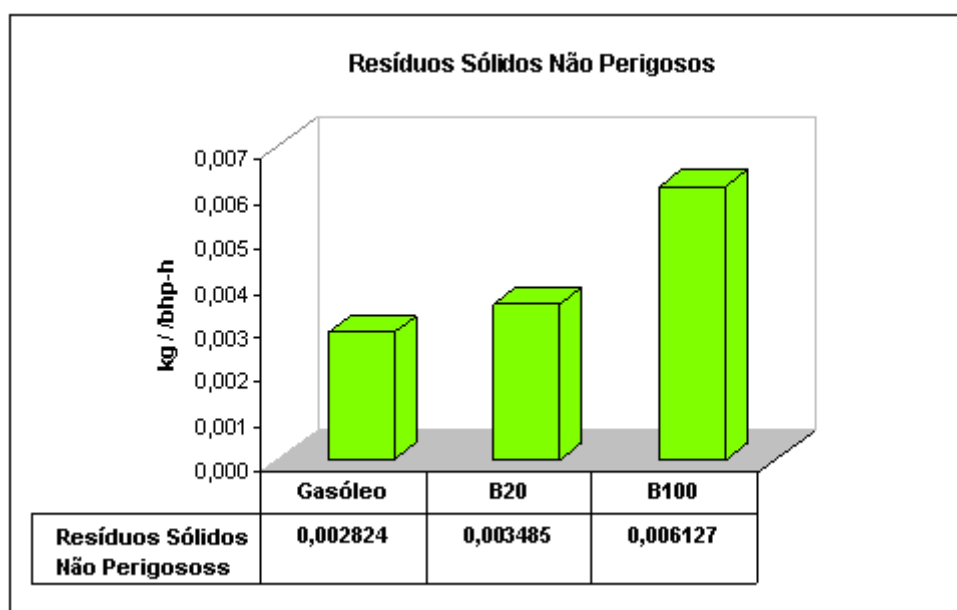


Figura 3.35 - Resíduos Sólidos não Perigosos produzidos nos Ciclos de Vida do gasóleo, B20 e B100 Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, 1998. [<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>]

No estudo desenvolvido por NOCKER ET AL. (1998), verificou-se que o biodiesel é ambientalmente mais favorável, nomeadamente em termos de emissões de CO₂ e de outras emissões gasosas nocivas para a saúde e meio ambiente (excepto NO_x, que apresenta um valor de emissões mais elevado em relação ao gasóleo). Relativamente ao consumo de água, este é maior na ACV do biodiesel.

No entanto, quando o biodiesel é produzido a partir de óleos de fritura, a etapa responsável pelo consumo de água, não é considerada, visto que o óleo usado constitui um resíduo. Desta forma, o impacto ambiental torna-se à partida bastante favorável, visto que se produz energia a partir de um resíduo cujo destino, neste momento, não está definido, acabando por ser descartado nas águas, contaminando-as.

LIMA ET AL., (2007), referem que os resultados da comparação da emissão de gases de efeito estufa indicam que o biodiesel de óleos residuais apresenta um nível de emissões menor que o do diesel (cerca de 3,5 vezes), enquanto que o biodiesel de soja, apresenta um nível de emissões maior que o do diesel de petróleo (cerca de 1,3 vezes), sendo a maior contribuição, para o biodiesel de soja e de óleos de fritura, oriundos da cadeia de produção do metanol, incluindo-se a fase de combustão do diesel e do biodiesel num autocarro padrão.

Neste cenário, o biodiesel de óleos residuais apresentou um nível de emissão menor (cerca de 19,4 vezes comparado ao diesel). O biodiesel de soja apresentou um nível de emissões intermediário entre o biodiesel de óleos de fritura e o gasóleo (cerca de 5,2 vezes menor que o gasóleo), tendo em vista o peso das emissões da fase agrícola da soja. A maior contribuição na emissão dos gases está na cadeia de produção do metanol, devido à sua origem fóssil [LIMA ET AL., 2007; ALMEIDA NETO, 2006], enquanto que o CO₂ libertado na cadeia do etanol é de origem fotossintética. O CO₂ emitido pelas matérias-primas óleo de soja e óleos residuais de fritura também é de origem fotossintética enquanto que o diesel, que é de origem fóssil, emite CO₂ que contribui para o aquecimento global [LIMA ET AL., 2007].

No caso dos gases da chuva ácida, a emissão média do diesel foi maior e está relacionada aos teores médios de enxofre superiores do diesel. No estudo do ciclo de vida completo, o biodiesel apresenta um nível médio de emissões (kg/MJ) de gases de efeito de estufa, menor do que o diesel de petróleo. No caso dos gases da chuva ácida os valores apresentam-se favoráveis ao biodiesel [ALMEIDA NETO, 2006].

4. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ÓLEOS ALIMENTARES NA AMP

4.1. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DE ÓLEOS ALIMENTARES

ÓLEOS VEGETAIS

De acordo com a Federação das Indústrias de Óleos Vegetais, Derivados e Equiparados [FIOVDE], a produção global de óleos vegetais em Portugal em 1999, atingiu as 102.000 toneladas, correspondendo este valor a 115 milhões de litros de óleos refinados embalados [RIBEIRO, 2002]

A distribuição geográfica do consumo de óleos vegetais é apresentada na figura seguinte.

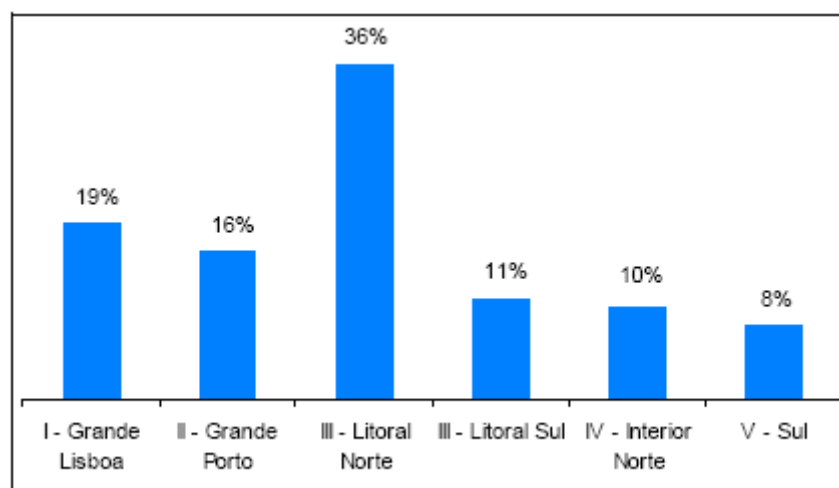


Figura 4.1 - Distribuição geográfica do consumo de óleos vegetais [INA, 1999]

AZEITE

Dados do INE indicam que em 1997, o consumo de azeite em Portugal foi de 56 milhões de kg, o que corresponde a 61 milhões de litros dado a densidade do azeite ser 0,916. Sendo assim a captação anual é de 5,6 kg / pessoa / ano, ou 6,1 L / pessoa / ano. A distribuição geográfica do consumo de azeite é apresentada na Figura 4.2.

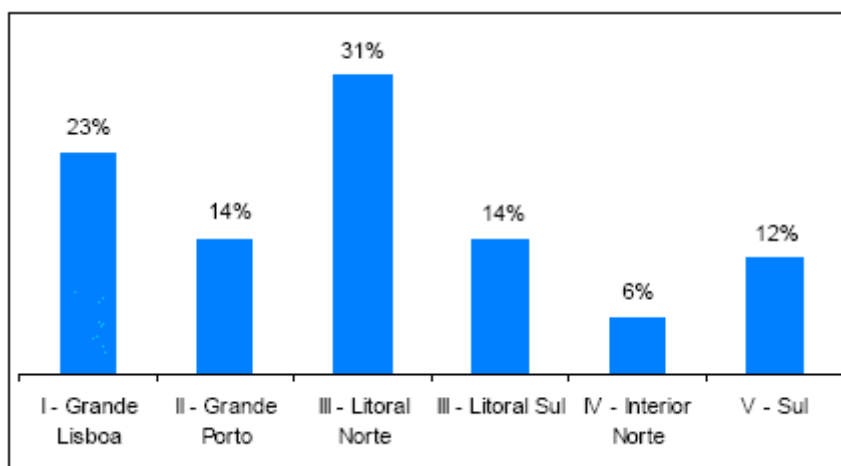


Figura 4.2 - Distribuição geográfica do consumo de azeite
[INA, 1999]

A estimativa da produção de resíduos de óleos vegetais e azeite na AMP baseia-se em dois pressupostos essenciais, a saber:

1. A estimativa parte do consumo total de óleos vegetais e azeite, verificada em Portugal (para o ano de 1999), de acordo com dados disponibilizados pelo FIOVDE e Instituto Nacional de Estatística (INE), respectivamente. Com base nos valores fornecidos por estas entidades, e de acordo com dados da distribuição geográfica do consumo, fornecidos pela INA, para o mesmo ano civil, calculou-se o consumo destes consumíveis, na Área Metropolitana do Porto.
2. A partir de estimativas determinadas anteriormente, considerou-se que cerca de 45 % do total de óleos consumidos constituem efectivamente resíduos, já que, daquela totalidade, 40 % são incorporados nos alimentos e 15 % constituem “perdas” (fugas, óleo absorvido nos filtros de papel, etc.) [INR, 2004].

Os estudos realizados em 2004 pelo Instituto Nacional de Resíduos (INR) - Linhas de Definição Estratégica do Sistema de Gestão dos Óleos Alimentares Usados – e outro realizado em finais de 2003 pela Associação da Restauração e Similares de Portugal (ARESP) – Inquérito aos Empresários da Restauração acerca da eliminação dos resíduos de óleos alimentares, admitem que do total de óleos consumidos, se obtém 45 % de resíduos de óleos alimentares e que é viável a recuperação total nos sectores industrial e de restauração e 10 % no sector doméstico. A súmula destes dois estudos, foi apresentada posteriormente num estudo da OEINERGE (Agência Municipal de Energia e Ambiente de Oeiras).

Esta estimativa é consolidada através de um estudo elaborado pela Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, no seu relatório de Julho de 2005 - Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na Região Autónoma da Madeira. Neste relatório são comparadas quatro metodologias para a estimativa de produção de resíduos de óleos alimentares, tendo sido apresentado como mais fiável, o método baseado nestes estudos.

Para a estimativa da produção de resíduos de óleos alimentares na AMP, é admitido um sistema de recolha eficiente no sector doméstico (através de um sistema eficaz de incentivos e de sensibilização), pelo que foi considerada a percentagem de 45 % de produção de resíduos em todos os sectores (industrial, restauração e doméstico). Os valores obtidos estão apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.1 – Resíduo anual produzido de óleo vegetal e azeite na AMP

	Consumo (t)	% Consumo AMP	Consumo AMP (t)	Resíduo Produzido (t)
Óleo Vegetal	102000	0,16	16320	7344
Azeite	56000	0,14	7840	3528
Total (t)				10872

Numa segunda abordagem, teve-se em conta os dados do INE, de 14 de Dezembro de 2006, referidos num estudo da Balança Alimentar Portuguesa, e no qual se apresenta o consumo de óleos vegetais e de azeite, durante o período de tempo compreendido entre 1990 e 2003.

Neste estudo, constatou-se que as gorduras de origem vegetal (óleos vegetais, azeite e margarinas) representaram, em 2003, 67 % da capitação diária de gorduras, relegando, desta forma, as gorduras animais (manteiga, banha e toucinho) para segundo plano. É de salientar, contudo, a crescente importância do azeite, gordura esta com valor nutricional importante e com comprovados benefícios para a saúde, cujo consumo aumentou 86 % no período em análise. De facto, enquanto que em 1990 o azeite contribuía com apenas 9 gramas das cerca de 47 gramas (19 %) das gorduras líquidas, em 2003 o seu contributo passou a ser de aproximadamente 17 gramas das 52 gramas (32 %) de gorduras líquidas. A capitação diária de gorduras de origem vegetal e de azeite, em g/hab/dia, é apresentada nos gráficos a seguir.

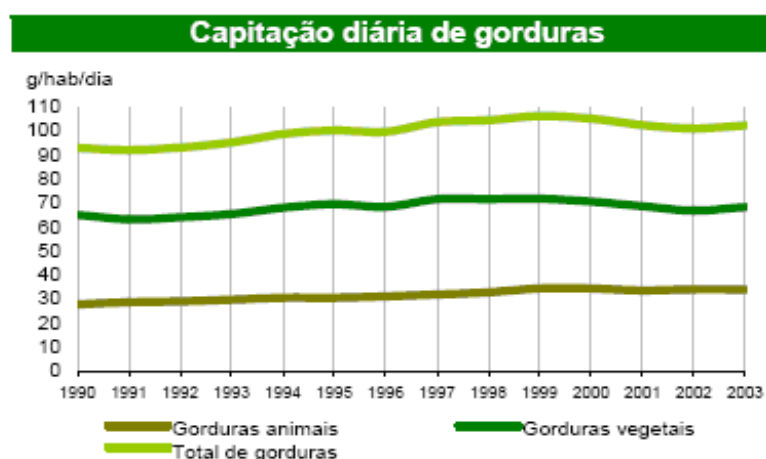


Figura 4.3 – Consumo diário de gorduras, expressas em g/hab/dia [INE, 2006]

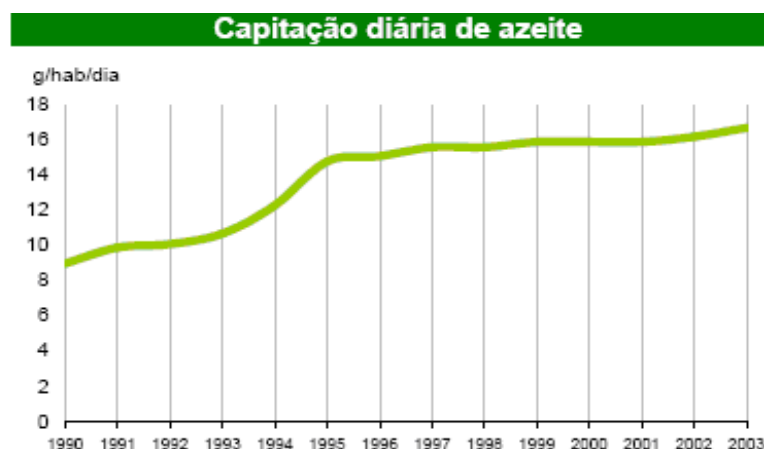


Figura 4.4 – Consumo diário de azeite, expressas em g/hab/dia [INE, 2006]

Da sua análise, verifica-se então, que o consumo de gorduras de origem vegetal é 1,5 vezes superior ao consumo de gorduras animais, assim como o consumo de azeite quase duplica no período em análise.

Com base nos valores retirados dos gráficos apresentados anteriormente, foi possível determinar o consumo diário de óleos vegetais e azeite, para a Área Metropolitana do Porto (AMP). Constituem actualmente a Grande Área Metropolitana do Porto 14 Municípios: Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia, que integravam a anterior Área Metropolitana do Porto, tendo-se posteriormente juntado a este grupo os Municípios de Arouca, Santa Maria da Feira, S. João da Madeira, Trofa e Santo Tirso. A respectiva adesão foi aprovada na reunião da Assembleia Metropolitana do Porto de 28 de Janeiro de 2005, passando a Grande Área Metropolitana do Porto a ser constituída por 14 Municípios.

A área Metropolitana do Porto ocupa uma área de 1,575 km², contando, actualmente, com uma população aproximada de 1 570 800 habitantes.

Tendo em conta o número de habitantes referido na sua página oficial, <http://www.amp.pt>, foi possível determinar o consumo anual de óleos vegetais e azeite, na AMP. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.2 - Consumo anual de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003

Ano	Consumo óleo (g/hab/dia)	Consumo azeite (g/hab/dia)	Consumo total (g/hab/dia)	Consumo total (t/ano)
1990	65	9	74	42427
1991	63	10	73	41854
1992	65	10	75	43001
1993	66	10,5	76,5	43861
1994	67	12	79	45294
1995	70	15	85	48734
1996	68	15	83	47587
1997	70	15,5	85,5	49021
1998	70	15,5	85,5	49021
1999	70	16	86	49307
2000	68	16	84	48161
2001	65	16	81	46441
2002	63	16,5	79,5	45581
2003	65	17	82	47014

Posteriormente, tendo em conta o mesmo pressuposto de que apenas 45 % do total de óleos vegetais e azeite, constitui resíduo, determinou-se o resíduo produzido anualmente na AMP.

Tabela 4.3 – Resíduo produzido de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003

Ano	Consumo total (t/ano)	Resíduo produzido (t/ano)
1990	42427	19092
1991	41854	18834
1992	43001	19350
1993	43861	19737
1994	45294	20382
1995	48734	21930
1996	47587	21414
1997	49021	22059
1998	49021	22059
1999	49307	22188
2000	48161	21672
2001	46441	20898
2002	45581	20511
2003	47014	21156

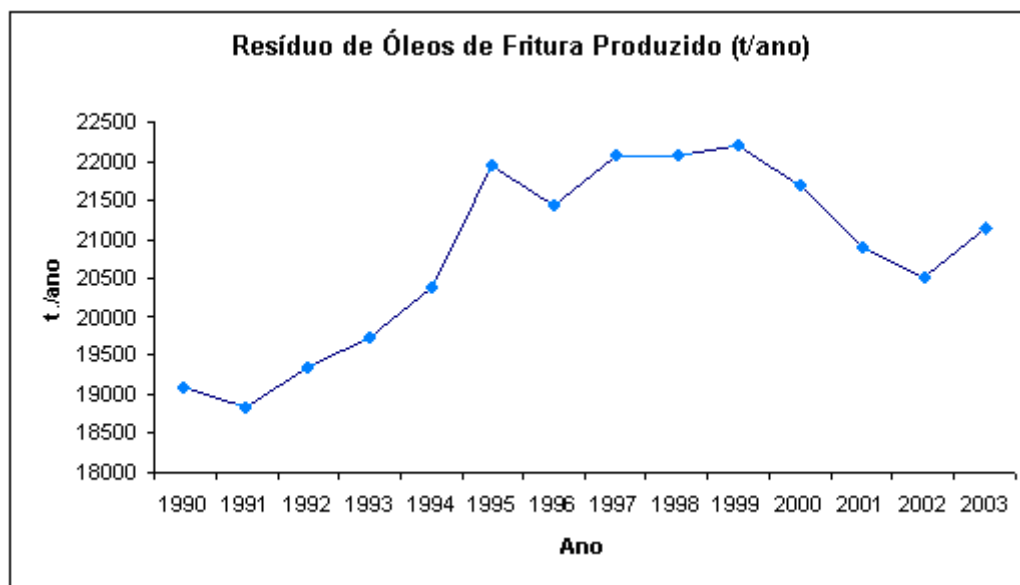


Figura 4.5 - Resíduo produzido de óleos vegetais e azeite na AMP, para os anos 1990-2003

Comparando os valores obtidos para o ano de 1999, com os obtidos pela primeira abordagem, verifica-se que o primeiro valor é praticamente metade do valor obtido por esta última abordagem. Essa diferença pode ter a ver com o número de habitantes da AMP utilizado, uma vez que foi utilizado sempre o mesmo valor para o período de tempo em estudo (1990-2003).

No entanto, segundo estudos feitos pela AMP, referidos no respectivo site, na década de 90 verificou-se uma dinâmica de recomposição do espaço metropolitano, marcada pela forte tendência de descentralização populacional a favor dos concelhos periféricos. A cidade do Porto registou uma perda de quase 40 mil habitantes, enquanto que a Área Metropolitana, no seu conjunto, apresentou um acréscimo de 93 mil residentes, principalmente protagonizados por segmentos etários jovens. Desta forma, em termos práticos, essa possível diferença de 93 000 habitantes em relação ao valor actual, apenas representa 2919 t/ano (cerca de 5,9 %), de resíduo produzido de óleos alimentares.

Por outro lado, deve-se ter em conta que os valores obtidos na segunda abordagem, foram baseados em valores de consumo de óleos a nível nacional, não tendo em conta a variabilidade deste consumo a nível distrital, como no estudo feito anteriormente em que o consumo de óleos alimentares na área do grande Porto, representava cerca de 16 % do consumo nacional.

Segundo dados do INE, [<http://alea-estp.ine.pt/html/actual/html/act27.html>], a população nacional entre 1991 e 2001, aumentou a uma taxa de 5 %, sendo que, a 12 de Março de 2001 residiam em Portugal 10 355 824 indivíduos, dos quais 4 999 964 eram homens e 5 355 860 eram mulheres. A partir destes dados, chega-se a uma estimativa de 10 252 266 habitantes, no ano de 1999. Se utilizarmos novamente o pressuposto de que o consumo de óleos alimentares e azeite, na área do grande Porto, representa cerca de 16 % e 14 %, respectivamente; chega-se a um valor de 50 294 t/ano de consumo cumulativo destes dois consumíveis, o que representa 22 632 t/ano de resíduos de óleos vegetais alimentares produzidos. Estes valores, estão consistentes com os valores obtidos na segunda abordagem para o mesmo ano civil, sem a aplicação do pressuposto da variação distrital do consumo, pelo que se pode concluir da robustez dos restantes resultados bem como dos pressupostos utilizados nos cálculos.

4.2. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE BIODIESEL PRODUZIDA ANUALMENTE

Para determinar a quantidade de biodiesel produzida anualmente, teve-se em conta a quantidade de matéria-prima disponível, ou seja, a quantidade de resíduo de óleos alimentares. Com base nos valores obtidos anteriormente, e considerando a equação de transesterificação, que define a relação estequiométrica de 1/1,05 (m/m) para biodiesel/matéria prima, foi determinada a quantidade de biodiesel e glicerina produzidos.

A estequiometria das reacções químicas é sua a interpretação quantitativa, onde o coeficiente estequiométrico de uma reacção química informa a quantidade relativa (número de moles) de uma substância que reage ou é produzida. Na reacção de transesterificação, uma mol de óleo reage produzindo uma mol de biodiesel (em massa obtém-se a relação 1/1,05 referida anteriormente).

No entanto, por simplicidade, a produção de biodiesel (estimativa de reagentes necessários e quantidade de produtos de reacção), pode ser determinada com base numa relação empírica (1/1 em massa). Nesse caso, a relação molar (relação estequiométrica), é transposta para a relação mássica sem ter em conta a massa molecular dos intervenientes da reacção.

Na Tabela 4.4 estão apresentados os valores obtidos de produção de biodiesel, tendo em conta a primeira abordagem para a determinação da quantidade de resíduos produzidos, para o ano civil de 1999.

Tabela 4.4 - Estimativa de produção de biodiesel para o ano de 1999, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica

Ano	Resíduo Produzido (t/ano)	Biodiesel Produzido (t/ano)	
		Relação Empírica	Relação Estequiométrica
1999	13288	13288	12655

Para os dados obtidos na segunda abordagem, obtiveram-se os seguintes valores de produção de biodiesel.

Tabela 4.5 - Estimativa de produção anual de biodiesel para o anos de 1990- 2003, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica

Ano	Resíduo Produzido (t/ano)	Biodiesel Produzido (t/ano)	
		Relação Empírica	Relação Estequiométrica
1990	19092	19092	18183
1991	18834	18834	17937
1992	19350	19350	18429
1993	19737	19737	18797
1994	20382	20382	19412
1995	21930	21930	20886
1996	21414	21414	20395
1997	22059	22059	21009
1998	22059	22059	21009
1999	22188	22188	21132
2000	21672	21672	20640
2001	20898	20898	19903
2002	20511	20511	19535
2003	21156	21156	20149

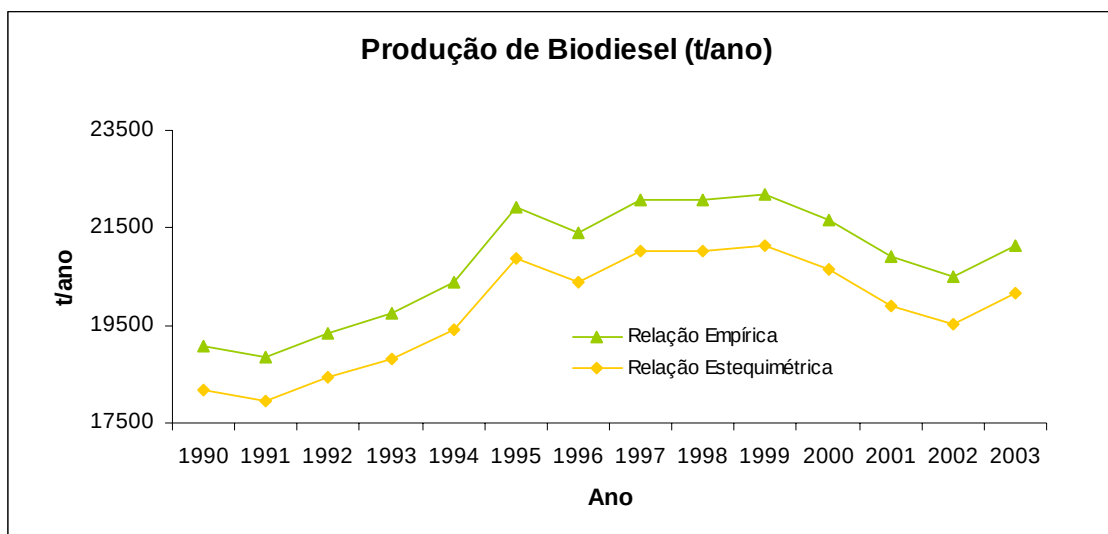


Figura 4.6 - Estimativa de produção anual de biodiesel para o anos de 1990- 2003, segundo a relação empírica e a relação estequiométrica

Com base nos valores fornecidos pela Direcção Geral de Energia e Geologia, [<http://www.dgge.pt/>], foi determinada a taxa de substituição de biodiesel na AMP, caso todo o biodiesel produzido, fosse para substituição do gasóleo. Estes estudo foi aplicado aos anos civis considerados nas estimativas feitas anteriormente.

Posteriormente, foi determinada a redução de emissões de CO₂ e o respectivo benefício financeiro máximo em milhões de euros (M€) ao ano, partindo do pressuposto que 1 kg de gasóleo substituído por biodiesel, reduz entre 2,4 kg e 3,2 kg (Baseado em estudos do NREL e do U.S. Department of Energy) as emissões de CO₂ e que a taxa europeia por tonelada de CO₂ é de 17,7 euros [QUERCUS, 2002].

Para estas estimativas, teve-se como base de cálculo, a quantidade de biodiesel produzida tendo em conta a relação estequiométrica da reacção de transesterificação dos ácidos gordos.

Tabela 4.6 – Consumo de gasóleo na AMP, percentagem de produção de biodiesel sobre o consumo de gasóleo na AMP e estimativas da redução de CO₂ e respectivo benefício financeiro, para os anos 1990-2003

Ano	Biodiesel Produzido (t/ano)	Consumo Gasóleo na AMP (t/ano)	Biodiesel/Gasóleo %	Redução de CO ₂ (t/ano)		Benefício Financeiro Máximo (M€/ano)
				Mínima	Máxima	
1990	18183	319154	5,7	43640	58186	1,0
1991	17937	326586	5,5	43050	57400	1,0
1992	18429	344048	5,4	44229	58972	1,0
1993	18797	395324	4,8	45114	60152	1,1
1994	19412	459942	4,2	46588	62118	1,1
1995	20886	509104	4,1	50126	66835	1,2
1996	20395	538567	3,8	48947	65263	1,2
1997	21009	569226	3,7	50421	67228	1,2
1998	21009	649466	3,2	50421	67228	1,2
1999	21132	697401	3,0	50716	67622	1,2
2000	20640	779900	2,6	49537	66049	1,2
2001	19903	792613	2,5	47768	63690	1,1
2002	19535	907889	2,2	46883	62511	1,1
2003	20149	886359	2,3	48357	64476	1,1

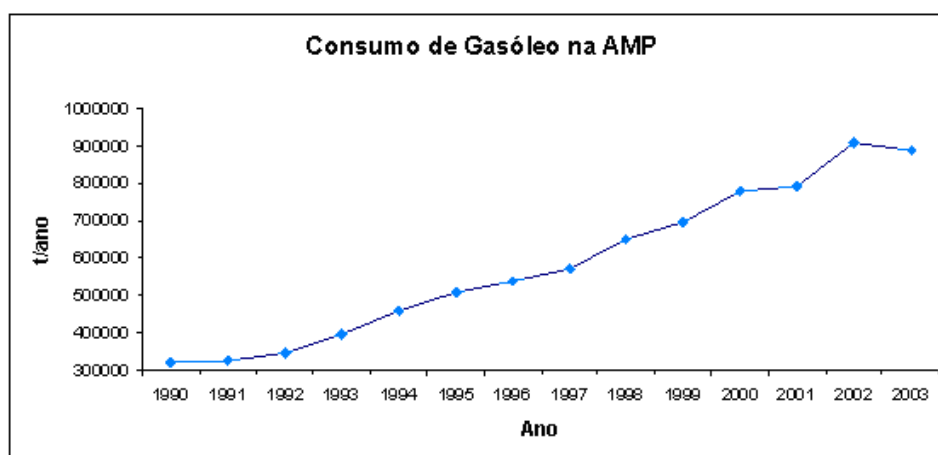


Figura 4.7 – Consumo de gasóleo na AMP em t/ano, para os anos 1990-2003

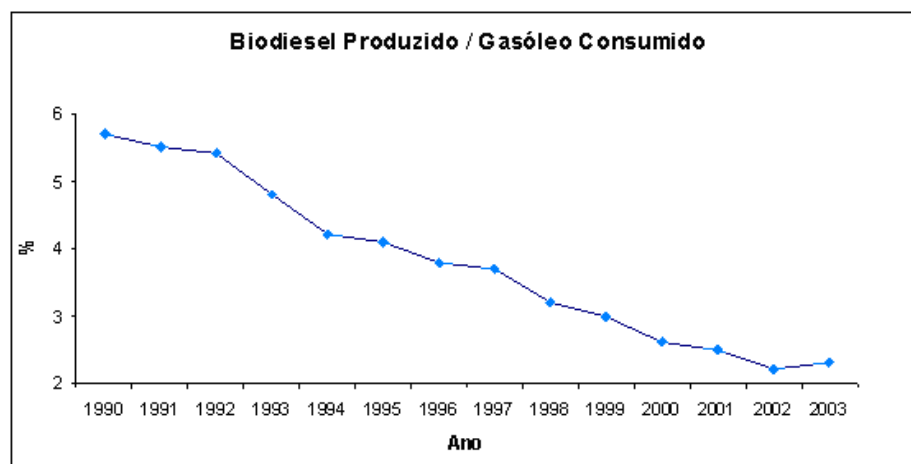


Figura 4.8 – Percentagem de biodiesel produzido na AMP sobre o consumo de gasóleo na AMP, para os anos 1990-2003

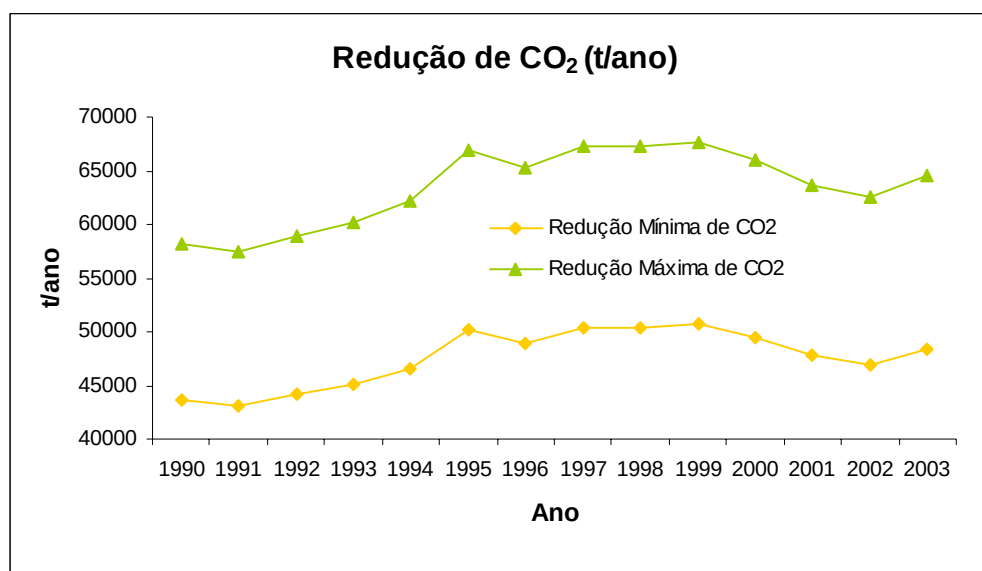


Figura 4.9 – Redução de CO₂ (t/ano) na AMP, associados à substituição de gasóleo por biodiesel produzido na AMP, para os anos 1990-2003

Verifica-se que a taxa de substituição de gasóleo por biodiesel tem vindo a diminuir, pelo facto do consumo de gasóleo ter aumentado ao longo destes anos. No entanto, a diminuição de emissões de CO₂ é bastante significativa, representando cerca de 1,2 M€ anuais, tendo em conta a taxa europeia de emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

4.3. ESTIMATIVA DAS QUANTIDADES DE REAGENTES/UTILIDADES NECESSÁRIAS À PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Com base nas quantidades produzidas de resíduos de óleos alimentares, na AMP, e tendo em conta a reacção de transesterificação, foram determinadas as quantidades necessárias de matérias primas, bem como de utilidades (vapor e electricidade), para a produção do biodiesel.

Para fazer estas estimativas, foram tomadas considerações práticas adicionais, referidas oportunamente.

4.3.1. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ÁLCOOL

Como referido anteriormente, para a reacção de transesterificação, são utilizados álcoois de cadeia curta, nomeadamente o metanol e o etanol. O metanol torna-se economicamente mais vantajoso, devido às condições operacionais menos exigentes, (menor tempo de reacção e tempo de reacção mais curto), tendo no entanto como desvantagem a sua maior toxicidade. O etanol, por seu turno, em termos ambientais pode representar alguma vantagem, caso seja produzida a partir da biomassa, para além de ser biodegradável.

Em termos práticos, a reacção ocorre com excesso de álcool devido ao carácter reversível da mesma. Desta forma, a reacção é deslocada no sentido da produção de biodiesel, de acordo com o princípio de Le Chatelier. Assim, para produzir mil litros de biodiesel, as unidades industriais incorporam actualmente no processo de produção, até 300 litros de metanol. Quando é utilizado o etanol, esse número sobe ao patamar de 500 litros do álcool [OLIVEIRA, 2007].

4.3.2. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CATALISADOR

Tendo em conta a catálise ácida e básica, uma vez que estas são as mais comuns a nível industrial, a catálise básica tem demonstrado claras vantagens, nomeadamente os altos rendimentos obtidos.

Assim, neste estudo prático foi considerado o processo de transesterificação com catálise básica. Neste tipo de catálise, o hidróxido de sódio, apresenta vantagens a nível de segurança, pois o tanto o metilato de sódio, como o de potássio, são bastantes reactivos. Por outro lado, o hidróxido de sódio conhecido comercialmente como soda cáustica, é mais económico, apresenta maior disponibilidade no mercado, para além de apresentar melhor rendimento [MENDES, 2005].

Quando se emprega catálise alcalina, seja com o emprego de NaOH, KOH, metilato de sódio ou metilato de potássio, a quantidade de catalisador mais indicada varia de 0,5 % a 3 % em peso da quantidade de lipídeo. A melhor relação tem que ser avaliada caso a caso, mas na prática quando se emprega metilato de sódio, a 50 %, o teor normalmente varia entre 0,5 % a 1,5 % [FELICIANO FILHO ET AL., 2007].

4.3.3. CONDIÇÕES OPERACIONAIS

A temperatura de reacção é função basicamente do meio, sistema catalítico utilizado e do álcool. Tipicamente, quando se produz o biodiesel a partir do metanol, em meio básico e empregando metilato de sódio como catalisador, a temperatura de reacção recomendada situa-se entre 60 °C a 70 °C, com um tempo de reacção de cerca de 45 minutos. Caso seja utilizado etanol, para um tempo de reacção de uma hora a temperatura recomendada situa-se entre os 80 °C a 90 °C, o que implica maiores gastos energéticos nomeadamente em vapor e electricidade.

Para a produção do biodiesel pode ser empregado tanto o sistema em carga como o contínuo. O primeiro é utilizado para pequena escala ou quando se deseja muita flexibilidade de produção, contudo, normalmente o seu custo é superior; já o segundo, é empregado para escala maior quando se tem um suprimento constante de matéria-prima, principalmente dos lipídeos [FELICIANO FILHO ET AL., 2007].

Desta forma, para este estudo foi considerada a catálise alcalina, por hidróxido de sódio, tendo sido estabelecida a comparação entre a rota metílica e etílica.

Com base nestes pressupostos para a primeira estimativa dos reagentes e utilidades necessários ao processo de transesterificação dos óleos produzidos na Área Metropolitana do Porto, foram consideradas as seguintes condições operacionais descritas na tabela seguinte.

Tabela 4.7 - Matérias primas, utilidades e produtos necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para as rotas metílica e etílica (estimativa 1)

Materiais e Energias	Unidade	Quantidade			
		Rota metílica		Rota etílica	
		Catalisador		Catalisador	
		NaOH	KOH	NaOH	KOH
Entrada	Óleo	kg	1000	1000	1000
	Etanol	L	0	0	200
	Metanol	L	146	146	0
	Hidróxido de sódio	kg	5,5	0	6,8
	Hidróxido de potássio	kg	0	7,4	0
	Ácido fosfórico	kg	12,9	12,9	16,7
	Água de processo	L	200	200	300
	Electricidade	kWh	70	70	80
	Calor	kcal	360000	360000	600000
Saída	Biodiesel	L	1000	1000	1000
	Glicerina bruta	kg	130	130	130

[Mendes, 2005]

Esta estimativa foi aplicada à Área Metropolitana do Porto, para os anos compreendidos entre 1990-2003, tendo por base a estimativa de produção de biodiesel a partir de resíduos de óleos de fritura, realizada anteriormente neste trabalho. Os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas seguintes e de forma compilada, nos gráficos da Figura 4.10. Confirma-se assim, que a rota etílica consome mais energia e reagentes que a rota metílica.

Tabela 4.8 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota metílica – estimativa 1

Rota Metílica										
Catalisador										
Ano	Óleo (t)	NaOH (t)	KOH (t)	Metanol (L)	Ácido Fosfórico (t)	H ₂ O (L)	Electricidade(kWh)	Calor (kJ)	Biodiesel (t)	Glicerina Bruta(t)
1990	19092	105	141,3	2787432	246,3	3818400	1,34E+06	2,88E+10	19092	2482
1991	18834	103,6	139,4	2749764	243	3766800	1,32E+06	2,84E+10	18834	2448,4
1992	19350	106,4	143,2	2825100	249,6	3870000	1,35E+06	2,92E+10	19350	2515,5
1993	19737	108,6	146,1	2881602	254,6	3947400	1,38E+06	2,98E+10	19737	2565,8
1994	20382	112,1	150,8	2975772	262,9	4076400	1,43E+06	3,07E+10	20382	2649,7
1995	21930	120,6	162,3	3201780	282,9	4386000	1,54E+06	3,30E+10	21930	2850,9
1996	21414	117,8	158,5	3126444	276,2	4282800	1,50E+06	3,23E+10	21414	2783,8
1997	22059	121,3	163,2	3220614	284,6	4411800	1,54E+06	3,32E+10	22059	2867,7
1998	22059	121,3	163,2	3220614	284,6	4411800	1,54E+06	3,32E+10	22059	2867,7
1999	22188	122	164,2	3239448	286,2	4437600	1,55E+06	3,35E+10	22188	2884,4
2000	21672	119,2	160,4	3164112	279,6	4334400	1,52E+06	3,27E+10	21672	2817,4
2001	20898	114,9	154,6	3051108	269,6	4179600	1,46E+06	3,15E+10	20898	2716,7
2002	20511	112,8	151,8	2994606	264,6	4102200	1,44E+06	3,09E+10	20511	2666,4
2003	21156	116,4	156,6	3088776	272,9	4231200	1,48E+06	3,19E+10	21156	2750,3

Tabela 4.9 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e etílica – estimativa 1

Rota Etílica										
Catalisador										
Ano	Óleo (t)	NaOH(t)	KOH(t)	Etanol (L)	Ácido Fosfórico(t)	H ₂ O (L)	Electricidade(kWh)	Calor(kJ)	Biodiesel (t)	Glicerina Bruta(t)
1990	19092	129,8	183,3	3818400	318,8	5727600	1527360	4,82E+10	19092	2482
1991	18834	128,1	180,8	3766800	314,5	5650200	1506720	4,73E+10	18834	2448,4
1992	19350	131,6	185,8	3870000	323,1	5805000	1548000	4,86E+10	19350	2515,5
1993	19737	134,2	189,5	3947400	329,6	5921100	1578960	4,94E+10	19737	2565,8
1994	20382	138,6	195,7	4076400	340,4	6114600	1630560	5,11E+10	20382	2649,7
1995	21930	149,1	210,5	4386000	366,2	6579000	1754400	5,53E+10	21930	2850,9
1996	21414	145,6	205,6	4282800	357,6	6424200	1713120	5,36E+10	21414	2783,8
1997	22059	150	211,8	4411800	368,4	6617700	1764720	5,53E+10	22059	2867,7
1998	22059	150	211,8	4411800	368,4	6617700	1764720	5,53E+10	22059	2867,7
1999	22188	150,9	213	4437600	370,5	6656400	1775040	5,57E+10	22188	2884,4
2000	21672	147,4	208,1	4334400	361,9	6501600	1733760	5,44E+10	21672	2817,4
2001	20898	142,1	200,6	4179600	349	6269400	1671840	5,23E+10	20898	2716,7
2002	20511	139,5	196,9	4102200	342,5	6153300	1640880	5,15E+10	20511	2666,4
2003	21156	143,9	203,1	4231200	353,3	6346800	1692480	5,32E+10	21156	2750,3

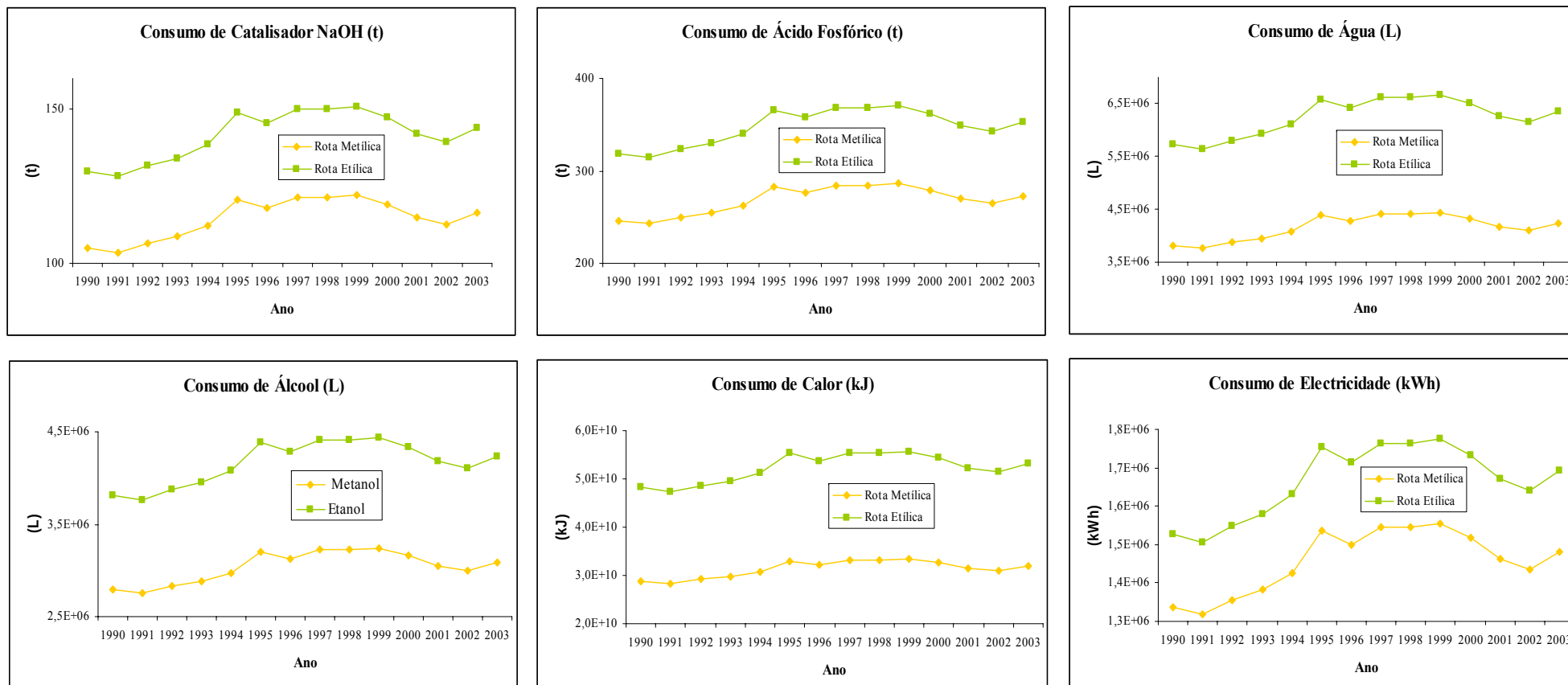


Figura 4.10 – Comparação do consumo de reagentes e utilidades pelas rotas metilica e etilica, na estimativa 1

Esta estimativa foi posteriormente comparada com outra elaborada com base na Tabela 4.10, que compila algumas considerações práticas, referidas anteriormente neste trabalho, para a determinação da quantidade de reagentes e utilidades necessárias à produção de uma tonelada de biodiesel. Esta nova estimativa, é denominada estimativa 2.

Tabela 4.10 - Matérias-Primas e Utilidades necessárias por tonelada de biodiesel produzido pela estimativa 2

Matérias-Primas e Utilidades necessárias por t de Biodiesel Produzido	
Óleo de Fritura	1,05 :1 Óleo / Biodiesel (Massa) (Relação Estequiométrica)
Etanol	500 L
Metanol	300 L
NaOH	1,5 % em Massa de Lipídeo
Electricidade*	35 kWh
Vapor*	76 kg
Glicerina*	104 kg

* [<http://www.labcat.org/ladebio/semana1/palestras/SemanaBiodiesel-5-Bonomi.pdf>]

Os valores obtidos para a estimativa 2 da quantidade de reagentes e utilidades necessárias para a produção de biodiesel através do processo de transesterificação pela rota metélica e etélica, são apresentadas nas Tabelas 4.11 e 4.12, respectivamente.

Tabela 4.11 - Matérias primas, utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e metílica – estimativa 2

Ano	Óleo (t)	Metanol (L)	NaOH (t)	Rota Metílica		Biodiesel (t)	Glicerina Bruta (t)
				Electricidade(kWh)	Vapor (kg)		
1990	19092	6508735	286	668230	1451	18183	1986
1991	18834	6420779	283	659200	1431	17937	1959
1992	19350	6596691	290	677260	1471	18429	2012
1993	19737	6728624	296	690805	1500	18797	2053
1994	20382	6948514	306	713381	1549	19412	2120
1995	21930	7476249	329	767562	1667	20886	2281
1996	21414	7300338	321	749501	1627	20395	2227
1997	22059	7520227	331	772077	1677	21009	2294
1998	22059	7520227	331	772077	1677	21009	2294
1999	22188	7564205	333	776592	1686	21132	2308
2000	21672	7388294	325	758531	1647	20640	2254
2001	20898	7124426	313	731441	1588	19903	2173
2002	20511	6992492	308	717896	1559	19535	2133
2003	21156	7212382	317	740471	1608	20149	2200

Tabela 4.12 - Matérias primas e utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e etílica – estimativa 2

Ano	Óleo (t)	Etanol (L)	NaOH (t)	Rota Etílica		Biodiesel (t)	Glicerina Bruta (t)
				Electricidade(kWh)	Vapor (kg)		
1990	19092	24106425	286	668230	1451	18183	1986
1991	18834	23780663	283	659200	1431	17937	1959
1992	19350	24432188	290	677260	1471	18429	2012
1993	19737	24920831	296	690805	1500	18797	2053
1994	20382	25735238	306	713381	1549	19412	2120
1995	21930	27689813	329	767562	1667	20886	2281
1996	21414	27038288	321	749501	1627	20395	2227
1997	22059	27852694	331	772077	1677	21009	2294
1998	22059	27852694	331	772077	1677	21009	2294
1999	22188	28015575	333	776592	1686	21132	2308
2000	21672	27364050	325	758531	1647	20640	2254
2001	20898	26386763	313	731441	1588	19903	2173
2002	20511	25898119	308	717896	1559	19535	2133
2003	21156	26712525	317	740471	1608	20149	2200

Da comparação das Tabelas 4.11 e 4.12 confirma-se o maior consumo de álcool pela rota etílica. Comparando a estimativa 1 com a estimativa 2, verifica-se que a estimativa 2 é bastante simplista, pelo que apenas se diferencia a rota metílica da etílica, pela quantidade de álcool necessária ao processo.

Comparando o consumo de electricidade nas estimativas 1 e 2 para as rotas metílica e etílica, verifica-se que a estimativa 1 é mais penalizadora uma vez que consome bastante mais energia eléctrica. A Figura 4.11 demonstra estas considerações.

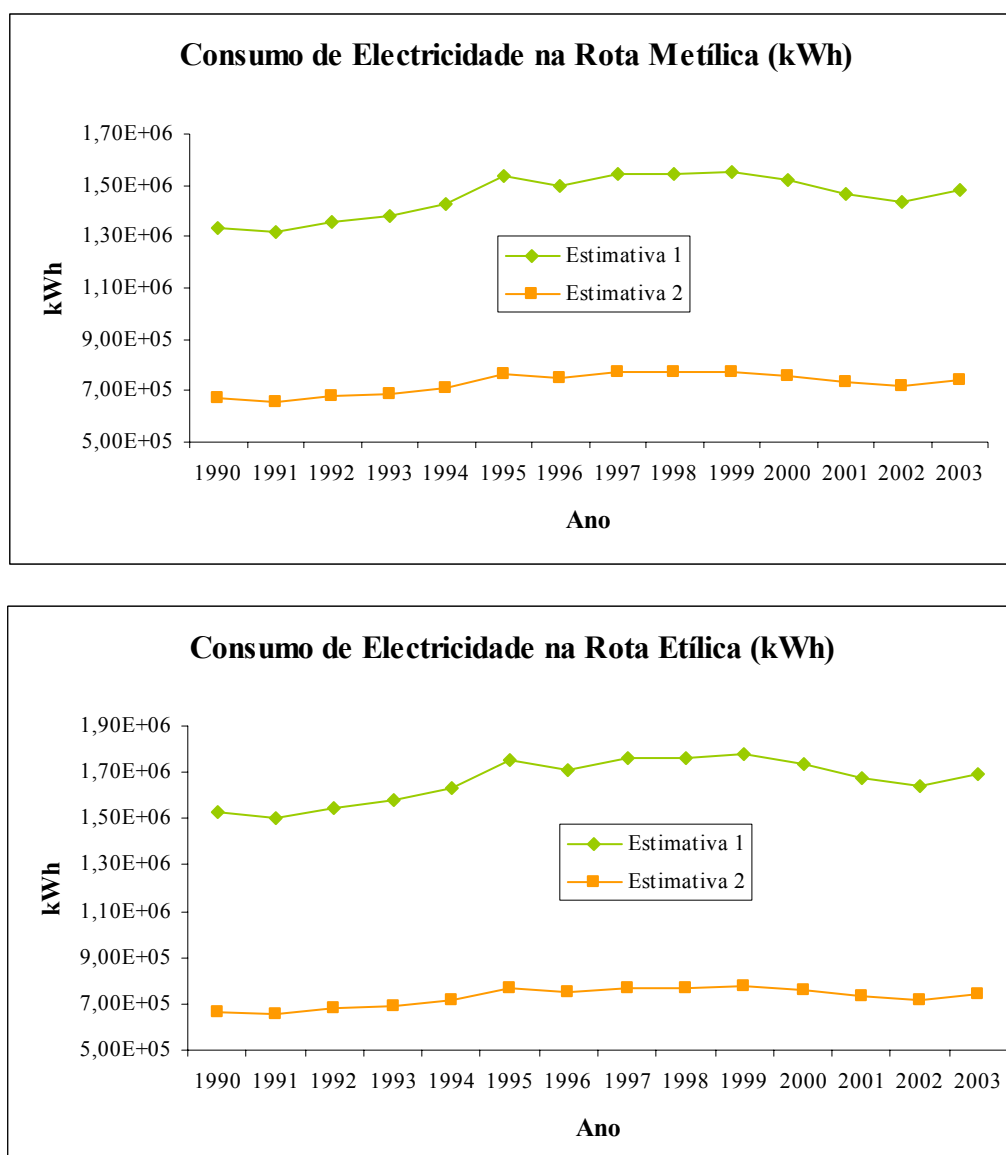


Figura 4.11 – Comparação do consumo de electricidade nas estimativas 1 e 2, pelas rotas metílica e etílica

Os óleos residuais usados em frituras apresentam propriedades físico-químicas com valores relativamente próximos ao do óleo refinado comercial, excepto pelo valor da acidez. No óleo residual de fritura esse índice mais alto pode ser explicado pelo teor de ácidos gordos livres provenientes da hidrólise dos triglicerídeos durante o processo de fritura, facilitado pela presença de água nos alimentos e pela temperatura elevada [SANTOS ET AL., 2007].

Os ácidos gordos livres reagem com o catalisador da reacção de transesterificação, aumentando o índice de saponificação e dificultando a extracção do biodiesel. Nesta situação, idealmente deveria proceder-se à reacção de esterificação dos ácidos gordos livres em detrimento da reacção de transesterificação.

Segundo estudos técnicos, a reacção de esterificação dos ácidos gordos livres com uma razão molar etanol/óleo fixa em 5:1, à temperatura de 82 ° C do meio reaccional, massa do catalisador de 0,9 % (m/m) e tempo de reacção de 35 min, é possível obter uma acidez final do óleo entre 0,86 a 0,90 %, aceitável para a transesterificação alcalina de óleos e gorduras para a produção de biodiesel [LÔBO ET AL., 2007]. Desta forma, procedendo-se à esterificação dos ácidos gordos livres, previamente à transesterificação, obter-se-ia um rendimento da produção de biodiesel, superior ao obtido sem esta etapa.

No entanto, esta etapa prévia de pré-tratamento da matéria-prima não foi considerada nos cálculos efectuados para a estimativa das matérias-primas, reagentes e utilidades necessárias de forma a simplificar o processo de cálculo, pois seria necessário determinar a energia consumida para a obtenção da temperatura do meio reaccional durante o tempo de reacção. Para esse cálculo, seria necessário entrar com considerações de transferência de calor e definir à partida o material do reactor, bem como o seu dimensionamento, o que iria ultrapassar o âmbito do presente trabalho pelo que haveria que fazer considerações no âmbito do dimensionamento dos reactores.

As estimativas determinadas anteriormente foram comparadas com os dados obtidos pela folha de cálculo construída com base numa tese de mestrado [ENCARNAÇÃO, 2008]. Os resultados obtidos para o processo de transesterificação de óleos residuais de fritura para uma unidade de produção de 20 kt/ano, estão apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Matérias primas e utilidades necessárias à produção de biodiesel, pelo processo de transesterificação com catálise alcalina, para a rota e metílica

Reagentes e Utilidades	
Óleo Vegetal (t)	20833
Ácido Fosfórico (t)	20
Ácido Cítrico (t)	13
Ácido Clorídrico (t)	160
NaOH (t)	0,122
Metilato de Sódio (t)	366,6
Metanol (t)	1980
Ácido Sulfúrico (t)	4
Água de processo (t)	2072
Água de arrefecimento (t)	28
Electricidade kWh	400000
Vapor (t)	8132
Ar Comprimido (Nm ³ /h)	72688
Azoto Líquido (Nm ³ /h)	1600
Biodiesel (t)	20000
Glicerina (t)	2200

4.4. BALANÇO ENERGÉTICO DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O acesso ao consumo de energia relativas à produção de óleo refinado e outros consumíveis é inexistente pois os dados das auditorias de energia são confidenciais e não há estatísticas nacionais sobre o assunto.

Um modo simples de se estimar este consumo é considerar como ponto de partida o consumo específico energético de referência (designado por K), publicado em Diário da República, e assumir que o consumo das empresas produtoras de óleo e restantes matérias-primas é no primeiro ano, idêntico a este valor. Considera-se ainda que as respectivas empresas têm em andamento um Plano de Racionalização dos Consumos Energéticos e que por isso o seu consumo específico de energia se vai reduzindo conforme estipulado pela legislação. Tem-se desta forma, um valor de K máximo e mínimo e com base no valor de produção, o produto produção do consumível por K, estima os consumos em tep (um valor máximo e um valor mínimo).

Por outro lado, sabe-se que na produção do biodiesel é necessário vapor de água. Definindo P e T de utilização desse vapor, obtém-se os tep correspondentes. Também se consome electricidade e desta obtém-se analogamente, os tep que lhe correspondem.

Do somatório dos consumos energéticos, obtém-se dois resultados: um limite máximo e um limite mínimo mas que podem ser comparados para o biodiesel de óleo alimentar virgem e para o biodiesel de óleo residual. Também se pode comparar a energia final com o PCI ou até mesmo a energia final do biodiesel subtraído da energia inicial do óleo vegetal, com o PCI do biodiesel.

Os cálculos que se seguem mostram como seria a evolução do possível consumo específico das empresas num período de 20 anos.

4.4.1. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO ÓLEO ALIMENTAR

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 110 \text{ kgep/t (dados de 1980)}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é,

$$K = 90 \% \times 110 = 99 \text{ kgep / t}$$

Ao fim deste primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico cairá anualmente, determinado pela seguinte expressão [PINHO, 2005]:

$$M = \frac{C - K}{2} \frac{n}{5} \quad (4.1)$$

Os resultados para este ciclo de 5 anos estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 4.14 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1981	110	99	1,1	108,9
1982	110	99	2,2	107,8
1983	110	99	3,3	106,7
1984	110	99	4,4	105,6
1985	110	99	5,5	104,5

$$\text{Para 1985 (n = 5), } M = \frac{C - K}{2} = \frac{110 - 99}{2} = 5,5 \text{ kgep/t}$$

O novo consumo específico será então, $C = 110 - 5,5 = 104,5 \text{ kgep/t}$

No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 104,5 = 94,05$ kgep/t, de modo que, da aplicação da fórmula

$$M = \frac{C - K}{2} \frac{n}{5}, \text{ obtém-se os seguintes resultados:}$$

Tabela 4.15 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1986-1990

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1986	104,5	94,05	1,05	103,46
1987	104,5	94,05	2,09	102,41
1988	104,5	94,05	3,14	101,37
1989	104,5	94,05	4,18	100,32
1990	104,5	94,05	5,23	99,28

Para o ano 1990 ($n = 5$), tem-se

$$M = \frac{104,5 - 94,05}{2} = 5,23 \text{ kgep/t, ou seja } C = 104,5 - 5,23 = 99,28 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 99,28 = 89,35$ kgep/t, chegando-se a

Tabela 4.16 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1991	99,28	89,352	0,99	98,29
1992	99,28	89,352	1,99	97,29
1993	99,28	89,352	2,98	96,30
1994	99,28	89,352	3,97	95,31
1995	99,28	89,352	4,96	94,32

Assim, para o ano 1995, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{99,28 - 89,34}{2} = 4,96 \text{ kgep/t, ou seja } C = 99,28 - 4,96 = 94,32 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 94,3 = 84,89$ kgep/t, chegando-se aos valores definidos na seguinte tabela:

Tabela 4.17 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1996	94,32	84,888	0,94	93,38
1997	94,32	84,888	1,89	92,43
1998	94,32	84,888	2,83	91,49
1999	94,32	84,888	3,77	90,55
2000	94,32	84,888	4,72	89,60

Para o ano 2000 (n = 5), tem-se :

$$a \ M = \frac{C - K}{2} = \frac{94,3 - 84,89}{2} = 4,72 \text{ kgep/ t, ou seja } C = 94,3 - 4,72 = 89,60 \text{ kgep/t.}$$

Fazendo a correcção para o ano 2003, da aplicação da fórmula

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5},$$

obtém-se os seguintes resultados:

Tabela 4.18 - Evolução do consumo específico de energia na produção do óleo alimentar refinado nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
2001	89,60	80,640	0,90	88,70
2002	89,60	80,640	1,79	87,81
2003	89,60	80,640	2,69	86,91

Para 2003, usando n = 3, obtém-se : $K = 90 \% \times 89,60 = 80,64 \text{ kgep/t}$

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{89,60 - 80,64}{2} \cdot \frac{3}{5} = 2,69 \text{ kgep/ t}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 89,60 - 2,69 = 86,91 \text{ kgep/t.}$

4.4.2. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO ÁCIDO CLORÍDRICO

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 0,8 \text{ kgep/t}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é,

$$K = 90 \% \times 0,8 = 0,72 \text{ kgep/t}$$

Tendo em conta a seguinte expressão:

$$M = \frac{C - K}{2} \frac{n}{5}$$

Ao fim deste primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico será de,

Tabela 4.19 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1981	0,8	0,72	0,008	0,79
1982	0,8	0,72	0,016	0,78
1983	0,8	0,72	0,024	0,78
1984	0,8	0,72	0,032	0,77
1985	0,8	0,72	0,040	0,76

$$\text{Para } 1985 (n = 5), M = \frac{C - K}{2} = \frac{0,8 - 0,72}{2} = 0,04 \text{ kgep/t}$$

O novo consumo específico será então, $C = 0,8 - 0,04 = 0,76 \text{ kgep/t}$

No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 0,76 = 0,684 \text{ kgep/t}$, de modo que,

Tabela 4.20 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1986-1990

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1986	0,76	0,684	0,01	0,75
1987	0,76	0,684	0,02	0,74
1988	0,76	0,684	0,02	0,74
1989	0,76	0,684	0,03	0,73
1990	0,76	0,684	0,04	0,72

Para o ano de 1990, $n = 5$, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{0,76 - 0,684}{2} = 0,04 \text{ kgep/t, ou seja } C = 0,76 - 0,04 = 0,72 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 0,72 = 0,648 \text{ kgep/t}$, chegando-se a

Tabela 4.21 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1991	0,72	0,648	0,01	0,71
1992	0,72	0,648	0,01	0,71
1993	0,72	0,648	0,02	0,70
1994	0,72	0,648	0,03	0,69
1995	0,72	0,648	0,04	0,68

Para o ano 1995, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{0,72 - 0,648}{2} = 0,04 \text{ kgep/t, ou seja } C = 0,722 - 0,04 = 0,68 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 0,68 = 0,612 \text{ kgep/t}$, chegando-se aos seguintes valores de consumo específico, para cada ano:

Tabela 4.22 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1996	0,68	0,612	0,01	0,67
1997	0,68	0,612	0,01	0,67
1998	0,68	0,612	0,02	0,66
1999	0,68	0,612	0,03	0,65
2000	0,68	0,612	0,03	0,65

Para o ano 2000, tem-se $M = \frac{C - K}{2} = \frac{0,68 - 0,612}{2} = 0,03 \text{ kgep/t}$,

ou seja $C = 0,68 - 0,03 = 0,65 \text{ kgep/t}$.

Fazendo a correcção para o ano 2003, da aplicação da Equação 4.1:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5}$$

e usando $n = 3$, obtém-se : $K = 90 \% \times 0,65 = 0,585 \text{ kgep/t}$

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{0,65 - 0,585}{2} \cdot \frac{3}{5} = 0,02 \text{ kgep/t}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 0,65 - 0,02 = 0,63 \text{ kgep/t}$. Os resultados para os anos 2001, 2002 e 2003 estão apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.23 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido clorídrico nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
2001	0,65	0,585	0,01	0,64
2002	0,65	0,585	0,01	0,64
2003	0,65	0,585	0,02	0,63

4.4.3. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 42,0 \text{ kgep/t}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é,

$$K = 90 \% \times 42 = 37,8 \text{ kgep/t}$$

De acordo com a expressão:

$$M = \frac{C - K}{2} \frac{n}{5}, \text{ durante o primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico será:}$$

Tabela 4.24 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1981	42	37,8	0,420	41,58
1982	42	37,8	0,840	41,16
1983	42	37,8	1,260	40,74
1984	42	37,8	1,680	40,32
1985	42	37,8	2,100	39,90

$$\text{Para 1985 (n = 5), } M = \frac{C - K}{2} = \frac{42 - 37,8}{2} = 2,1 \text{ kgep/t}$$

Sendo que o novo consumo específico será então, $C = 42 - 2,1 = 39,9 \text{ kgep/t}$.

No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 39,9 = 35,91 \text{ kgep/t}$, obtendo-se para este ciclo os seguintes resultados:

Tabela 4.25 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1986-1990

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1986	39,9	35,91	0,40	39,50
1987	39,9	35,91	0,80	39,10
1988	39,9	35,91	1,20	38,70
1989	39,9	35,91	1,60	38,30
1990	39,9	35,91	2,00	37,91

Para $n=5$, correspondente ao ano de 1990, obtém-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{39,9 - 35,91}{2} = 2,0 \text{ kgep/t,}$$

ou seja $C = 39,9 - 2,0 = 37,91 \text{ kgep/t.}$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 37,91 = 34,11 \text{ kgep/t,}$ chegando-se a:

Tabela 4.26 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1991	37,91	34,119	0,38	37,53
1992	37,91	34,119	0,76	37,15
1993	37,91	34,119	1,14	36,77
1994	37,91	34,119	1,52	36,39
1995	37,91	34,119	1,90	36,01

Em 1995, tem-se

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{37,91 - 34,12}{2} = 1,90 \text{ kgep/t, ou seja } C = 37,91 - 1,90 = 36,01 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 36,01 = 32,41 \text{ kgep/t,}$ chegando-se a

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{36,01 - 32,41}{2} = 1,80 \text{ kgep/t, ou seja } C = 36,01 - 1,80 = 34,21 \text{ kgep/t.}$$

Os resultados para este ciclo são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 4.27 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1996	36,01	32,409	0,36	35,65
1997	36,01	32,409	0,72	35,29
1998	36,01	32,409	1,08	34,93
1999	36,01	32,409	1,44	34,57
2000	36,01	32,409	1,80	34,21

Fazendo a correcção para o ano 2003, da aplicação da Equação 4.1:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5}$$

e usando $n = 3$, obtém-se : $K = 90 \% \times 34,21 = 30,79$ kgep/t. Obtém-se, então os seguintes resultados de consumo específico para cada ano deste ciclo (2000-2003).

Tabela 4.28 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido sulfúrico nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
2001	34,21	30,789	0,34	33,87
2002	34,21	30,789	0,68	33,53
2003	34,21	30,789	1,03	33,18

Em que para 2003, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{34,21 - 30,79}{2} \cdot \frac{3}{5} = 1,03 \text{ kgep/ t}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 34,21 - 1,03 = 33,18$ kgep/t.

4.4.4. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO ETANOL

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 53 \text{ kgep/hl}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é,
 $K = 90 \% \times 53 = 47,7 \text{ kgep/hl}$. Durante este primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico será:

Tabela 4.29 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/hl)	K (kgep/hl)	M (kgep/hl)	C' (kgep/hl)
1981	53	47,7	0,530	52,47
1982	53	47,7	1,060	51,94
1983	53	47,7	1,590	51,41
1984	53	47,7	2,120	50,88
1985	53	47,7	2,650	50,35

Sendo que para 1985 (para $n = 5$), $M = \frac{C - K}{2} = \frac{53 - 47,7}{2} = 2,65 \text{ kgep/hl}$, o novo consumo específico será então, $C = 53 - 2,65 = 50,35 \text{ kgep/hl}$.

No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 50,35 = 45,32 \text{ kgep/hl}$ de modo que, se obtém para este ciclo, os seguintes valores de consumo específico:

Tabela 4.30 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1986-1990

Ano	C (kgep/hl)	K (kgep/hl)	M (kgep/hl)	C' (kgep/hl)
1986	50,35	45,315	0,50	49,85
1987	50,35	45,315	1,01	49,34
1988	50,35	45,315	1,51	48,84
1989	50,35	45,315	2,01	48,34
1990	50,35	45,315	2,52	47,83

Em que, para o ano 1990, obtém-se :

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{50,35 - 45,32}{2} = 2,52 \text{ kgep/hl}; \text{ ou seja } C = 50,35 - 2,52 = 47,83 \text{ kgep/hl}.$$

Para mais um ciclo de cinco anos, $K = 90 \% \times 47,83 = 43,05 \text{ kgep/hl}$ chegando-se aos seguintes resultados indicados na tabela seguinte:

Tabela 4.31 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/hl)	K (kgep/hl)	M (kgep/hl)	C' (kgep/hl)
1991	47,83	43,047	0,48	47,35
1992	47,83	43,047	0,96	46,87
1993	47,83	43,047	1,43	46,40
1994	47,83	43,047	1,91	45,92
1995	47,83	43,047	2,39	45,44

Para o ano 1995, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{47,83 - 43,05}{2} = 2,39 \text{ kgep/hl} \text{ ou seja } C = 47,83 - 2,39 = 45,44 \text{ kgep/hl}$$

Para mais um ciclo de 5 anos(1995-2000), $K = 90 \% \times 45,44 = 40,90 \text{ kgep/hl}$, chegando-se aos seguintes resultados de consumo específico para cada ano do ciclo:

Tabela 4.32 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/hl)	K (kgep/hl)	M (kgep/hl)	C' (kgep/hl)
1996	45,44	40,896	0,45	44,99
1997	45,44	40,896	0,91	44,53
1998	45,44	40,896	1,36	44,08
1999	45,44	40,896	1,82	43,62
2000	45,44	40,896	2,27	43,17

Para o ano 2000, chega-se aos seguintes resultados:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{45,44 - 40,90}{2} = 2,27 \text{ kgep/hl}, \text{ ou seja } C = 45,44 - 2,27 = 43,17 \text{ kgep/hl}.$$

Fazendo a correcção para o ano 2003, pela aplicação da Equação 4.1:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5}$$

e usando $n = 3$, obtém-se : $K = 90 \% \times 43,17 = 38,85$ kgep/hl. Então:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{43,17 - 38,85}{2} \cdot \frac{3}{5} = 1,30 \text{ kgep/ hl.}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 43,17 - 1,30 = 41,87$ kgep/hl.

Na tabela seguinte, estão apresentados os valores de consumo específico para os anos 2001, 2002 e 2003, respectivamente.

Tabela 4.33 - Evolução do consumo específico de energia na produção do etanol nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/hl)	K (kgep/hl)	M (kgep/hl)	C' (kgep/hl)
2001	43,17	38,853	0,43	42,74
2002	43,17	38,853	0,86	42,31
2003	43,17	38,853	1,30	41,87

4.4.5. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO NaOH

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 770 \text{ kgep/t}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é:
 $K = 90 \% \times 770 = 693 \text{ kgep/t}$. Durante este primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico será, respectivamente:

Tabela 4.34 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1981	770	693	7,70	762,30
1982	770	693	15,40	754,60
1983	770	693	23,10	746,90
1984	770	693	30,80	739,20
1985	770	693	38,50	731,50

$$\text{Para } n = 5, \text{ correspondente ao ano de 1985, } M = \frac{C - K}{2} = \frac{770 - 693}{2} = 38,5 \text{ kgep/t}$$

O novo consumo específico será então, $C = 770 - 38,5 = 731,5 \text{ kgep/t}$. No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 731,5 = 658,35 \text{ kgep/t}$ de modo que, se obtém para este ciclo, os seguintes valores de consumo específico:

Tabela 4.35 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1986-1990

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1986	731,5	658,35	7,32	724,19
1987	731,5	658,35	14,63	716,87
1988	731,5	658,35	21,95	709,56
1989	731,5	658,35	29,26	702,24
1990	731,5	658,35	36,58	694,93

Para 1990, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{731,5 - 658,35}{2} = 36,58 \text{ kgep/t}$$

ou seja $C = 731,5 - 36,58 = 694,93 \text{ kgep/t}$

Para mais um ciclo de cinco anos, 1990-1995, $K = 90 \% \times 694,93 = 625,44 \text{ kgep/t}$ chegando-se aos seguintes valores de consumo específico:

Tabela 4.36 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1991	694,93	625,437	6,95	687,98
1992	694,93	625,437	13,90	681,03
1993	694,93	625,437	20,85	674,08
1994	694,93	625,437	27,80	667,13
1995	694,93	625,437	34,75	660,18

Para o ano 1995, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{694,93 - 625,44}{2} = 34,75 \text{ kgep/t}$$

ou seja $C = 694,93 - 34,75 = 660,18 \text{ kgep/t}$.

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 660,18 = 594,16 \text{ kgep/t}$, chegando-se, para o ano 2000, a

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{660,18 - 594,16}{2} = 33,01 \text{ kgep/t, em que } C = 660,18 - 33,01 = 627,17$$

kgep/t.

Na tabela seguinte são apresentados os valores de consumo específico para o ciclo 1995-2000, em cada ano.

Tabela 4.37 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1996	660,18	594,162	6,60	653,58
1997	660,18	594,162	13,20	646,98
1998	660,18	594,162	19,81	640,37
1999	660,18	594,162	26,41	633,77
2000	660,18	594,162	33,01	627,17

Fazendo a correcção para o ano 2003, da aplicação da fórmula:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} \text{ e usando } n = 3, \text{ obtém-se : } K = 90 \% \times 627,17 = 564,5 \text{ kgep/ t.}$$

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{627,17 - 564,5}{2} \cdot \frac{3}{5} = 18,82 \text{ kgep/ t}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 627,17 - 18,82 = 608,35$ kgep/t. Na tabela seguinte, estão apresentados os valores de consumo específico para os anos 2001, 2002 e 2003, respectivamente.

Tabela 4.38 - Evolução do consumo específico de energia na produção do NaOH, nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
2001	627,17	564,453	6,27	620,90
2002	627,17	564,453	12,54	614,63
2003	627,17	564,453	18,82	608,35

4.4.6. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO ÁCIDO FOSFÓRICO

Considera-se que no primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico da empresa coincide com o valor tabelado, isto é,

$$C = 58 \text{ kgep/t}$$

Nestas circunstâncias o consumo específico de referência será 90 % deste, isto é,

$K = 90 \% \times 58 = 52,2 \text{ kgep/t}$. Durante este primeiro ciclo de 5 anos o consumo específico será, respectivamente:

Tabela 4.39 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1981-1985

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1981	58	52,2	0,580	57,42
1982	58	52,2	1,160	56,84
1983	58	52,2	1,740	56,26
1984	58	52,2	2,320	55,68
1985	58	52,2	2,900	55,10

Para 1985, tem-se $n = 5$, $M = \frac{C - K}{2} = \frac{58 - 52,2}{2} = 2,9 \text{ kgep/t}$. O novo consumo específico será então, $C = 58 - 2,9 = 55,1 \text{ kgep/t}$.

No novo ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 55,1 = 49,59 \text{ kgep/t}$, de modo que se obtém os seguintes valores de consumo específico, para cada ano do ciclo:

Tabela 4.40 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1986- 1990

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1986	55,1	49,59	0,55	54,55
1987	55,1	49,59	1,10	54,00
1988	55,1	49,59	1,65	53,45
1989	55,1	49,59	2,20	52,90
1990	55,1	49,59	2,76	52,35

Para 1990:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{55,1 - 49,59}{2} = 2,76 \text{ kgep/t,}$$

ou seja $C = 55,1 - 2,76 = 52,35 \text{ kgep/t.}$

Para mais um ciclo de cinco anos, 1990-1995, $K = 90 \% \times 52,35 = 47,11 \text{ kgep/t,}$ chegando-se aos valores de C, para cada ano do ciclo, indicados na Tabela 4.41.

Tabela 4.41 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1991-1995

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1991	52,35	47,115	0,52	51,83
1992	52,35	47,115	1,05	51,30
1993	52,35	47,115	1,57	50,78
1994	52,35	47,115	2,09	50,26
1995	52,35	47,115	2,62	49,73

Sendo que em 1995, tem-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{52,35 - 47,11}{2} = 2,62 \text{ kgep/t, ou seja } C = 52,35 - 2.62 = 49,73 \text{ kgep/t.}$$

Para mais um ciclo de 5 anos, $K = 90 \% \times 49,73 = 44,76 \text{ kgep/t,}$ chegando-se aos valores indicados na Tabela 4.42.

Tabela 4.42 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 1996-2000

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
1996	49,73	44,757	0,50	49,23
1997	49,73	44,757	0,99	48,74
1998	49,73	44,757	1,49	48,24
1999	49,73	44,757	1,99	47,74
2000	49,73	44,757	2,49	47,24

Para o ano 2000, calcula-se:

$$M = \frac{C - K}{2} = \frac{49,73 - 44,76}{2} = 2,49 \text{ kgep/ t, ou seja } C = 49,73 - 2,49 = 47,24 \text{ kgep/t.}$$

Fazendo a correcção para o ano 2003, da aplicação da fórmula:

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} \text{ e usando } n = 3, \text{ obtém-se : } K = 90 \% \times 47,24 = 42,52 \text{ kgep/ t.}$$

$$M = \frac{C - K}{2} \cdot \frac{n}{5} = M = \frac{47,24 - 42,52}{2} \cdot \frac{3}{5} = 1,42 \text{ kgep/ t}$$

Obtendo-se, para o ano 2003, $C = 47,24 - 1,42 = 45,82$ kgep/t. Na tabela seguinte, estão apresentados os valores de consumo específico para os anos 2001, 2002 e 2003, respectivamente.

Tabela 4.43 - Evolução do consumo específico de energia na produção do ácido fosfórico, nos anos 2001-2003

Ano	C (kgep/t)	K (kgep/t)	M (kgep/t)	C' (kgep/t)
2001	47,24	42,516	0,47	46,77
2002	47,24	42,516	0,94	46,30
2003	47,24	42,516	1,42	45,82

4.4.7. ESTIMATIVA DO CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO METANOL

Devido a não terem sido encontrados em Diário da República dados relativos ao consumo específico de energia de produção de metanol a nível nacional, foi determinada uma estimativa deste consumo em energia primária com base num estudo de análise de ciclo de vida do metanol para as condições brasileiras [CAMARGO, 2007]. Neste estudo, foram consideradas duas estimativas, apresentadas nas Tabelas 4.44 e 4.45, respectivamente.

Tabela 4.44 – Consumo específico de energia primária na produção de 1 tonelada de metanol pela estimativa 1 definida por CAMARGO, (2007)

Entradas	Quantidade	Energia (tep)
Electricidade	319,6 kWh	0,093
Gás Natural	0,164 m ³	1,34E-04
Vapor Saturado (20atm)	2,32 t	0,056
Total energia consumida (tep)		0,149

Tabela 4.45 – Consumo específico de energia primária na produção de 1 tonelada de metanol pela estimativa 2 definida por CAMARGO, (2007)

Entradas	Quantidade	Energia (tep)
Electricidade	74 kWh	0,021
Gás Natural	430 m ³	0,353
Total energia consumida (tep)		0,374

Tendo em conta que a massa volúmica do metanol é 0,7918 g/cm³, o consumo específico da produção de metanol, para a primeira e segunda estimativas determinadas por CAMARGO (2007) são respectivamente, $1,18 \times 10^{-4}$ tep/L e $2,96 \times 10^{-4}$ tep/L. estes valores não são sujeitos a actualização de acordo com o Plano de Racionalização dos Consumos Energéticos, pelo facto deste valor ser resultado de um estudo realizado em 2007.

No presente trabalho será considerada a estimativa correspondente ao maior consumo energético para a produção de metanol, $2,96 \times 10^{-4}$ tep/L, representando assim, a estimativa menos favorável ao balanço energético da produção de biodiesel.

4.4.8. CONSUMO DE VAPOR SATURADO – FACTOR DE CONVERSÃO

O factor de conversão da energia primária em tep, do vapor saturado, é dada pela seguinte expressão [PINHO, 2005]:

$$C = \frac{h}{0,9 \times 4,18 \times 10^4} \quad (4.2)$$

Sendo que h é a entalpia do vapor saturado à pressão de 10 bar, expressa em kJ/kg:

h= 2778,36 kJ/kg. Obtém-se então:

$$C = \frac{2778,36}{0,9 \times 4,18 \times 10^4} \quad ; \quad C = 73,85 \text{ kgep/kg}$$

4.4.9. CONSUMO DE ELECTRICIDADE– FACTOR DE CONVERSÃO

O valor de conversão de energia eléctrica em energia primária equivalente é de 0,29 kgep/kWh [PINHO, 2005].

4.4.10. CONSUMO DE CALOR– FACTOR DE CONVERSÃO

O valor de conversão do calor expresso em kcal, para tep, é dado pela seguinte expressão [PINHO, 2005]:

$$C(kcal) = \frac{0,0041868(kJ)}{4,1868 \times 10^7} = 1,00076 \times 10^{-10} \text{ tep} \quad (4.3)$$

4.4.11. VALORES DE PCI DOS PRODUTOS DE REACÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Para a elaboração do balanço energético da produção de biodiesel pelas rotas metílica e etílica da reacção de transesterificação, são necessários os valores de PCI da glicerina e do biodiesel metílico ou etílico. Estes valores estão apresentados na Tabela 4.46.

Tabela 4.46 – Valores de PCI do biodiesel metílico, biodiesel etílico e da glicerina

Produto	PCI(MJ/kg)
Biodiesel metílico	39,60
Biodiesel etílico	39,80
Glicerina	18,05

[www.rbb.ba.gov.br/arquivo/165.pdf]

4.5. CÁLCULO DO BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Na utilização do novo combustível é importante verificar o balanço energético da sua produção, ou seja, se a energia gasta para gerar tal combustível é menor que a energia que o próprio combustível irá fornecer. Trata-se da relação entre a energia consumida no processo de produção e a energia disponibilizada pelo combustível produzido.

O balanço energético para um biocombustível considera desde a energia exigida para produzir a matéria prima (fertilizantes, pesticidas, e combustível para transporte da matéria prima), até à fabricação de equipamentos da unidade de produção do biocombustível, produção de matérias-primas, bem como a energia necessária para o processo.

Neste sentido, com os valores de consumo específico dos reagentes envolvidos na reacção de transesterificação, bem como as respectivas quantidades, foi possível calcular os gastos em termos de energia primária (tep), de acordo com a seguinte equação:

$$E = PCI \times m \quad (4.4)$$

em que:

E - energia primária em kJ,

PCI- poder calorífico inferior [kJ/kg]

m - quantidade de cada matéria-prima / reagente envolvida na reacção [kg]

Posteriormente, para converter a energia obtida em kJ, para tep, fez-se:

$$E(tep) = \frac{E(kJ)}{4,1868 \times 10^7} \quad (4.5)$$

Para tal, foi considerado o valor do consumo específico característico das indústrias dos anos 80 (ou 1997, de acordo com os dados disponíveis), e posteriormente foram utilizados os valores dos respectivos consumos específicos, actualizados ao ano de 2003, determinados anteriormente.

Neste cálculo, foram tidas em conta duas abordagens:

- Numa primeira abordagem, foi tido em conta o consumo de energia primária dos óleos vegetais refinados, que caracteriza o caso de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados;
- Posteriormente, no cálculo de consumo de energia primária consumido na reacção, foi excluído o valor de energia primária dos óleos vegetais, visto que na produção de biodiesel a partir de óleos vegetais usados, esta matéria-prima constitui um resíduo.

Do somatório dos consumos energéticos, obtêm-se dois resultados: um limite máximo que corresponde ao cálculo baseado no consumo energético dos anos 80 e um limite mínimo, correspondente aos valores de consumo energético do ano 2003.

Por fim, com base nos consumos de energia primária consumidos, foi feito um balanço energético tendo em conta os valores de energia primária obtidos pelos produtos de reacção: biodiesel e glicerina. Para tal, foi aplicada a equação anterior, tendo em conta os respectivos valores de PCI.

Convém referir que estes cálculos foram elaborados com base nas diferentes estimativas de matérias primas e utilidades, calculadas anteriormente, para uma produção de anual de 20 kt de biodiesel, pelas rotas metílica e etílica do processo de transesterificação. Os valores obtidos, estão apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 4.48 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota metilica da estimativa 1

Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Óleos Alimentares (t)	20000	0,11	2200	Óleos Alimentares (t)	20000	0,08691	1738
Calor (kcal)	7,20E+09	conversão de unidades	0,7	Calor (kcal)	7,20E+09	conversão de unidades	0,7
Electricidade (kWh)	1,40E+06	0,00029	406	Electricidade (kWh)	1,40E+06	0,00029	406
Metanol (L)	2,92E+06	2,96E-04	864	Metanol (L)	2,92E+06	2,96E-04	864
Ácido Fosfórico (t)	258	0,058	15	Ácido Fosfórico (t)	258	0,04582	12
NaOH (t)	110	0,77	85	NaOH (t)	110	0,60835	67
Total Energia Primária Consumida (tep)			3,57E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			3,09E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,9458	18917	Biodiesel (t)	20000	0,9458	18917
Glicerina (t)	2600	0,4311	1121	Glicerina (t)	2600	0,4311	1121
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04
Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Calor (kcal)	7,20E+09	conversão de unidades	0,7	Calor (kcal)	7,20E+09	conversão de unidades	0,7
Electricidade (kWh)	1,40E+06	0,00029	406	Electricidade (kWh)	1,40E+06	0,00029	406
Metanol (L)	2,92E+06	2,96E-04	864	Metanol (L)	2,92E+06	2,96E-04	864
Ácido Fosfórico (t)	258	0,058	15	Ácido Fosfórico (t)	258	0,04582	12
NaOH (t)	110	0,77	85	NaOH (t)	110	0,60835	67
Total Energia Primária Consumida (tep)			1,37E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			1,35E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,9458	18917	Biodiesel (t)	20000	0,9458	18917
Glicerina (t)	2600	0,4311	1121	Glicerina (t)	2600	0,4311	1121
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04
Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida				Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida			
Óleo Novo	5,6			Óleo Novo	6,5		
Óleo Usado	14,6			Óleo Usado	14,8		

Tabela 4.49 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota etílica da estimativa 1

Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Óleos Alimentares(t)	20000	0,11	2200	Óleos Alimentares(t)	20000	0,08691	1886
Calor (kcal)	12000000000	conversão de unidades	1,2	Calor (kcal)	1,20E+10	conversão de unidades	1,2
Electricidade(kW/h)	1600000	0,00029	464	Electricidade(kW/h)	1600000	0,00029	464
Etanol (L)	4000000	0,00053	2120	Etanol (L)	4000000	0,0004187	1675
Ácido Fosfórico (t)	334	0,058	19	Ácido Fosfórico (t)	334	0,04582	15
NaOH(t)	136	0,77	105	NaOH(t)	136	0,60835	83
Total Energia Primária Consumida (tep)			4,91E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			4,12E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,9506	19012	Biodiesel(t)	20000	0,9506	19012
Glicerina (t)	2600	0,4311	1121	Glicerina(t)	2600	0,4311	1121
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,01E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,01E+04
Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Calor (kcal)	12000000000	conversão de unidades	1,2	Calor (kcal)	1,20E+10	conversão de unidades	1,2
Electricidade(kW/h)	1600000	0,00029	464	Electricidade(kW/h)	1600000	0,00029	464
Etanol (L)	4000000	0,00053	2120	Etanol (L)	4000000	0,0004187	1675
Ácido Fosfórico (t)	334	0,058	19	Ácido Fosfórico (t)	334	0,04582	15
NaOH(t)	136	0,77	105	NaOH(t)	136	0,60835	83
Total Energia Primária Consumida (tep)			2,71E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			2,24E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel(t)	20000	0,9506	19012	Biodiesel(t)	20000	0,9506	19012
Glicerina(t)	2600	0,4311	1121	Glicerina(t)	2600	0,4311	1121
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,01E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,01E+04
Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida				Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida			
Óleo Novo	4,1			Óleo Novo	4,9		
Óleo Usado	7,4			Óleo Usado	9,0		

Tabela 4.50 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2003, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota metilica da estimativa 2

Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Óleos Alimentares (t)	21000	0,11	2310	Óleos Alimentares (t)	21000	0,087	1825
Vapor (kg)	1596	0,0739	118	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213	Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213
Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119	Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119
NaOH (t)	315	0,77	243	NaOH (t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			5,00E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			4,47E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,946	18917	Biodiesel (t)	20000	0,946	18917
Glicerina (t)	2184	0,431	942	Glicerina (t)	2184	0,431	942
Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04
Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Vapor (kg)	1596	0,0739	118	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213	Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213
Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119	Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119
NaOH(t)	315	0,77	243	NaOH(t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			2,69E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			2,64E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,946	18917	Biodiesel (t)	20000	0,946	18917
Glicerina (t)	2184	0,431	942	Glicerina (t)	2184	0,431	942
Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04
Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida				Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida			
Óleo Novo	4,0			Óleo Novo	4,4		
Óleo Usado	7,4			Óleo Usado	7,5		

Tabela 4.51 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2005, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente pela rota etílica da estimativa 2

Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Óleos Alimentares(t)	21000	0,11	2310	Óleos Alimentares(t)	21000	0,087	1825
Vapor (kg)	1596	0,0739	118	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213	Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213
Etanol (L)	2,41E+07	5,30E-04	12773	Etanol (L)	2,41E+07	4,19E-04	10091
NaOH(t)	315	0,77	243	NaOH(t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			1,57E+04	Total Energia Primária Consumida (tep)			1,24E+04
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,9506	19012	Biodiesel (t)	20000	0,9506	19012
Glicerina (t)	2184	0,4311	942	Glicerina (t)	2184	0,4311	942
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04
Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Vapor (kg)	1596	0,0739	118	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213	Electricidade (kW/h)	7,35E+05	0,00029	213
Etanol (L)	2,41E+07	5,30E-04	12773	Etanol (L)	2,41E+07	4,19E-04	10091
NaOH(t)	315	0,77	243	NaOH(t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			1,33E+04	Total Energia Primária Consumida (tep)			1,06E+04
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,9506	19012	Biodiesel (t)	20000	0,9506	19012
Glicerina (t)	2184	0,4311	942	Glicerina (t)	2184	0,4311	942
Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			2,00E+04
Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida				Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida			
Óleo Novo	1,3			Óleo Novo	1,6		
Óleo Usado	1,5			Óleo Usado	1,9		

Tabela 4.52 - Balanço energético de energia primária, para dados de consumo específico dos anos 80 e valores actualizados ao ano 2005, para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados e de resíduos de óleos de fritura, respectivamente para a estimativa 3 (rota metilica)

Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Óleos Alimentares (t)	20833	0,11	2292	Óleos Alimentares (t)	21000	0,087	1825
Ácido Fosfórico (t)	20	0,058	1,16	Ácido Fosfórico (t)	20	0,046	0,916
Ácido Clorídrico (t)	13	0,0008	0,01	Ácido Clorídrico (t)	13	0,001	0,008
Ácido Sulfúrico (t)	4	0,042	0,17	Ácido Sulfúrico (t)	4	0,033	0,133
Vapor (kg)	8132000	0,0739	600955	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kWh)	4,00E+05	0,00029	116	Electricidade (kWh)	7,35E+05	0,00029	213
Metanol (L)	2,51E+06	2,96E-04	742	Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119
NaOH(t)	0,122	0,77	0,09	NaOH(t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			6,04E+05	Total Energia Primária Consumida (tep)			4,47E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,946	18917	Biodiesel (t)	20000	0,946	18917
Glicerina (t)	2200	0,431	948	Glicerina (t)	2200	0,431	948
Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04
Dados de 1980				Dados de 2003			
Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)	Entradas	Quantidade	Consumo Específico de Energia	Energia Primária(tep)
Ácido Fosfórico (t)	20	0,058	1,16	Ácido Fosfórico (t)	20	0,046	0,916
Ácido Clorídrico (t)	13	0,0008	0,010	Ácido Clorídrico (t)	13	0,001	0,008
Ácido Sulfúrico (t)	4	0,042	0,168	Ácido Sulfúrico (t)	4	0,033	0,133
Vapor (kg)	1596	0,0739	118	Vapor (kg)	1596	0,07385	118
Electricidade (kWh)	7,35E+05	0,00029	213	Electricidade (kWh)	7,35E+05	0,00029	213
Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119	Metanol (L)	7,16E+06	2,96E-04	2119
NaOH (t)	315	0,77	243	NaOH (t)	315	0,61	192
Total Energia Primária Consumida (tep)			2,69E+03	Total Energia Primária Consumida (tep)			2,64E+03
Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)	Saídas	Quantidade	PCI (tep/quantidade)	Energia Primária(tep)
Biodiesel (t)	20000	0,946	18917	Biodiesel (t)	20000	0,946	18917
Glicerina (t)	2200	0,431	948	Glicerina (t)	2200	0,431	948
Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04	Total Energia Primária Produzida (tep)			1,99E+04
Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida				Energia Primária Produzida / Energia PrimáriaConsumida			
Óleo Novo	0,0			Óleo Novo	4,4		
Óleo Usado	7,4			Óleo Usado	7,5		

Tabela 4.53 – Tabela resumo dos consumos de energia primária nas estimativas 1, 2 e 3, pelas rotas metilica e etilica, respectivamente (dados de 2003)

Estimativa	Total Energia Primária Consumida (tep) - Rota Metilica	
	Óleos Alimentares Virgens	Resíduos de Óleos Alimentares
1	3,09E+03	1,35E+03
2	4,47E+03	2,64E+03
3	4,47E+03	2,64E+03

Estimativa	Total Energia Primária Consumida (tep) - Rota Etilica	
	Óleos Alimentares Virgens	Resíduos de Óleos Alimentares
1	4,12E+03	2,24E+03
2	1,24E+04	1,06E+04

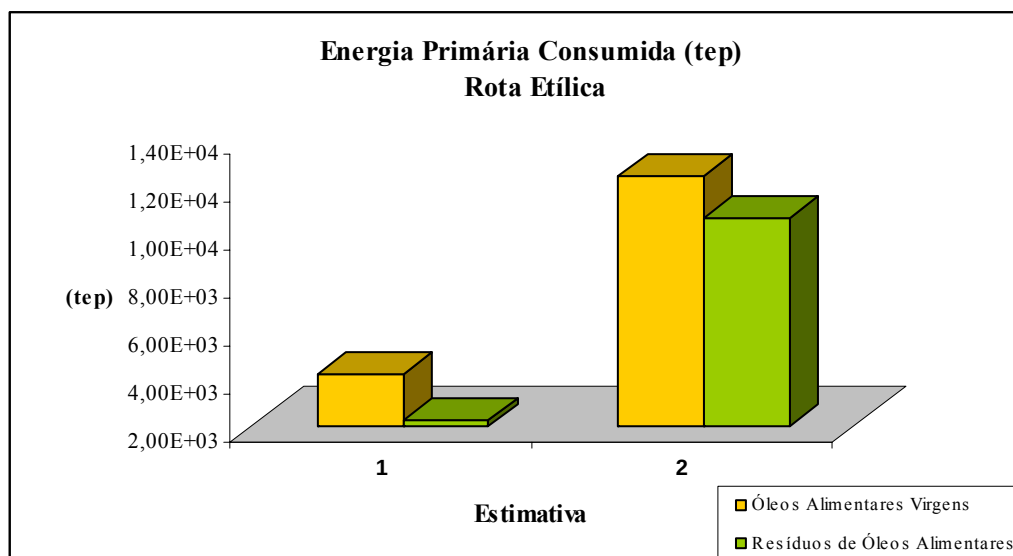
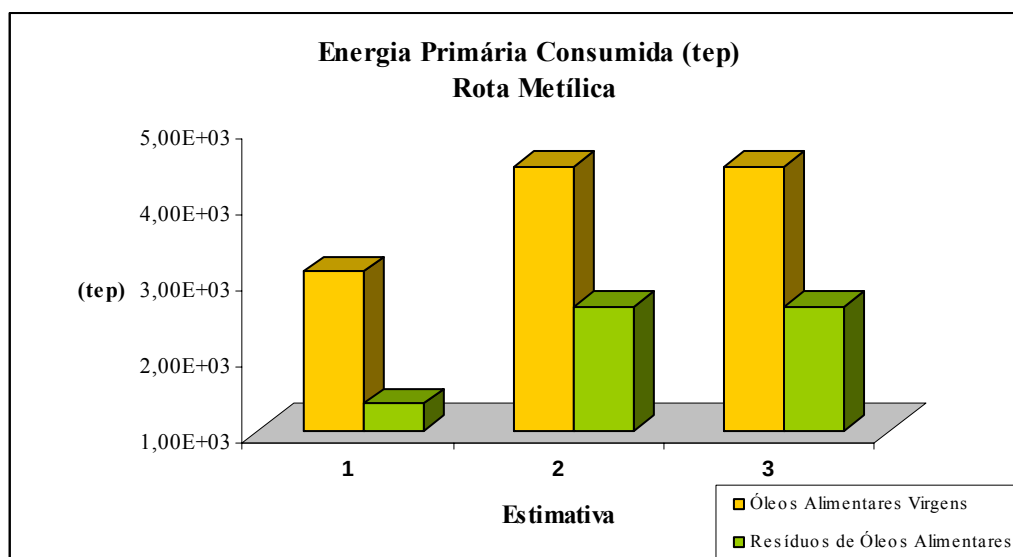


Figura 4.12 – Consumo de energia primária (tep), nas estimativas 1 e 2 e 3, pelas rotas metilica e etilica (dados de 2003)

A energia primária obtida com a produção de 20 kt de biodiesel é de 18917 tep, para o biodiesel metílico e de 19012 tep para o biodiesel de origem etílica, o que corresponde em termos energéticos, a 18 786 toneladas de petróleo bruto (para o caso de produção de biodiesel metílico). Tendo em conta que a massa volúmica de referência do petróleo é de 0,785 t/1000 L e que um barril de petróleo tem 159 litros, verifica-se que a produção de 20 kt de biodiesel evitaria a importação de 150 511 barris de petróleo. Tendo em conta a cotação do barril de petróleo do dia 8 de Agosto de 2008¹, esta poupança representaria cerca de 11,6 M€.

Da análise das Tabelas 4.48 à 4.52, pode-se concluir que existe vantagem energética em usar como matéria-prima, resíduos de óleos de fritura, sendo que a relação de energia primária produzida/energia primária consumida nesta reacção para todas as estimativas estudadas foi praticamente o dobro do valor obtido quando é utilizado óleos vegetais refinados como matéria prima.

A rota metílica mostrou-se mais vantajosa energeticamente, visto que o balanço energético mostrou-se superior, tanto na primeira como na segunda estimativa. Tal facto, deve-se ao maior consumo de etanol exigido no processo, cujo valor de consumo específico é superior (cerca de 29,4 %) ao consumo específico do metanol.

De todas as estimativas consideradas, a mais favorável energeticamente é a estimativa 1 pela rota metílica e com utilização de óleos de fritura usados. A utilização de resíduos de óleos alimentares, representa uma poupança de consumo de energia primária de 56,3 %, relativamente ao mesmo processo com utilização de óleos vegetais virgens. A rota etílica utilizada na estimativa 1, é deveras desvantajosa, pois o consumo energético associado à produção do etanol representa 74,8 % da energia primária consumida em todo o processo produtivo do biodiesel a partir de resíduos de óleos alimentares.

¹ A cotação do barril de petróleo para o dia 8/8/2008, foi de 116 US\$. Para esse dia, a cotação do dólar americano foi de 1,5074 euros.

A estimativa 2 pela rota metilica apresenta maior consumo energético que a estimativa 1, mais propriamente um acréscimo de consumo energético de cerca de 31%, para o processo cuja matéria-prima é óleo vegetal virgem, e de 48,9 % para o processo produtivo a operar com resíduos de óleos alimentares. Esta diferença deve-se principalmente ao maior consumo de metanol: enquanto na estimativa 1 com utilização de resíduos de óleos alimentares, o consumo energético associado ao metanol representava cerca de 64 % do consumo total de energia primária, na estimativa 2, este consumo representa 80,2 %. Por conseguinte, a relação entre a energia produzida e a energia consumida é, para esta estimativa, de 7,5 e 4,4 para o processo com resíduos de óleos alimentares e para o processo em óleos vegetais novos, respectivamente. Na Figura 4.13, é estabelecida de forma esquemática, a representação do consumo de energia primária do metanol, electricidade e NaOH, no consumo de energia primária total do processo produtivo do biodiesel, para as estimativas 1 e 2.

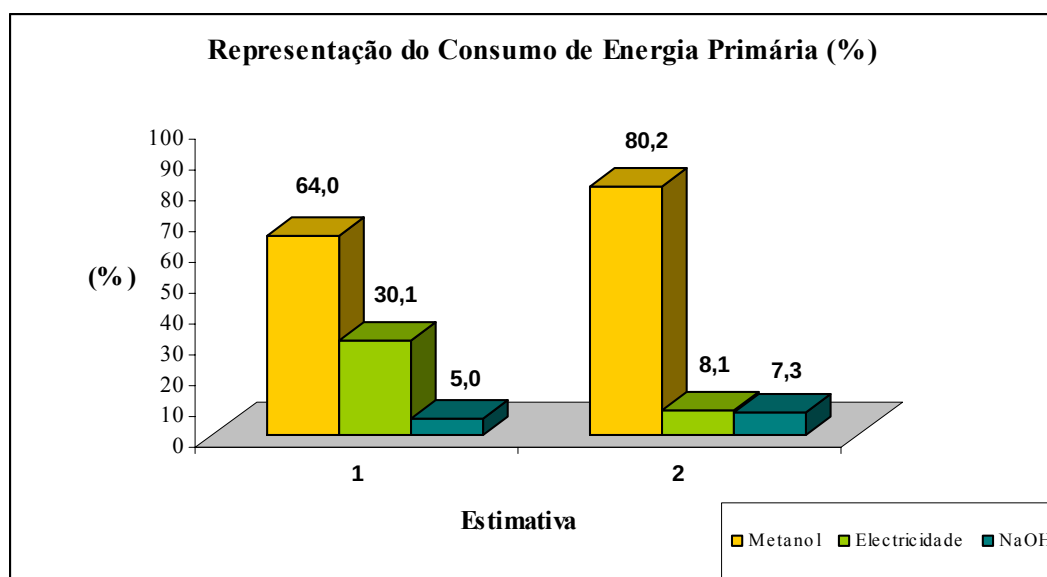


Figura 4.13 – Representação do consumo de energia primária do metanol, electricidade e NaOH, no consumo de energia primária total, para as estimativas 1 e 2 (dados de 2003)

A estimativa 3 é, em termos de balanço energético, bastante semelhante à estimativa 2 pelo que se poderá presumir, pela concordância de resultados no que se refere à relação entre a energia primária produzida e a energia primária consumida no processo de produção do biodiesel, que estas duas estimativas serão as mais realistas ou mais completas em termos de processo produtivo. Tendo em conta que na estimativa 3 foram consideradas as etapas de pré-tratamento da matéria-prima e purificação dos produtos de reacção segundo [ENCARNAÇÃO, 2008], poderá deduzir-se que a diferença verificada de consumo energético entre a estimativa 1 e 3, dever-se-á à inexistência destas etapas do processo, sendo considerado apenas a reacção de transesterificação.

Convém, no entanto referir, que no balanço energético da estimativa 3, não foram tidos em conta os consumos energéticos do metilato de sódio, ácido cítrico e do azoto líquido, devido à indisponibilidade de dados de consumo específico de energia, característico destes reagentes/utilidades. Esta estimativa, mesmo desprezando os consumos energéticos referidos, consome mais energia do que a que produz, quando utiliza óleos vegetais refinados, mostrando-se portanto, desvantajosa.

No entanto, apesar da utilização de óleos vegetais refinados serem menos vantajosos em termos de balanço de energia primária, para além das desvantagens inerentes aos custos de obtenção desta matéria-prima, associados à concorrência de aplicação destes óleos para alimentação, ainda se torna energeticamente vantajosa a utilização de biodiesel a partir de óleos vegetais refinados nas estimativas 1 e 2.

Existem contudo, autores que referem que a utilização de óleos vegetais refinados para a produção de biodiesel, não é sustentável, uma vez que na sua análise de ciclo de vida, há que ter em conta o consumo de energia para a produção das oleaginosas necessárias à produção dos óleos refinados. Neste contexto, existem variáveis não consideradas no consumo de energia inerente ao processo fabril das indústrias de óleos vegetais, tais como a energia para a produção de adubos, o combustível gasto nas máquinas agrícolas, a energia necessária à plantação e crescimento das oleaginosas, etc., que sendo tidas em conta, influenciam na decisão da viabilidade ou não da utilização do biodiesel, como medida vantajosa em termos energéticos e ambientais.

4.6. RENDIMENTO DA CAPTURA SOLAR PELAS PLANTAS

Para avaliar a lógica da energia existente numa tonelada de óleo/ biodiesel, teve-se em conta a produção de óleo por ha. Na tabela seguinte, são apresentados os rendimentos médios de várias espécies de oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel.

Tabela 4.54 – Características de diferentes espécies de oleaginosas, utilizadas para a produção de biodiesel

Espécie	Teor do óleo (%)	Meses de Colheita /ano	Rendimento (t _{óleo} /ha)
Palma	22	12	3,0 - 6,0
Coco	55 - 60	12	1,3 - 1,9
Babaçu	66	12	0,1 - 0,3
Girassol	38 - 48	3	0,5 - 1,9
Colza	40 - 48	3	0,5 - 0,9
Mamona	45 - 50	3	0,5 - 0,9
Amendoim	40 - 43	3	0,6 - 0,8
Soja	18	3	0,2 - 0,4
Algodão	15	3	0,1 - 0,2

[Paulillo et al., 2006]

Tendo em conta os valores do poder caloríficos dos óleos vegetais, foi possível determinar o poder calorífico por ha de oleaginosa produzida. Na tabela seguinte, são apresentados, a título de exemplo, o valor do PCI do óleo de soja e de colza, uma vez que são as matérias primas mais utilizadas na Europa para a produção de biodiesel.

Tabela 4.55 – Valores de PCI da colza e da soja, expressos em kJ / kg de óleo

Espécie	PCI (kJ/kg _{óleo})
Colza	39709
Soja	39623

[http://journeytoforever.org/biodiesel_yield2.html]

Multiplicando os valores de PCI das oleaginosas, pela sua produção anual por hectare, é possível determinar a energia fornecida anualmente por hectare de oleaginosa plantada, de acordo com a equação apresentada a seguir:

$$E(\text{kJ} / \text{ha}) = \text{PCI} \times \text{produção}(\text{t} / \text{ha}) \quad (4.6)$$

Foram utilizados os valores médios do rendimento anual de produção de óleo apresentados na Tabela 4.54, que foram posteriormente comparados com os dados fornecidos por EL BASSAM, (1998). Os valores obtidos, para as oleaginosas consideradas anteriormente, estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 4.56 – Valores de PCI expressos em kJ/ha , para diferentes espécies de oleaginosas

Espécie	Rendimento (kg óleo /ha)	PCI (kJ/kgóleo)	PCI (kJ/ha)
Colza	700	39709	2,78 E+07
Colza*	1270	39709	5,04 E+07
Soja*	378	39623	1,19 E+07

* [EL BASSAM, 1998]

Foram tidos em conta os valores médios anuais da radiação global média diária (situação menos favorável), visto que existem espécies de oleaginosas que apresentam 12 meses de colheita por ano (isto é válido apenas para países tropicais), sendo que as restantes espécies, ao apresentarem sazonalidade, estão adaptadas aos valores de radiação global que lhes permite aumentar a sua produtividade. Ou seja, as oleaginosas com sazonalidade, produzem numa altura específica do ano, cuja radiação global diária, mais se adapta às condições ideais de produção. Desta forma, o valor médio anual da radiação global média diária, nestes casos, deveria ser o valor médio da radiação global diária correspondentes aos respectivos meses de sazonalidade e não uma média anual, visto que no restante ano, não há produção.

Uma vez que 1ha corresponde a 10000 m², obtém-se então os seguintes valores médios anuais da radiação global média diária, por hectare e indicados na Tabela 4.57.

Tabela 4.57 – Radiação global anual (kJ/ha), para as cidades de Buchen, Porto e Bragança

Localidade	Radiação global média diária (Wh/m ²)	Radiação global anual (kWh/ha)	Radiação global anual (kJ/ha)
Buchen	3098	1,13E+07	4,07E+10
Porto	4501	1,64E+07	5,91E+10
Bragança	4520	1,65E+07	5,94E+10

Tabela 4.58 – Rendimento de captura de energia solar de diferentes espécies de oleaginosas, em diferentes localidades

Localidade	Espécie	Energia Produzida (kJ/ha ano)	Radiação global anual (kJ/ha ano)	Rendimento de captura de energia solar (%)
Buchen	Colza	2.78 E+07	4,07E+10	0.07
	Colza*	5.04 E+07		0.12
	Soja	1.19 E+07		0.03
Porto	Colza	2.78 E+07	5,91E+10	0.05
	Colza*	5.04 E+07		0.08
	Soja	1.19 E+07		0.02
Bragança	Colza	2.78 E+07	5,94E+10	0.05
	Colza*	5.04 E+07		0.08
	Soja	1.19 E+07		0.02

* [El Bassam, 1998]

Os valores de produtividade não são muito claros quanto à sua localização [EL BASSAN, 1998]. Seria de esperar que no sul da Europa pudesse haver maior produtividade, pois os valores de radiação global média diária são superiores. No entanto, pode-se concluir que o rendimento de captura de energia solar pelas plantas, é bastante baixo. Estes valores são coerentes com os rendimentos de captura de energia solar apresentados na literatura [KLASS, 1998].

Daqui se depreende que se a sociedade pretender depender dos biocombustíveis, terá então de alterar o actual status quo, seja através do uso de veículos mais eficientes para se reduzir ao consumo de biodiesel, seja por desenvolvimento das espécies vegetais por forma a aumentar o rendimento de captura de energia solar. Talvez faça sentido trabalhar geneticamente as culturas energéticas de forma a torná-las mais eficientes em termos produtivos e eliminando potenciais impactos negativos, associados às características naturais das culturas [GRESSEL, 2008].

Como exemplo da utilidade prática da manipulação genética das culturas pode-se referir a possibilidade de supressão de genes de sementes oleaginosas para eliminar a produção de brometo de metilo que é libertado para a atmosfera, resultado da utilização massiva destas sementes, bem como a redução das emissões não precipitáveis de silício,

resultantes da queima dos biocombustíveis de segunda geração (bioetanol e biobutanol), através da modulação transgénica do teor de sílicio, normalmente existente na celulose.

As algas e cianobactérias de terceira geração de biodiesel podem beneficiar da manipulação transgénica para otimizar os mecanismos biológicos associados à penetração da luz, fotoinibição, assimilação de carbono, etc [GRESSEL, 2008].

5. BREVE ANÁLISE ESTRATÉGICA DE UMA FÁBRICA DE BIODIESEL

5.1. ACTUAL VISÃO DA ANÁLISE ESTRATÉGICA

A estratégia é essencial para o sucesso a longo prazo de qualquer empresa, uma vez que define a natureza da relação entre a organização, os clientes e a concorrência, sendo definida pela equipa de gestão de topo. A principal razão de ser da estratégia empresarial é a criação de uma vantagem competitiva sustentável, podendo ser definida pelo conjunto de decisões e acções da empresa que visam proporcionar aos clientes mais valor (preço, performance, rapidez, serviço) que o oferecido pela concorrência. Assim, a estratégia traduz o caminho escolhido para realizar os objectivos de sucesso empresarial (sobrevivência a longo prazo, crescimento sustentado, rentabilidade adequada, capacidade de inovação), com o mínimo de custos e dentro do menor espaço de tempo possível.

O planeamento estratégico de uma empresa consiste na definição do carácter e propósito global da organização, dos negócios onde deve actuar, dos recursos a afectar. Em suma, visa antecipar o futuro da empresa no longo prazo. Por isto, devemos conhecer a empresa e avaliar as oportunidades e ameaças na sua actividade e identificar as competências centrais que a empresa tem e as deverá adquirir em função dos factores críticos de sucesso no negócio. Daqui deverá resultar a estratégia competitiva que municiará a empresa de vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes, permitindo assim à empresa prosperar na indústria e determinar onde e como competir.

O mundo actual caracteriza-se por uma evolução constante com um ritmo muito elevado, sendo por isso uma fonte de muitas oportunidades, mas também de inúmeras ameaças para as organizações. Estas devem ser capazes de reagir e adaptar-se às mudanças em seu redor, pelo que é fundamental dedicar uma atenção permanente e muito perspicaz a vários elementos. Para ter uma perspectiva completa do enquadramento do negócio e das oportunidades e ameaças potenciais, de modo a determinar as posições competitivas mais sustentáveis a longo prazo, há que:

- Analisar o meio envolvente:
 - o Identificar as tendências do **meio envolvente contextual** (comum a todas as organizações);
 - o Identificar as tendências do **meio envolvente transaccional** (específico para cada indústria);
 - o Analisar complementarmente o meio envolvente transaccional, caracterizando:
 - **Atractividade da indústria** (modelo das cinco forças de Porter e a consequente análise SWOT da empresa);
 - **Estrutura competitiva da indústria;**
 - **Factores críticos de sucesso do negócio**, as actividades da gestão que têm de ser muito bem executadas para garantir o bom desempenho da empresa no seu negócio.
- Analisar a empresa, onde devem ser identificados os pontos fracos e fortes da empresa e dentro destes quais são as suas competências centrais.

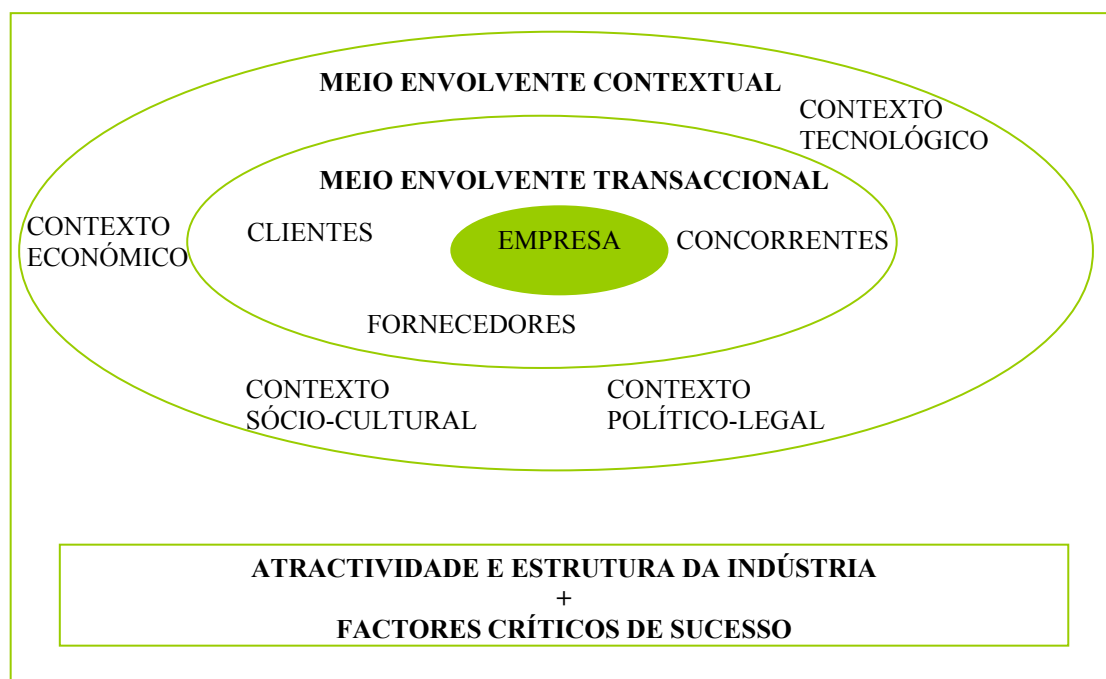


Figura 5.1 – Análise estratégica de um negócio
[FREIRE, 2006]

- Avaliar a adequação estratégica da empresa, que é função do grau de correspondência entre as competências centrais da empresa e os factores críticos de sucesso do negócio.



Figura 5.2 – “Basic framework for Strategy Analysis”
[GRANT, 2008]

Da conjugação das análises do meio envolvente e da organização da empresa nasce a estratégia empresarial. Esta será inicialmente traduzida na sua visão e missão e depois desdobrada em objectivos financeiros e não-financeiros, quantificados e calendarizados. Uma vez definidos os objectivos há que definir um ou vários indicadores para medir a performance ao longo do tempo.

5.2. ANÁLISE ESTRATÉGICA DO MEIO ENVOLVENTE CONTEXTUAL

A actividade das empresas é condicionada, a longo prazo, por um meio ambiente bastante abrangente e comum a todas as actividades empresarias: é o chamado meio ambiente contextual. Apesar das empresas terem pouca capacidade para influenciar o seu meio envolvente contextual, este deve ser tido em consideração na elaboração da estratégia empresarial, sob pena de serem descuradas eventuais oportunidades e ameaças para o negócio. A análise P.E.S.T.E. (política, económica, social, tecnológica e ecológica) permite identificar os diversos contextos do meio envolvente à empresa.

A conjectura mundial actual é extremamente complexa, volátil e de enorme incerteza. Isto resulta de muitos factores estruturais e conjecturais de diversa ordem. A combinação destes factores vai condicionar o nosso futuro e mudar muito o mundo como hoje o conhecemos. Numa sociedade em transformação, são os que melhor se

adaptam que mais hipóteses têm de garantir o seu futuro. Para isso é fundamental ter uma visão de conjunto das transformações em curso e uma visão estratégica sobre a melhor forma de aproveitar as oportunidades desta nova ordem mundial, que assentará nestes quatro vectores intimamente interligados:

- Político, legal e social. As convulsões recorrentes em algumas regiões do globo politicamente conturbadas (Israel, Irão, Iraque, Rússia, Balcãs, Cáucaso, Venezuela, Líbia, apenas para mencionar alguns), associados ao controlo do petróleo e ao fanatismo religioso fazem adivinhar tempos de instabilidade e inquietação. Curiosamente, ou talvez não, muitas destas zonas são ricas em recursos petrolíferos. A crise alimentar em resultado do aumento dos bens essenciais ainda mais abala o frágil equilíbrio de uma economia mundial cada vez mais globalizada e agressiva. Os biocombustíveis desempenharão eventualmente um papel importante no sector dos transportes. Em Portugal, a partir de 2010 será obrigatória a incorporação de 10% de biocombustível, sendo o biodiesel de 2ª geração uma alternativa competitiva para a consecução da meta nacional dos biocombustíveis.

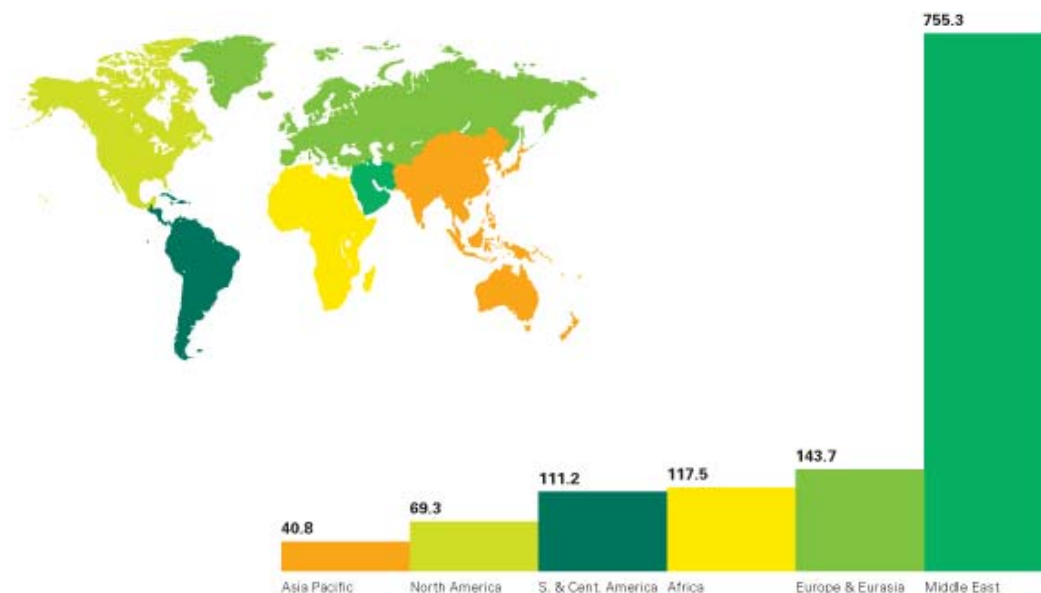


Figura 5.3 – Reservas de petróleo confirmadas no final de 2007, em milhares de milhões de barris
 [BP, 2008]

- Económico e financeiro. A crise do *subprime* norte-americano ainda faz sentir as suas ondas de choque e alguns analistas declaram-se incapazes de prever até onde irá a extensão dos danos provocados. Por outro lado, a alta dos preços do petróleo tampouco ajuda ao desenvolvimento económico ocidental. Curiosamente, é o crescimento da economia chinesa que tem pressionado os preços do petróleo em alta, percebendo-se que é um fenómeno estrutural e não conjectural, porque a oferta está nos limites e a procura crescente é estrutural. Esta ascensão vertiginosa do preço do crude enfatiza bem a importância do sector petrolífero para o desenvolvimento da economia mundial. O alto nível de preços do petróleo abre novas perspectivas em diversas áreas, sendo agora economicamente muito mais interessantes alguns desafios tecnológicos, nomeadamente a prospecção de petróleo em zonas de difícil e dispendioso acesso, nomeadamente jazidas a alta e muito alta profundidade, a aposta em energias renováveis e a produção de biocombustíveis.

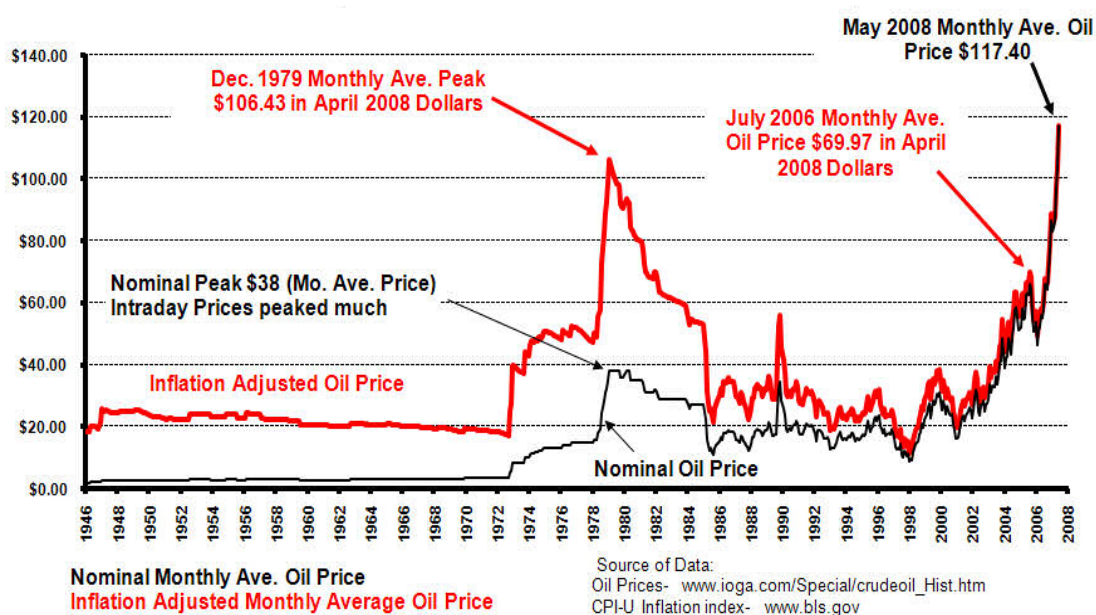


Figura 5.4 – Evolução da cotação do petróleo, em valores nominais e valores ajustados à inflação [www.inflationdata.com]

- Ecológico e Ambiental. A sociedade do carbono conduziu ao aquecimento global do planeta e às profundas alterações climáticas cujos efeitos já começamos a sentir na pele. No entanto, a descarbonização do modelo económico e social em que vivemos obriga à mobilização de todos nós (pegada de carbono ou “*carbon footprint*”) e de todas as nações do mundo, sobretudo das mais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. Isto significa que o sector petrolífero deve acompanhar estas preocupações e está obrigado a encontrar formas de assegurar o crescente fornecimento energético de forma sustentada, transparente e amiga do ambiente. As leis de protecção ambiental devem ser encaradas apenas como reforço da necessidade de tornar o todo o sector mais eficiente.
- Tecnológico e Energético. O desenvolvimento económico mundial sorve cada vez mais recursos energéticos, que pela lei da oferta e da procura serão estruturalmente cada vez mais caros. As mais recentes estimativas apontam para um crescimento das necessidades de energia primária de 50% dentro de apenas 25 anos, em resultado do rápido desenvolvimento da economia mundial, da sua população e do seu nível e estilo de vida. A dependência mundial, e portuguesa também, do petróleo não augura nada de bom, quer pelo seu custo económico (alta de preços estrutural) como ambiental (emissões de CO₂). E não esquecer que a grande maioria do petróleo é controlado por empresas estatais de países com líderes políticos agressivos, colocando em cima da mesa a questão da segurança de abastecimento (“*security of supply*”) de muitos países. As energias renováveis ainda têm uma expressão minoritária, apesar dos fortes investimentos realizados neste âmbito. Neste sentido, a União Europeia anunciou recentemente o objectivo de 20% da energia consumida em 2020 ser de origem renovável. Neste campo, Portugal possui um combinado ímpar de fontes renováveis, com abundantes recursos hídricos, das marés, solar, vento e biomassa. No entanto, o combinado energético nacional é actualmente dominado pelo petróleo e gás natural, que representam grande parte da energia primária consumida.

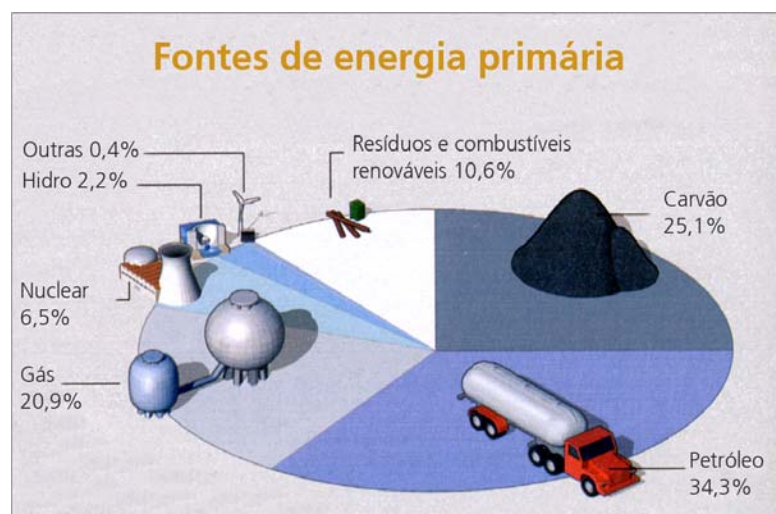


Figura 5.5 – Fontes de energia primária mundial

Por tudo isto percebemos que há que mudar de paradigma económico, rapidamente e em força. Realmente tempo urge, em especial para Portugal que não possui recursos fósseis e encontra-se dependente em cerca de 87 % da importação de energia. Obviamente não existem soluções milagrosas, pelo que cada vez mais a estratégia de diversificação das fontes é a menos arriscada. Neste sentido, e exceptuando a opção nuclear, a aposta em energias renováveis é a única capaz de conduzir o país à independência desejada. É também uma opção inteligente pela combinação invejável de fontes renováveis de que o nosso País dispõe. Outra medida inteligente prende-se com a racionalização dos consumos, atacando o desperdício e promovendo a utilização de equipamentos mais eficientes. A recente legislação comunitária de eficiência energética de edifícios é um excelente exemplo das boas praticas neste âmbito. No entanto, esta mudança de paradigma tem sérios obstáculos, sobretudo no sector dos transportes onde a substituição do petróleo tem-se revelado bem mais difícil.

A par das inovações tecnológicas para a redução de consumos e emissões poluentes, há que encontrar alternativas rápidas e viáveis para o parque motorizado existente, sendo que para isso uma das soluções óbvias em curso é a utilização de biocombustíveis. A ideia parece ótima, pois ao fim e ao cabo poderíamos estar perante um ciclo neutro em carbono que permitira cumprir o objectivo de reduzir a dependência do petróleo. Recentemente percebemos que podia estar a ser colocada pressão nos bens alimentares. Por esse motivo a produção de biocombustíveis tem sido redireccionada a

partir de culturas que não têm utilização alimentar. No entanto, mantém-se a crítica de ser utilizado terreno agrícola fértil em utilização alternativa à alimentar. Realmente este custo de oportunidade existe, embora também muitos defendam que localmente e socialmente tem permitido fixar a população em zonas agrícolas e proporcionar-lhes um rendimento e subsistência, mitigando os supostos efeitos nefastos das plantações em solo fértil. Uma matéria-prima que merece bem a pena ser considerada é o óleo usado de fritura. Tratando-se de um resíduo, podemos “matar dois coelhos com uma só cajadada”. Ou seja, eliminar um problema ambiental (que muitas dores de cabeça e despesa causam nas ETAR) e pelo caminho valorizar energeticamente com proveitos que podem ser bem interessantes. Por tudo isto percebe-se que os biocombustíveis em geral, e o biodiesel em particular são uma alternativa estratégica que deve ser explorada e desenvolvido. Aliás, uma directiva comunitária sucedida por confirmação por Decreto-Lei obriga à sua incorporação em 10 % até 2010.

5.3. ANÁLISE ESTRATÉGICA DO MEIO ENVOLVENTE TRANSACCIONAL

A actividade das empresas é também condicionada por um meio ambiente específico para cada indústria: é o chamado meio ambiente transaccional ou sectorial. É constituído por todos os elementos externos que interagem directamente com a indústria em que a empresa actua, nomeadamente:

- **Clientes**, agrupados em segmentos de mercado para melhor estimar o seu potencial comercial e determinar os respectivos factores-chave de compra, com vista a maximizar a penetração no segmento de clientes com maior potencial a longo prazo. No fundo, constituem o mercado ou a procura. No caso particular da fábrica de biodiesel, a produção seria totalmente comprada pela Galp Energia. Em alternativa poder-se-ia tentar estabelecer um acordo com transportadoras de mercadorias ou de passageiros.

- **Concorrentes**, caracterizados pelas suas capacidades, objectivos, estratégia e pressupostos. Devem ser considerados os actuais e os potenciais concorrentes directos, bem como os produtos substitutos que concorrem com a oferta da empresa na satisfação das mesmas necessidades do mercado. No fundo, constituem a indústria ou a oferta. A análise da concorrência deve ser considerada em sentido lato, de modo a obter uma perspectiva alargada do mercado. É natural que cada segmento de mercado tenha o seu próprio nível concorrencial. No caso particular da fábrica de biodiesel os principais concorrentes são apresentados de seguida:

Tabela 5.1 – Produção de biodiesel a partir de sementes importadas [ROSA, 2006]

COMPANHIA	LOCAL	PRODUÇÃO	OBS.
IBEROL	Alhandra	20 000 t/ano	A operar
		100 000 t/ano	A iniciar produção
FÁBRICA TORREJANA DE BIOCOMBUSTÍVEIS	Riachos	40 000 t/ano	A operar
SUNERGY FUELS	Sintra	5 000 t/ano 2006 20 000 após 2007	A iniciar produção
ARES LUSITANI	Torres Vedras	1 000 L/dia	Em construção

Tabela 5.2 – Produção de biodiesel a partir de sementes importadas [ROSA, 2006]

COMPANHIA	LOCAL	PRODUÇÃO	OBS.
BIOVEGETAL	Porto	100 000 t/ano	Em projecto
MOTAENGIL	Aveiro	100 000 t/ano	Em projecto

Tabela 5.3 – Produção de biodiesel a partir de matéria-prima nacional [ROSA, 2006]

COMPANHIA	LOCAL	PRODUÇÃO	OBS.
ENERSIS	Sines	25 000 t/ano	Em construção

Tabela 5.4 – Produção a partir de óleos usados de frituras em 2006 [ROSA, 2006]

COMPANHIA	LOCAL	PRODUÇÃO	OBS.
DIESELBASE	Setúbal	3 000 L/dia	A operar
SOCIPOLE	Porto	5 000 t/ano	A operar
SPACE	Vila Nova de Famalicão	3 000 t/ano	A operar
ARES LUSITANI	Torres Vedras	1 000 L/dia	Em construção
AMALGA	Alentejo	500 L/dia	Em projecto

Estas empresas apresentam como características comuns:

- Consumido em frotas cativas
- Isenção total de ISP até 15 000 t/ano
- Produtores até 3 000 t/ano

- **Fornecedores**, agentes económicos que prestam serviços ou vendem produtos à indústria, considerando todo o tipo de *inputs* requeridos pela empresa e identificando com rigor as tendências nos diversos mercados a montante da indústria.

- **Comunidade**, organizações, indivíduos e factores que partilham recursos e têm interesses directa ou indirectamente relacionados com o mercado e a indústria. A actividade da empresa tem de ser enquadrada na comunidade onde opera, representada pelo governo, organizações sindicais, industriais e ambientalistas.

5.4. ATRACTIVIDADE DO SECTOR E MODELO DAS 5 FORÇAS DE PORTER

A atractividade potencial de um sector depende da sua dimensão futura e/ou da sua margem operacional. O indicador agregado V.A.S. (Valor da Atractividade Sectorial) combina as três medidas essenciais de atractividade: valor das vendas, taxa de crescimento das vendas e rentabilidade das vendas. No entanto, este indicador não explica a origem da rentabilidade estrutural das indústrias, sendo para isso conveniente recorrer ao modelo das cinco forças, proposto por Porter [GRANT, 2008]. De acordo com este modelo, a atractividade a longo prazo resulta da conjugação dos seguintes factores:

- **Potencial de novas entradas**, uma vez que novos concorrentes podem reduzir rentabilidade estrutural do negócio, sendo por isso condicionado pelas barreiras à entrada e pela expectativa de retaliação dos concorrentes já existentes. Na produção de biodiesel, uma das eventuais barreiras à entrada é o limitado número de licenças de isenção de ISP. No entanto, o investimento é relativamente reduzido e a tecnologia está de alguma forma divulgada. As matérias-primas estão acessíveis, pese embora uma grande volatilidade nos preços e serem sobretudo de importação. Por outro lado, os canais de distribuição de biodiesel são restritos. Adicionalmente a norma NP 590 limita a percentagem de incorporação de biodiesel e este deve também cumprir a norma NP 14 214.

- **Pressão de produtos substitutos**, que reflecte impacto de bens alternativos para a satisfação das mesmas necessidades do consumidor. Conforme já foi referido, as necessidades de energia primária nos próximos anos vão aumentar, mas o petróleo e o gás natural continuarão a ter um forte protagonismo, com algum aumento das fontes renováveis e muita dificuldade na utilização do carvão (por questões ambientais) e do nuclear (por questões político-sociais). Por isso, o biodiesel tem o seu espaço natural assegurado.

- **Poder negocial dos fornecedores**, que reflecte a sua capacidade de influenciarem os termos em que os seus produtos ou serviços são vendidos à indústria.

O sector está fortemente condicionado pelas cotações internacionais de várias matérias-primas. Por outro lado, o sector petrolífero é caracterizado por uma grande integração vertical da cadeia de valor.

- **Poder negocial dos clientes**, que reflecte a capacidade dos clientes influenciarem os termos em que os produtos da indústria são adquiridos, nomeadamente o preço, pagamento, qualidade e serviço. Resulta evidente que um número reduzido de clientes aumenta o seu poder negocial, sendo que a Galp Energia terá uma posição negocial muito forte.

- **Rivalidade entre concorrentes actuais**, que reflecte a intensidade competitiva entre as empresas a operar na indústria.

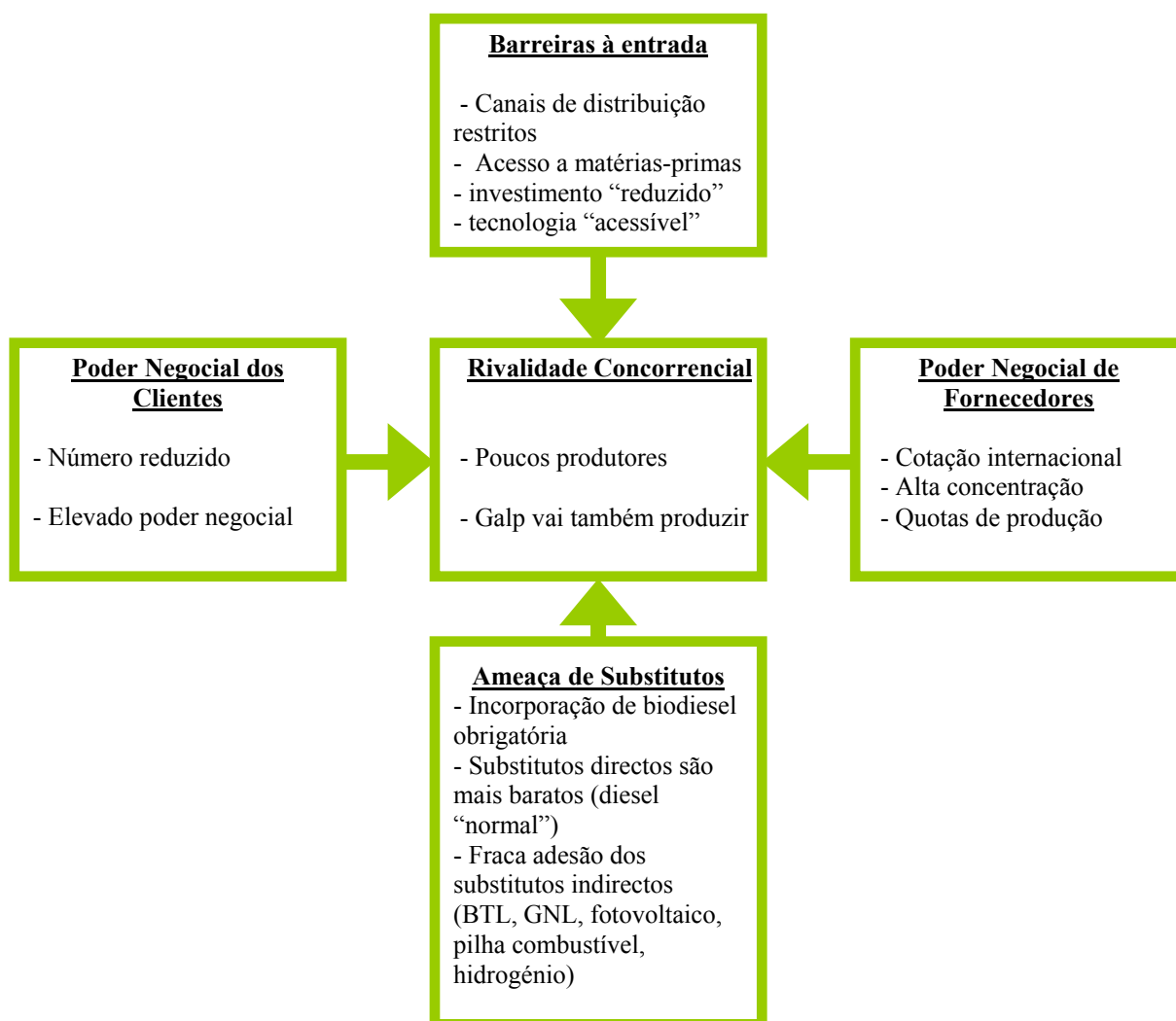


Figura 5.6 – Modelo das 5 forças de Porter para uma fábrica de biodiesel

5.5. ESTRUTURA DA INDÚSTRIA

O sector petrolífero atravessa um período crítico. Desafios como a vaga de fusões e aquisições à escala mundial, a reestruturação das redes de refinação, a racionalização do consumo petrolífero, a severidade da legislação ambiental e o advento de fontes energéticas alternativas põem em risco a sua sobrevivência no longo prazo. Por outro lado, as perspectivas de crescimento do consumo energético associadas às fortes barreiras à entrada de novos concorrentes e o aumento generalizado do custo da energia fazem adivinhar um crescimento importante das vendas do sector nos próximos anos. A indústria petrolífera está concentrada num reduzido número de empresas que detêm uma quota significativa no mercado e influenciam a evolução da indústria.

5.6. FACTORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Os factores críticos de sucesso identificam as actividades ou variáveis de gestão que têm de ser muito bem executadas para garantir o bom desempenho da empresa no seu negócio. Por isto, são as variáveis que proporcionam mais valor aos clientes e que melhor diferenciam os concorrentes na criação desse valor. A análise dos factores críticos de sucesso de uma indústria deve ser dinâmica, acompanhando as necessidades dos clientes e as iniciativas dos concorrentes.

Uma fábrica de biodiesel deve ter assegurado ao acesso às matérias-primas (neste momento de importação), se possível a preço competitivo e/ou com estratégias de redução do risco da variação do preço das matérias-primas, nomeadamente *hedge funding* [BABLER, 2008]. O preço de compra das matérias-primas e de venda do biodiesel são os factores que mais afectam a viabilidade económica do fabrico de biodiesel. A utilização de óleos de fritura usados pode revelar-se extremamente interessante sob este ponto de vista, ao ter um custo muito menor [ZHANG ET AL., 2003] e visto tratar-se de um resíduo endógeno. Outros custos importantes são relativos à dimensão da fábrica e ao preço de venda da glicerina [NELSON ET AL., 1994]. Outro factor crítico de sucesso é a tecnologia empregue, que deve ser eficiente e deve estar adaptada à matéria-prima utilizada, de forma a ser obtido o máximo rendimento de

reacção bem como o maior grau de pureza dos produtos obtidos (sendo assim também maior o seu valor comercial).

O acesso a licenças de isenção de ISP contribui também para a rentabilidade do negócio.

5.7. ANÁLISE ESTRATÉGICA DA EMPRESA

A análise da empresa produtora de biodiesel deveria considerar várias dimensões, nomeadamente:

- Estrutura orgânica, de negócio e segmentos de negócio;
- Gestão financeira;
- Análise SWOT;
- Competências centrais, que são os pontos fortes que a distinguem da concorrência na satisfação das necessidades dos clientes, pelo que devem proporcionar muito valor aos clientes, devem ser difíceis de imitar e devem permitir o acesso a novos mercados;
- Benchmarking estratégico, que consiste na comparação sistemática dos recursos e capacidades de empresas seleccionadas para identificar as melhores práticas de gestão. O benchmarking assume um carácter estratégico quando incide sobre as competências que têm um impacto directo no desempenho dos factores críticos de sucesso.

5.8. FORMULAÇÃO DA ESTRATÉGIA

Conforme já foi referido, da conjugação das análises do meio envolvente e da organização da empresa nasce a estratégia empresarial. Esta será inicialmente traduzida na sua visão e missão e depois desdobrada em objectivos financeiros e não-financeiros, quantificados e calendarizados. Os objectivos que promovem o reforço das competências centrais da empresa nos factores críticos de sucesso do negócio são os objectivos estratégicos. Depois de definidos os objectivos, há que definir um ou vários indicadores para medir a performance ao longo do tempo.

Tabela 5.5 – Análise SWOT para uma fábrica de biodiesel**OPORTUNIDADES**

- Pode contribuir para o desenvolvimento agrícola e consequente aumento de postos de trabalho no sector primário.
- Tem um investimento inferior ao do petróleo, a médio e longo prazo.
- O mercado dos biocombustíveis está em franca expansão.
- A legislação comunitária inclui metas a serem alcançadas, com nível de obrigatoriedade.
- A protecção do meio ambiente é cada vez mais uma preocupação de todos.
- Reservas de petróleo estão a diminuir rapidamente e com fim a médio prazo.
- Evita-se um problema grave de contaminação de águas e problemas na rede de saneamento, no caso dos óleos alimentares usados.
- Políticas de isenção por parte dos governos de cada vez maiores quantidades de biodiesel, face à obrigatoriedade legislativa.

PONTOS FORTES

- O preço do petróleo sobe a cada ameaça de conflitos internacionais.
- É uma energia renovável, é biodegradável e não tóxico.
- É um óptimo lubrificante e pode aumentar a vida útil dos motores.
- Fácil transporte e armazenagem devido ao baixo risco de explosão.
- Substitui total ou parcialmente o gasóleo com ajustes mínimos nos automóveis a diesel, ou sem ajustamentos na íntegra.
- Todos o poderão produzir e sem serem necessárias grandes infra-estruturas.
- Menores emissões de poluentes.
- Um litro de biodiesel é mais barato que um litro de gasóleo, face à isenção total ou parcial de ISP.
- Todos os produtos e subprodutos são aproveitados, não resultando poluição.
- Capacidade mobilizadora dos intermediários.
- Disponibilidade de terrenos e outros factores de produção
- Acesso a tecnologia de ponta europeia

AMEAÇAS

- Os combustíveis fósseis ainda estão baratos.
- A comodidade da petrodependência.
- Produzir biodiesel, mas a que custo? Em detrimento da qualidade de vida, do ambiente, da miséria, da deflorestação, dos próprios recursos naturais?
- Poderá deixar de vir a ser competitivo como gasóleo, se deixar de ter benefícios fiscais.
- Competitividade da Produção Primária.

PONTOS FRACOS

- Cadeia logística sem organização suficiente.
- Reduzida competitividade dependente de subsídios, *tax breaks* e custo de oportunidade.
- Preço da água e sua disponibilidade.
- Reduzida cooperação inter e intra-sectorial (I&D, sectores agrícola e industrial, etc...)
- Descapitalização de agricultores.
- Fraco domínio instrumentos financeiros.
- Não consegue suprimir por si só as necessidades energéticas da população dependente do petróleo.
- A sua utilização em climas onde possam ocorrer temperaturas negativas, pode ser dificultada ou inviável.
- A sua maior base de sustentação, são matérias presentes na alimentação humana e animal.

6. BREVE ANÁLISE ECONÓMICA E FINANCEIRA DE UMA FÁBRICA DE BIODIESEL

6.1. ANÁLISE FINANCEIRA DE PROJECTOS DE INVESTIMENTO

Numa empresa é muito importante tomar decisões sobre a sua estrutura de capital (financiamento com capital próprio dos accionistas ou com capital alheio recorrendo ao endividamento bancário) bem como sobre a forma como gere a sua dívida de curto prazo. No entanto, as decisões de investimento são as mais importantes de todas, uma vez que o imobilizado define e condiciona todo o negócio. A avaliação de projectos permite introduzir racionalidade a este processo de decisão do investimento porque estima o retorno financeiro da afectação de recursos escassos, num contexto de aplicações alternativas (custo de oportunidade) e de incerteza (risco). Desta forma pode-se avaliar *ex-ante* se um projecto acrescenta valor aos seus promotores, sendo por isto um importante instrumento de apoio à decisão, seja de aceitação/rejeição de um projecto ou de selecção/hierarquização de diversos projectos alternativos.

Nesta análise será considerada a independência entre as decisões de investimento e as decisões do seu financiamento. Em teoria, um investimento que crie valor encontrará a cobertura financeira adequada. Assim, a análise de investimentos toma a decisão de financiamento como um dado, pressuposto compatível com a hipótese de os mercados financeiros serem eficientes e competitivos. Em suma, o bom projecto terá financiamento assegurado.

A gestão de uma empresa deve ser orientada para a criação de valor a longo prazo. Isto significa que mais importante que os resultados é a determinação dos *cash flows*, porque há que ter em linha de conta o ciclo de caixa e que as amortizações são um custo mas não são uma despesa.

A avaliação financeira de uma empresa baseia-se na aplicação de modelos que permitam estimar o valor de mercado de um determinado activo. O princípio básico da avaliação financeira é a avaliação relativa: o valor de qualquer activo não é absoluto, sendo determinado com referência a outros activos equivalentes existentes no mercado.

Neste sentido, um dos métodos utilizados em finanças empresariais é o baseado no conceito de “custo de oportunidade” (modelos de avaliação *discounted cash flows*). Segundo este modelo, o valor de mercado de qualquer activo resulta do desconto (actualização para o momento da avaliação) dos *cash flows* esperados que o activo produza no futuro a uma taxa de juro que inclui o custo de oportunidade do capital investido. Os modelos de *discounted cash flow* envolvem:

- *Cash flows* esperados para o futuro (que reflectem o retorno esperado);
- Taxas de actualização dos *cash flows* (que reflectem o risco).

Num projecto de investimento existem três tipos de *cash flow* (pagamentos e recebimentos):

- **Investimento inicial (I_0)**, que acontece instantaneamente no momento zero. O investimento inicial corresponde ao montante de capital necessário para o arranque e desenvolvimento do investimento medido num determinado momento o tempo e resulta da actualização e capitalização de todas as despesas de capital. O “Orçamento de Capital” é o mapa do investimento inicial e inclui diversas rubricas.
- ***Free Cash Flow* dos n períodos t (FCF_t)**, cuja projecção explícita deve ser o mais precisa possível nos períodos mais próximos (balanço e demonstração de resultados previsional e reconstituição do *Free Cash Flow*). Na perspectiva de análise de projectos de investimento determinamos o *Free Cash Flow*, que é independente da forma como a empresa se financia (pressuposto de análise) e que corresponde ao valor que a empresa gera para remunerar accionistas e credores.

- **Valor residual (VR_n)**, considerado quando a vida económica do projecto se prolongar para além do período de planeamento do projecto e cujos *cash flow* são agregados num único momento no final do projecto

$$VR_n = \frac{FCF_{n+1}}{r - g} \quad (6.1)$$

onde g ; é taxa de crescimento do *Free Cash Flow*.

Além destes parâmetros, na avaliação financeira de projectos é também essencial caracterizar:

- **Taxa de custo de oportunidade de capital (r)**, que actualiza tudo ao momento zero, que deve conjugar a taxa de juro de endividamento e o custo de oportunidade do capital. Esta taxa é uma média ponderada e por isso também é designada por W.A.C.C. (*weighted average cost of capital*, ou taxa de custo média ponderada de capital).

$$r = \frac{D}{D + S} \cdot r_D (1 - T) + \frac{S}{D + S} \cdot r_S \quad (6.2)$$

Onde:

D- capitais alheios (*debt*)

S – capitais próprios (*shareholders*)

T – taxa de imposto IRC

r_D – taxa de custo de endividamento

r_S – taxa de custo dos capitais próprios

$$r_S = r_f + (r_m - r_f) \cdot \beta$$

r_f - taxa isenta de risco

r_m - taxa esperada de retorno de mercado

β - coeficiente de risco sistemático do projecto (valores de referência em <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>).

- **Período de planeamento (n)**, que tem uma duração finita bem definida (ao contrário da vida económica, que se supõe no limite infinita)

Deste conceito decorrem dois indicadores de avaliação:

- O Valor Actualizado Líquido V.A.L. (*net present value*), sendo condição de aceitação de um projecto quando $VAL > 0$ e condição de selecção a maximização do VAL.

O VAL de um activo é determinado por:

$$VAL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FCF_t}{(1+r)^t} + \frac{FCF_{n+1}}{r-g} \times \frac{1}{(1+r)^n} \quad (6.3)$$

- A taxa interna de rentabilidade T.I.R., cujo significado económico corresponde à taxa de retorno esperada do investimento (na prática é a taxa r que torna o $VAL=0$).

6.2. ANÁLISE FINANCEIRA DE UM PROJECTO PARA FÁBRICA DE BIODIESEL

A título exemplificativo foi elaborado um breve estudo financeiro para uma fábrica de 20 kt/ano de biodiesel. Para tal, foram utilizados os valores técnicos de entrada (matérias-primas e utilidades necessárias à produção de biodiesel pelas reacções de Transesterificação e Hidroesterificação), referidos na folha de cálculo elaborada por ENCARNÇÃO, (2008). A folha de cálculo para a elaboração do estudo financeiro foi construída por [VILARINHO, 2008] com base na mesma referência, tendo sido adaptada à realidade portuguesa.

O valor do imobilizado foi obtido por consulta com fornecedores de equipamento [www.bioraфинaria.sk e www.biodieselholding.com], sendo posteriormente comparado com o valor indicado na folha de cálculo original, verificando-se a consistência dos valores. O custo das matérias-primas e utilidades foi obtido em www.icispricing.com, pelo que, os preços que eventualmente não foram obtidos nessa referência, estão devidamente indicados bem como a respectiva referência.

Este estudo constitui apenas uma abordagem preliminar de modo a estimar a viabilidade económica do projecto e o seu retorno financeiro. A análise financeira levada a cabo não foi exaustiva, pelo que se refere algumas notas de enquadramento com o trabalho realizado:

- O IVA não foi considerado nas contas. Apesar de pago e só depois recuperado, com esforço de tesouraria e encargos financeiros decorrentes, no final a conta de IVA é "auto-saldada";
- Não há lugar ao pagamento de dividendos. Nesta análise todos os resultados são aplicados no negócio, sendo os investidores remunerados pelo VAL do projecto;
- Foi considerada neutralidade da inflação. É razoável considerar que no médio e longo prazo, MLP, a evolução de preços das matérias-primas MP, dos outros custos e do preço de venda acompanharão a inflação;
- No estudo inicial, foi considerada isenção de ISP em toda a produção. Isto requer quota de produção atribuída pela Direcção Geral de Energia, cujo concurso está definido em Portaria;

- Não foi considerado neste estudo, o crédito resultante da possível venda de créditos de carbono, pela substituição do gasóleo por biodiesel. No capítulo 4 do presente trabalho, foi calculada uma estimativa do montante associado às emissões de CO₂ evitadas e poder-se-ia poupar, na substituição de 20 kt de gasóleo por biodiesel, cerca de 1 milhão de euros em emissões. Para esta estimativa, foi considerada uma hipótese conservadora, de que 1 tonelada de CO₂, é cotada em 17,7 euros. Da consulta dos sites do mercado de carbono (ver anexo B), constata-se que existe uma clara tendência para subida desse preço.

Os restantes pressupostos considerados para a elaboração destes estudos, estão devidamente indicados nas respectivas folhas de cálculo que podem ser consultadas no CD que acompanha este trabalho.

Para o estudo inicial foi simulada produção de 20 kt/ano de biodiesel, a partir de óleo vegetal virgem (óleo de canola, a 590 €/t), com isenção de ISP, através de dois processos: Transesterificação e Hidroesterificação.

No entanto, como referido anteriormente, a produção a partir de resíduos, nomeadamente óleos de fritura usados revela-se extremamente interessante. DORADO ET AL., (2006), indicam que o preço da matéria-prima é um dos factores mais importantes para a viabilidade de uma unidade de produção de biodiesel. Nesse sentido, os óleos usados mostram-se bastante promissores em Espanha, visto que esta matéria-prima é grátis na maior parte do país, permitindo que o preço do biodiesel seja competitivo com o preço do gasóleo.

Desta forma, comparativamente ao estudo financeiro elaborado inicialmente, foi efectuado uma análise de sensibilidade pela alteração de um único parâmetro do processo. Nos estudos elaborados, foi alterado a matéria-prima utilizada (associada ao respectivo preço), a capacidade da unidade (associado ao valor inicial do imobilizado) e isenção (ou não) de ISP. Os resultados obtidos no estudo inicial são apresentados nas tabelas que se seguem.

Tabela 6.1 - Pressupostos e dados de entrada

Dados económicos e financeiros	
Capitais próprios	20%
Capitais alheios	80%
Tx. custo endivid./ rd	7%
Tx. isenta risco rf	5%
Tx. esperada ret. merc. rm	15%
Coef. risco sistemático β	2,0
Tx. custo capitais própr. rs	25%
Taxa de IRC	30%
WACC	8,9%
Período de planeamento	10 anos
Produção Ano 1	60%
Produção anos seguintes	95%
Taxa de IVA	20% (ver nota 1)
Payout ratio	0% (ver nota 2)
Taxa inflação anual	0% (ver nota 3)
Tx. cresc. preços MP/ Produto	0% (ver nota 3)
Ciclo de caixa	
TMExistencias MP+PA	20 dias
TMPagamento	5 dias
TMRecebimento	10 dias
Ciclo de Caixa	25 dias
CMVMC+FSE Trans. Ano 1	25.812 €/dia + IVA
CMVMC+FSE Hidro. Ano 1	25.782 €/dia + IVA
Vendas/dia Ano 1	32.416 €/dia + IVA
CMVMC+FSE Trans. Segui	40.869 €/dia + IVA
CMVMC+FSE Hidro. Segui	40.821 €/dia + IVA
Vendas/dia Anos Seguintes	51.325 €/dia + IVA

Preços dos produtos (venda)	
Biodiesel	0,78 €/L + IVA
Glicerina	753,00 €/t + IVA

Preço de Matérias-Primas e Reagentes (compra)	
Óleo Vegetal	590,00 €/t + IVA
Gordura Animal	540,00 €/t + IVA
Ácido Gordo	415,00 €/t + IVA
Óleo de Fritura	375,00 €/t + IVA
Metanol	490,00 €/t + IVA
Ácido Fosfórico	1.150,00 €/t + IVA
Ácido Cítrico	1.700,00 €/t + IVA
Ácido Clorídrico	200,00 €/t + IVA
Soda Cáustica	350,00 €/t + IVA
Metilato de Sódio	1.278,00 €/t + IVA
Ácido Sulfúrico	380,00 €/t + IVA
Ácido Nióbico	46.000,00 €/t + IVA

Preço de utilidades	
Água de Processo	1,35 €/t + IVA
Água de Arrefecimento	0,45 €/t + IVA
Energia Eléctrica	0,11 €/kWh+IVA
Vapor de 15kgf/cm ²	36,00 €/t + IVA
Ar comprimido	0,046 €/Nm ³ /h+IVA
Azoto Líquido	1,25 €/ m ³ + IVA

Serviços	
Manutenção	7,00 € / t

Conversão de unidades	
densidade biodiesel 20°C	0,875 kg/litro

Investimento inicial (imobilizado corpóreo)	
Capacidade da fábrica	20 kton/ano
Fábrica c/ pré-tratamento	3.567.000,00 € + IVA
Tanques	348.000,00 € + IVA
Bombas	21.750,00 € + IVA
Utilidades	152.250,00 € + IVA
Laboratório	208.800,00 € + IVA
Sist. combate incêndios	52.200,00 € + IVA
Total equipamentos	4.350.000,00 € + IVA
Obras e construção civil	450.000,00 € + IVA
Instalações e outros	100.000,00 € + IVA
Engenharia e projecto	100.000,00 € + IVA
Total investimento inicial	5.000.000,00 € + IVA

Ordenados	
Director	1 4.000,00 €/pax
Engenheiro	2 2.000,00 €/pax
Analistas / Ad	4 600,00 €/pax
Operadores	10 700,00 €/pax
Ordenados	100%
Encargos	65%
Total custos	165%

Dias trabalho/ano	330 dias
produção contínua com 5 grupos de 2 operadores em 3 turnos de 8 horas	

Tabela 6.2 - Dados técnicos do processo de Transesterificação

Matérias-Primas	
Óleo Vegetal	100%
Gordura Animal	0%
Ácido Gordo	0%
Óleo de Fritura	0%
Total	100%
Rendimento do óleo	96%
Rendimento do sebo	96%
Óleo Vegetal	20,83 kt/ano
Gordura Animal	0,00 kt/ano
Ácido Gordo	0,00 kt/ano
Óleo de Fritura	0,00 kt/ano

Reagentes	
Metanol	1,98 kt/ano
Ácido Fosfórico	0,02 kt/ano
Ácido Cítrico	0,01 kt/ano
Ácido Clorídrico	0,16 kt/ano
Soda Cáustica	0,12 kt/ano
Metilato de Sódio	0,37 kt/ano
Ácido Sulfúrico	0,00 kt/ano
Ácido Nióbico	0,00 kt/ano

Utilidades	
Água de Processo	2,07 kt/ano
Água de Arrefecimento	0,03 kt/ano
Energia Eléctrica	400.000,00 kWh/ano
Vapor de 15kgf/cm ²	8,13 kt/ano
Ar comprimido	72.688,00 Nm ³ /ano
Azoto Líquido	1.600,00 m ³ /ano

Produção	
Biodiesel	20 kt/ano
Glicerina	2 kt/ano

Tabela 6.3 - Dados técnicos do processo de Hidroesterificação

Matérias-Primas	
Óleo Vegetal	100%
Gordura Animal	0%
Ácido Gordo	0%
Óleo de Fritura	0%
Total	100%
Rendimento do óleo	96%
Hidrólise	91%
Esterificação	105%
Óleo Vegetal	20,83 kt/ano
Gordura Animal	0,00 kt/ano
Ácido Gordo	0,00 kt/ano
Óleo de Fritura	0,00 kt/ano

Reagentes	
Metanol	2,240 kt/ano
Ácido Fosfórico	0,000 kt/ano
Ácido Cítrico	0,000 kt/ano
Ácido Clorídrico	0,000 kt/ano
Soda Cáustica	0,000 kt/ano
Metilato de Sódio	0,000 kt/ano
Ácido Sulfúrico	0,000 kt/ano
Ácido Nióbico	0,004 kt/ano

Utilidades	
Água de Processo	11,90 kt/ano
Água de Arrefecimento	0,10 kt/ano
Energia Eléctrica	805.125,98 kWh/ano
Vapor de 15kgf/cm ²	13,75 kt/ano
Ar comprimido	112.001,75 Nm ³ /ano
Azoto Líquido	1.600,03 m ³ /ano

Produção	
Biodiesel	20 kt/ano
Glicerina	2 kt/ano

Tabela 6.4 - Orçamento de Capital - Transesterificação

Orçamento de Capital - Transesterificação (euros)											
Rúbricas plano global de investimentos	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
1. Imobilizado Corpóreo											
1.1. Terrenos e recursos naturais		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2. Edifícios e outras construções	550.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.1. Processo produtivo	450.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.2. Actividades administrativas	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.3. Áreas não produtivas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3. Equipamentos	4.350.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.1. Processo produtivo	4.141.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.2. Actividades admnistrativas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.3. Áreas não produtivas	208.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.4. Equipamento de transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.5. Equipamento social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4. Ferramentas e utensílios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5. Outras despesas em imobilizado	274.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5.174.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Imobilizado Incorpóreo											
2.1. Despesas de Instalação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2. Diagnósticos, estudos e projectos	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3. Licenças e royalties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.4. Software e despesas de formação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5. Outras despesas em imob. incorp.	5.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	105.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Despesas correntes não capitalizáveis											
3.1. Auditorias e assistência técnica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2. Ensaio laboratoriais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.3. Transportes de produtos e equip.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.4. Bibliografia, software e formação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5. Informação e divulgação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.6. Outras despesas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Juros intercalares											
4.1. De empréstimos bancários	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.2. De empréstimos de sócios/accion.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.3. Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Capital circulante e disponibilidades											
5.1. Existências	0	516.240	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.2. Créditos curto prazo (clientes)	0	324.156	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.3. Débitos curto prazo (fômec./estado)	0	129.060	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.4. Saldo de caixa de segurança	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.1+5.2-5.3+5.4 = Total	0	711.336	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Subsídios											
6.1. Subsídios a fundo perdido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.2. Subsídios reembolsáveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de despesa de capital	5.280.000	711.336	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor de actualização ou capitalização	-	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Total de despesa de capital actualizada	5.280.000	664.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inv estimento Inicial I ₀	5.944.800										

Tabela 6.5 - Orçamento de Capital – Hidroesterificação

Orçamento de Capital - Hidroesterificação (euros)											
Rúbricas plano global de investimentos	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
1. Imobilizado Corpóreo											
1.1. Terrenos e recursos naturais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2. Edifícios e outras construções	550.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.1. Processo produtivo	450.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.2. Actividades administrativas	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2.3. Áreas não produtivas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3. Equipamentos	4.350.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.1. Processo produtivo	4.141.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.2. Actividades administrativas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.3. Áreas não produtivas	208.800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.4. Equipamento de transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.5. Equipamento social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4. Ferramentas e utensílios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5. Outras despesas em imobilizado	274.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5.174.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Imobilizado Incorpóreo											
2.1. Despesas de Instalação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2. Diagnósticos, estudos e projectos	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3. Licenças e royalties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.4. Software e despesas de formação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5. Outras despesas em imob. incorp.	5.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	105.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Despesas correntes não capitalizáveis											
3.1. Auditorias e assistência técnica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2. Ensaio laboratoriais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.3. Transportes de produtos e equip.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.4. Bibliografia, software e formação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5. Informação e divulgação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.6. Outras despesas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Juros intercalares											
4.1. De empréstimos bancários	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.2. De empréstimos de sócios/accion.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.3. Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Capital circulante e disponibilidades											
5.1. Existências	0	515.633	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.2. Créditos curto prazo (clientes)	0	324.156	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.3. Débitos curto prazo (fornec./estado)	0	128.908	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.4. Saldo de caixa de segurança	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.1+5.2-5.3+5.4 = Total	0	710.881	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Subsídios											
6.1. Subsídios a fundo perdido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.2. Subsídios reembolsáveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de despesa de capital	5.280.000	710.881	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor de actualização ou capitalização	-	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Total de despesa de capital actualizada	5.280.000	664.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investimento Inicial Io	5.944.375										

Tabela 6.6 - Quadros de apoio para os mapas financeiros - Transesterificação

Custo das mercadorias vendidas e matérias consumidas (CMVMC) - Transesterificação (euros)										
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Óleo Vegetal	7.375.000	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083
Gordura Animal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Gordo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo de Fritura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metanol	582.120	921.690	921.690	921.690	921.690	921.690	921.690	921.690	921.690	921.690
Ácido Fosfórico	13.800	21.850	21.850	21.850	21.850	21.850	21.850	21.850	21.850	21.850
Ácido Cítrico	13.260	20.995	20.995	20.995	20.995	20.995	20.995	20.995	20.995	20.995
Ácido Clorídrico	19.200	30.400	30.400	30.400	30.400	30.400	30.400	30.400	30.400	30.400
Soda Cáustica	25.620	40.565	40.565	40.565	40.565	40.565	40.565	40.565	40.565	40.565
Metilato de Sódio	281.109	445.089	445.089	445.089	445.089	445.089	445.089	445.089	445.089	445.089
Ácido Sulfúrico	912	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444	1.444
Ácido Nióbico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total CMVMC	8.311.021	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116

Custos Operacionais - Transesterificação (euros)										
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Água de Processo	1.678	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657
Água de Arrefecimento	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Energia Eléctrica	26.400	41.800	41.800	41.800	41.800	41.800	41.800	41.800	41.800	41.800
Vapor de 15kgf/cm ²	175.651	278.114	278.114	278.114	278.114	278.114	278.114	278.114	278.114	278.114
Ar comprimido	2.006	3.176	3.176	3.176	3.176	3.176	3.176	3.176	3.176	3.176
Azoto Líquido	1.200	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900
Fornecedores serviços externos	206.943	327.660	327.660	327.660	327.660	327.660	327.660	327.660	327.660	327.660
Custos com manutenção	84.000	133.000	133.000	133.000	133.000	133.000	133.000	133.000	133.000	133.000
Custos com pessoal	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940
Total Custos Operacionais	692.883	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600

Tabela 6.7 - Quadros de apoio para os mapas financeiros - Hidroesterificação

Custo das mercadorias vendidas e matérias consumidas (CMVMC) - Hidroesterificação (euros)										
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Óleo Vegetal	7.375.000	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083	11.677.083
Gordura Animal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Gordo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo de Fritura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metanol	658.560	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720	1.042.720
Ácido Fosfórico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Cítrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Clorídrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soda Cáustica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metilato de Sódio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Sulfúrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Nióbico	110.400	174.800	174.800	174.800	174.800	174.800	174.800	174.800	174.800	174.800
Total CMVMC	8.143.960	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603

Custos Operacionais - Hidroesterificação (euros)										
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Água de Processo	9.643	15.268	15.268	15.268	15.268	15.268	15.268	15.268	15.268	15.268
Água de Arrefecimento	27	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Energia Eléctrica	53.138	84.136	84.136	84.136	84.136	84.136	84.136	84.136	84.136	84.136
Vapor de 15kgf/cm²	296.892	470.080	470.080	470.080	470.080	470.080	470.080	470.080	470.080	470.080
Ar comprimido	3.091	4.894	4.894	4.894	4.894	4.894	4.894	4.894	4.894	4.894
Azoto Líquido	1.200	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900
Fornecedores serviços externos	363.992	576.320	576.320	576.320	576.320	576.320	576.320	576.320	576.320	576.320
Custos com manutenção	84.001	133.002	133.002	133.002	133.002	133.002	133.002	133.002	133.002	133.002
Custos com pessoal	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940	401.940
Total Custos Operacionais	849.933	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262

Tabela 6.8 - Outros quadros de apoio para os mapas financeiros

Amortizações do imobilizado (euros)												
tx. Amort.	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
Equipamentos 12,5%	543.750	543.750	543.750	543.750	543.750	543.750	543.750	543.750	0	0	0	
Obras e construção civil 10%	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	0
Instalações e outros 10%	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	0
Engenharia e projecto 10%	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	0
EFF carência 1º ano 25%	70.000	70.000	70.000	70.000	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Amortizações	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0	

Encargos Financeiros de Financiamento do imobilizado (euros) - quadro de amortizações com prestações constantes (sistema Francês)												
Prazo de financiamento (anos)	10	taxa de juro anual nominal capital alheio i					7%	Valor da prestação anual				601.403
Período n	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
Capital em dívida Ck	4.224.000	4.224.000	3.918.277	3.591.154	3.241.133	2.866.609	2.465.869	2.037.078	1.578.270	1.087.347	562.058	
Juro Periódico Jk		295.680	274.279	251.381	226.879	200.663	172.611	142.595	110.479	76.114	39.344	
Amortização capital Mk		305.723	327.123	350.022	374.523	400.740	428.792	458.807	490.924	525.288	562.058	
Prestação Pk		601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	601.403	

Encargos Financeiros de Financiamento do Passivo CP - Transesterificação (euros)												
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
EFF Capital Circulante		49.794	40.805	0	0	0	0	0	0	0	0	

Encargos Financeiros de Financiamento do Passivo CP - Hidroesterificação (euros)												
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
EFF Capital Circulante		49.762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabela 6.9 - Demonstração de Resultados - Transesterificação

Demonstração de resultados sintética corrigida - Transesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Vendas de Biodiesel	0	10.697.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143
Vendas de Glicerina		993.960	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770
Volume de Negócios VN	0	11.691.103	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913
CMVMC	0	8.311.021	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116	13.159.116
Margem bruta MB	0	3.380.082	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796	5.351.796
Custos operacionais	0	692.883	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600	862.600
Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
Outros custos operacionais	0	364.178	419.678	442.576	467.078	493.294	521.346	551.362	583.478	617.843	654.613
Total de Custos	678.750	1.735.811	1.961.028	1.983.927	1.938.428	1.964.645	1.992.696	2.022.712	1.511.078	1.545.443	1.517.213
Encargos financeiros operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Proveitos financeiros operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultados Operacionais ROc / EBIT	-678.750	1.644.271	3.390.769	3.367.870	3.413.368	3.387.152	3.359.100	3.329.085	3.840.718	3.806.353	3.834.583
Encargos financeiros de financiamento	0	345.474	315.084	251.381	226.879	200.663	172.611	142.595	110.479	76.114	39.344
Resultados Correntes RC	-678.750	1.298.797	3.075.684	3.116.489	3.186.489	3.186.489	3.186.489	3.186.489	3.730.239	3.730.239	3.795.239
Resultados Antes de Impostos RAI	-678.750	1.298.797	3.075.684	3.116.489	3.186.489	3.186.489	3.186.489	3.186.489	3.730.239	3.730.239	3.795.239
Impostos sobre os lucros - IRC	0	389.639	922.705	934.947	955.947	955.947	955.947	955.947	1.119.072	1.119.072	1.138.572
Resultados Líquidos RL	-678.750	909.158	2.152.979	2.181.542	2.230.542	2.230.542	2.230.542	2.230.542	2.611.167	2.611.167	2.656.667
Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.10 - Demonstração de Resultados - Hidroesterificação

Demonstração de resultados sintética corrigida - Hidroesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Vendas de Biodiesel	0	10.697.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143	16.937.143
Vendas de Glicerina		993.960	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770	1.573.770
Volume de Negócios VN	0	11.691.103	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913	18.510.913
CMVMC	0	8.143.960	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603	12.894.603
Margem bruta MB	0	3.547.143	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310	5.616.310
Custos operacionais	0	849.933	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262	1.111.262
Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
Outros custos operacionais	0	364.178	419.678	442.576	467.078	493.294	521.346	551.362	583.478	617.843	654.613
Total de Custos	678.750	1.892.861	2.209.690	2.232.589	2.187.090	2.213.307	2.241.359	2.271.374	1.759.741	1.794.105	1.765.875
Encargos financeiros operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Proveitos financeiros operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultados Operacionais ROc / EBIT	-678.750	1.654.282	3.406.619	3.383.721	3.429.219	3.403.003	3.374.951	3.344.935	3.856.569	3.822.204	3.850.434
Encargos financeiros de financiamento	0	345.442	274.279	251.381	226.879	200.663	172.611	142.595	110.479	76.114	39.344
Resultados Correntes RC	-678.750	1.308.840	3.132.340	3.132.340	3.202.340	3.202.340	3.202.340	3.202.340	3.746.090	3.746.090	3.811.090
Resultados Antes de Impostos RAI	-678.750	1.308.840	3.132.340	3.132.340	3.202.340	3.202.340	3.202.340	3.202.340	3.746.090	3.746.090	3.811.090
Impostos sobre os lucros - IRC	0	392.652	939.702	939.702	960.702	960.702	960.702	960.702	1.123.827	1.123.827	1.143.327
Resultados Líquidos RL	-678.750	916.188	2.192.638	2.192.638	2.241.638	2.241.638	2.241.638	2.241.638	2.622.263	2.622.263	2.667.763
Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.11 - Balanço – Transesterificação

Balanço sintético corrigido - Transesterificação (euros) 31.12.Ano X												
	01.01.Ano0	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Imobilizado bruto	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000
- Amortizações acumuladas	0	678.750	1.357.500	2.036.250	2.715.000	3.323.750	3.932.500	4.541.250	5.150.000	5.215.000	5.280.000	5.280.000
= Imobilizado líquido (1)	5.280.000	4.601.250	3.922.500	3.243.750	2.565.000	1.956.250	1.347.500	738.750	130.000	65.000	0	0
+ Existências	0	0	516.240	817.380	817.380	817.380	817.380	817.380	817.380	817.380	817.380	817.380
+ Créditos curto prazo (Clientes)	0	0	324.156	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247
= Activo circulante (2)	0	0	840.396	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627	1.330.627
+ Disponibilidades (3)	0	711.336	1.153.775	2.660.509	5.170.780	7.635.549	10.074.101	12.484.602	14.865.087	17.050.331	19.201.210	21.295.819
+ Fornecedores	0	0	129.060	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345
+ Diversos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Passivo de funcionamento (4)	0	0	129.060	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345	204.345
= Activo (1) + (2) + (3) - (4)	5.280.000	5.312.586	5.787.611	7.030.541	8.862.062	10.718.081	12.547.884	14.349.634	16.121.369	18.241.613	20.327.492	22.422.101
+ Capital social	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000
+ Reservas e resultados	0	-678.750	230.408	2.383.387	4.564.929	6.795.472	9.026.014	11.256.557	13.487.099	16.098.266	18.709.434	21.366.101
= Capital Próprio	1.056.000	377.250	1.286.408	3.439.387	5.620.929	7.851.472	10.082.014	12.312.557	14.543.099	17.154.266	19.765.434	22.422.101
+ Passivo financ. MLP (empréstimos)	4.224.000	4.224.000	3.918.277	3.591.154	3.241.133	2.866.609	2.465.869	2.037.078	1.578.270	1.087.347	562.058	0
+ Passivo financ. CP (empréstimos)	0	711.336	582.926	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Passivo	4.224.000	4.935.336	4.501.203	3.591.154	3.241.133	2.866.609	2.465.869	2.037.078	1.578.270	1.087.347	562.058	0
= Capital Próprio e Passivo	5.280.000	5.312.586	5.787.611	7.030.541	8.862.062	10.718.081	12.547.884	14.349.634	16.121.369	18.241.613	20.327.492	22.422.101
saldo de controlo (deve ser nulo)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.12 - Balanço – Hidroesterificação

Balanço sintético corrigido - Hidroesterificação (euros) 31.12.AnoX												
	01.01.Ano0	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Imobilizado bruto	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000	5.280.000
- Amortizações acumuladas	0	678.750	1.357.500	2.036.250	2.715.000	3.323.750	3.932.500	4.541.250	5.150.000	5.215.000	5.280.000	5.280.000
= Imobilizado líquido (1)	5.280.000	4.601.250	3.922.500	3.243.750	2.565.000	1.956.250	1.347.500	738.750	130.000	65.000	0	0
+ Existências	0	0	515.633	816.420	816.420	816.420	816.420	816.420	816.420	816.420	816.420	816.420
+ Créditos curto prazo (Clientes)	0	0	324.156	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247	513.247
= Activo circulante (2)	0	0	839.789	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666	1.329.666
+ Disponibilidades (3)	0	710.881	578.335	2.707.919	5.229.285	7.705.150	10.154.798	12.576.394	14.967.975	17.164.314	19.326.289	21.431.994
+ Fornecedores	0	0	128.908	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105
+ Diversos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Passivo de funcionamento (4)	0	0	128.908	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105	204.105
= Activo (1) + (2) + (3) - (4)	5.280.000	5.312.131	5.211.715	7.077.230	8.919.847	10.786.961	12.627.859	14.440.706	16.223.537	18.354.876	20.451.851	22.557.555
+ Capital social	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000
+ Reservas e resultados	0	-678.750	237.438	2.430.076	4.622.714	6.864.352	9.105.990	11.347.628	13.589.266	16.211.529	18.833.792	21.501.555
= Capital Próprio	1.056.000	377.250	1.293.438	3.486.076	5.678.714	7.920.352	10.161.990	12.403.628	14.645.266	17.267.529	19.889.792	22.557.555
+ Passivo financ. MLP (empréstimos)	4.224.000	4.224.000	3.918.277	3.591.154	3.241.133	2.866.609	2.465.869	2.037.078	1.578.270	1.087.347	562.058	0
+ Passivo financ. CP (empréstimos)	0	710.881	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Passivo	4.224.000	4.934.881	3.918.277	3.591.154	3.241.133	2.866.609	2.465.869	2.037.078	1.578.270	1.087.347	562.058	0
= Capital Próprio e Passivo	5.280.000	5.312.131	5.211.715	7.077.230	8.919.847	10.786.961	12.627.859	14.440.706	16.223.537	18.354.876	20.451.851	22.557.555
saldo de controlo (deve ser nulo)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.13 - Reconstituição dos *Cash Flow* – Transesterificação

Reconstituição dos Cash Flow - Transesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Resultado Operacional ROc / EBIT	-678.750	1.644.271	3.390.769	3.367.870	3.413.368	3.387.152	3.359.100	3.329.085	3.840.718	3.806.353	3.834.583
+ Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
= Cash Flow Oper. Convenc./EBITDA (1)	0	2.323.021	4.069.519	4.046.620	4.022.118	3.995.902	3.967.850	3.937.835	3.905.718	3.871.353	3.834.583
+ ΔExistencias	0	516.240	301.140	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔCrédito de terceiros (clientes)	0	324.156	189.091	0	0	0	0	0	0	0	0
- ΔCrédito a terceiros (fornecedores)	0	129.060	75.285	0	0	0	0	0	0	0	0
= + ΔCapital Circulante (2)	0	711.336	414.946	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flow Operacional = (1) - (2)	0	1.611.685	3.654.573	4.046.620	4.022.118	3.995.902	3.967.850	3.937.835	3.905.718	3.871.353	3.834.583
- Encargos Financeiros Financiamento	0	345.474	315.084	251.381	226.879	200.663	172.611	142.595	110.479	76.114	39.344
- Impostos sobre os lucros - IRC	0	389.639	922.705	934.947	955.947	955.947	955.947	955.947	1.119.072	1.119.072	1.138.572
= Cash Flow de Autofinanciamento (3)	0	876.572	2.416.783	2.860.292	2.839.292	2.839.292	2.839.292	2.839.292	2.676.167	2.676.167	2.656.667
+ Variação de empréstimos MLP	0	-305.723	-327.123	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
+ Variação de empréstimos CP	711.336	-128.410	-582.926	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação externa de Capitais Próprios	0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
= Financiamento Externo (4)	711.336	-434.133	-910.049	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
Cash Flow Total = (3) + (4)	711.336	442.439	1.506.734	2.510.271	2.464.769	2.438.552	2.410.501	2.380.485	2.185.244	2.150.879	2.094.609
+ Investimento em Imobilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Pagamento de Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação de Disponibilidades	711.336	442.439	1.506.734	2.510.271	2.464.769	2.438.552	2.410.501	2.380.485	2.185.244	2.150.879	2.094.609
= Total de Aplicações de Cash Flow	711.336	442.439	1.506.734	2.510.271	2.464.769	2.438.552	2.410.501	2.380.485	2.185.244	2.150.879	2.094.609

Tabela 6.14 - Reconstituição dos Cash Flow – Hidroesterificação

Reconstituição dos Cash Flow - Hidroesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Resultado Operacional ROc / EBIT	-678.750	1.654.282	3.406.619	3.383.721	3.429.219	3.403.003	3.374.951	3.344.935	3.856.569	3.822.204	3.850.434
+ Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
= Cash Flow Oper. Convenc./EBITDA (1)	0	2.333.032	4.085.369	4.062.471	4.037.969	4.011.753	3.983.701	3.953.685	3.921.569	3.887.204	3.850.434
+ ΔExistencias	0	515.633	300.786	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔCrédito de terceiros (clientes)	0	324.156	189.091	0	0	0	0	0	0	0	0
- ΔCrédito a terceiros (fornecedores)	0	128.908	75.197	0	0	0	0	0	0	0	0
= + ΔCapital Circulante (2)	0	710.881	414.681	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Flow Operacional = (1) - (2)	0	1.622.151	3.670.689	4.062.471	4.037.969	4.011.753	3.983.701	3.953.685	3.921.569	3.887.204	3.850.434
- Encargos Financeiros Financiamento	0	345.442	274.279	251.381	226.879	200.663	172.611	142.595	110.479	76.114	39.344
- Impostos sobre os lucros - IRC	0	392.652	939.702	939.702	960.702	960.702	960.702	960.702	1.123.827	1.123.827	1.143.327
= Cash Flow de Autofinanciamento (3)	0	884.057	2.456.707	2.871.388	2.850.388	2.850.388	2.850.388	2.850.388	2.687.263	2.687.263	2.667.763
+ Variação de empréstimos MLP	0	-305.723	-327.123	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
+ Variação de empréstimos CP	710.881	-710.881	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação externa de Capitais Próprios	0	-0	0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0	0
= Financiamento Externo (4)	710.881	-1.016.603	-327.123	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
Cash Flow Total = (3) + (4)	710.881	-132.546	2.129.584	2.521.366	2.475.865	2.449.648	2.421.596	2.391.581	2.196.339	2.161.975	2.105.705
+ Investimento em Imobilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Pagamento de Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação de Disponibilidades	710.881	-132.546	2.129.584	2.521.366	2.475.865	2.449.648	2.421.596	2.391.581	2.196.339	2.161.975	2.105.705
= Total de Aplicações de Cash Flow	710.881	-132.546	2.129.584	2.521.366	2.475.865	2.449.648	2.421.596	2.391.581	2.196.339	2.161.975	2.105.705

Tabela 6.15 - Mapa do Free Cash Flow – Transesterificação

Mapa do Free Cash Flow - Transesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Resultado Operacional ROc / EBIT	-678.750	1.644.271	3.390.769	3.367.870	3.413.368	3.387.152	3.359.100	3.329.085	3.840.718	3.806.353	3.834.583
- Impostos sobre o Roc (EBIT x t)	0	493.281	1.017.231	1.010.361	1.024.011	1.016.146	1.007.730	998.725	1.152.215	1.141.906	1.150.375
= NOPLAT	-678.750	1.150.989	2.373.538	2.357.509	2.389.358	2.371.006	2.351.370	2.330.359	2.688.503	2.664.447	2.684.208
+ Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
= Cash Flow Bruto (1)	0	1.829.739	3.052.288	3.036.259	2.998.108	2.979.756	2.960.120	2.939.109	2.753.503	2.729.447	2.684.208
+ ΔExistencias	0	516.240	301.140	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔCrédito de terceiros (clientes)	0	324.156	189.091	0	0	0	0	0	0	0	0
- ΔCrédito a terceiros (fornecedores)	0	129.060	75.285	0	0	0	0	0	0	0	0
= ΔCapital Circulante	0	711.336	414.946	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔSaldo segurança disponibilidades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Investimento em imobilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Investimento Bruto (2)	0	711.336	414.946	0	0	0	0	0	0	0	0
= Free Cash Flow (3) = (1) - (2)	0	1.118.403	2.637.342	3.036.259	2.998.108	2.979.756	2.960.120	2.939.109	2.753.503	2.729.447	2.684.208
+ Variação de empréstimos	711.336	-434.133	-910.049	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
+ Encargos Financeiros Financiamento	0	-345.474	-315.084	-251.381	-226.879	-200.663	-172.611	-142.595	-110.479	-76.114	-39.344
+ Impostos sobre E.F.F.	0	103.642	94.525	75.414	68.064	60.199	51.783	42.779	33.144	22.834	11.803
+ Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação Excesso Disponibilidades	-711.336	-442.439	-1.506.734	-2.510.271	-2.464.769	-2.438.552	-2.410.501	-2.380.485	-2.185.244	-2.150.879	-2.094.609
= Fluxo de Financiamento (4)	0	-1.118.403	-2.637.342	-3.036.259	-2.998.108	-2.979.756	-2.960.120	-2.939.109	-2.753.503	-2.729.447	-2.684.208
saldo de controlo (deve ser nulo)=(3)-(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.16 - Mapa do Free Cash Flow – Hidroesterificação

Mapa do Free Cash Flow - Hidroesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
+ Resultado Operacional ROc / EBIT	-678.750	1.654.282	3.406.619	3.383.721	3.429.219	3.403.003	3.374.951	3.344.935	3.856.569	3.822.204	3.850.434
- Impostos sobre o Roc (EBIT x t)	0	496.285	1.021.986	1.015.116	1.028.766	1.020.901	1.012.485	1.003.481	1.156.971	1.146.661	1.155.130
= NOPLAT	-678.750	1.157.997	2.384.634	2.368.605	2.400.454	2.382.102	2.362.466	2.341.455	2.699.598	2.675.543	2.695.304
+ Amortizações do exercício	678.750	678.750	678.750	678.750	608.750	608.750	608.750	608.750	65.000	65.000	0
= Cash Flow Bruto (1)	0	1.836.747	3.063.384	3.047.355	3.009.204	2.990.852	2.971.216	2.950.205	2.764.598	2.740.543	2.695.304
+ ΔExistencias	0	515.633	300.786	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔCrédito de terceiros (clientes)	0	324.156	189.091	0	0	0	0	0	0	0	0
- ΔCrédito a terceiros (fornecedores)	0	128.908	75.197	0	0	0	0	0	0	0	0
= + ΔCapital Circulante	0	710.881	414.681	0	0	0	0	0	0	0	0
+ ΔSaldo segurança disponibilidades											
+ Investimento em imobilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
= Investimento Bruto (2)	0	710.881	414.681	0	0	0	0	0	0	0	0
= Free Cash Flow (3) = (1) - (2)	0	1.125.866	2.648.703	3.047.355	3.009.204	2.990.852	2.971.216	2.950.205	2.764.598	2.740.543	2.695.304
+ Variação de empréstimos	710.881	-1.016.603	-327.123	-350.022	-374.523	-400.740	-428.792	-458.807	-490.924	-525.288	-562.058
+ Encargos Financeiros Financiamento	0	-345.442	-274.279	-251.381	-226.879	-200.663	-172.611	-142.595	-110.479	-76.114	-39.344
+ Impostos sobre E.F.F.	0	103.632	82.284	75.414	68.064	60.199	51.783	42.779	33.144	22.834	11.803
+ Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Variação Excesso Disponibilidades	-710.881	132.546	-2.129.584	-2.521.366	-2.475.865	-2.449.648	-2.421.596	-2.391.581	-2.196.339	-2.161.975	-2.105.705
= Fluxo de Financiamento (4)	0	-1.125.866	-2.648.703	-3.047.355	-3.009.204	-2.990.852	-2.971.216	-2.950.205	-2.764.598	-2.740.543	-2.695.304
saldo de controlo (deve ser nulo)=(3)-(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.17 - Valor Residual - Transesterificação

Valor residual - Transesterificação		
g - taxa crescimento perpétuo FCF	2%	
WACC	8,9%	
Free Cash Flow ano10	2.684.208	
Free Cash Flow ano11	2.737.892	
Valor residual	39.679.601	

Tabela 6.18 - Valor Residual - Hidroesterificação

Valor residual - Hidroesterificação		
g - taxa crescimento perpétuo FCF	2%	
WACC	8,9%	
Free Cash Flow ano10	2.695.304	
Free Cash Flow ano11	2.749.210	
Valor residual	39.843.623	

Tabela 6.19 - Indicadores de performance e avaliação financeira - Transesterificação

Indicadores de Performance e Avaliação Financeira - Transesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
EBIT	-678.750	1.644.271	3.390.769	3.367.870	3.413.368	3.387.152	3.359.100	3.329.085	3.840.718	3.806.353	3.834.583
Resultados Líquidos RL	-678.750	909.158	2.152.979	2.181.542	2.230.542	2.230.542	2.230.542	2.230.542	2.611.167	2.611.167	2.656.667
EBITDA	0	2.323.021	4.069.519	4.046.620	4.022.118	3.995.902	3.967.850	3.937.835	3.905.718	3.871.353	3.834.583
Free Cash Flow	-5.944.800	1.118.403	2.637.342	3.036.259	2.998.108	2.979.756	2.960.120	2.939.109	2.753.503	2.729.447	2.684.208
Valor residual											39.679.601
Cash Flow Total	-5.944.800	1.118.403	2.637.342	3.036.259	2.998.108	2.979.756	2.960.120	2.939.109	2.753.503	2.729.447	42.363.809
Factor de actualização	1,00	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,60	0,55	0,51	0,46	0,43
Valor actual do Cash Flow Total	-5.944.800	1.027.000	2.223.877	2.351.014	2.131.747	1.945.545	1.774.770	1.618.157	1.392.074	1.267.138	18.059.936
Valor actual Cash Flow Total Acumul.	-5.944.800	-4.917.800	-2.693.923	-342.909	1.788.838	3.734.383	5.509.153	7.127.310	8.519.384	9.786.522	27.846.458
VAL	27.846.458				Payback (anos)	3,2			TIR	33,27%	

Tabela 6.20 - Indicadores de performance e avaliação financeira – Hidroesterificação

Indicadores de Performance e Avaliação Financeira - Hidroesterificação (euros)											
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
EBIT	-678.750	1.654.282	3.406.619	3.383.721	3.429.219	3.403.003	3.374.951	3.344.935	3.856.569	3.822.204	3.850.434
Resultados Líquidos RL	-678.750	916.188	2.192.638	2.192.638	2.241.638	2.241.638	2.241.638	2.241.638	2.622.263	2.622.263	2.667.763
EBITDA	0	2.333.032	4.085.369	4.062.471	4.037.969	4.011.753	3.983.701	3.953.685	3.921.569	3.887.204	3.850.434
Free Cash Flow	-5.944.375	1.125.866	2.648.703	3.047.355	3.009.204	2.990.852	2.971.216	2.950.205	2.764.598	2.740.543	2.695.304
Valor residual											39.843.623
Cash Flow Total	-5.944.375	1.125.866	2.648.703	3.047.355	3.009.204	2.990.852	2.971.216	2.950.205	2.764.598	2.740.543	42.538.927
Factor de actualização	1	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,60	0,55	0,51	0,46	0,43
Valor actual do Cash Flow Total	-5.944.375	1.033.853	2.233.457	2.359.605	2.139.637	1.952.790	1.781.422	1.624.265	1.397.684	1.272.289	18.134.589
Valor actual Cash Flow Total Acumul.	-5.944.375	-4.910.521	-2.677.065	-317.460	1.822.177	3.774.967	5.556.389	7.180.655	8.578.339	9.850.628	27.985.217
VAL	27.985.217				Payback (anos)	3,1			TIR	33,40%	

6.3. RESULTADOS DO ESTUDO DE SENSIBILIDADE

Os estudos de sensibilidade estão apresentadas nas folhas de excel, em anexo. Em forma de resumo deste estudo, a seguir é apresentada uma tabela com os resultados obtidos e respectiva conclusão relativamente à viabilidade económica das alternativas estudadas.

Tabela 6.21 – Resultados da análise de sensibilidade

Estudo	Reacção	Capacidade	Matéria-Prima	Valor Imobilizado	Isenção de ISP	VAL	Investimento
1	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo de Canola (590 €/t)	5.000.000 €	Sim	27.846.458 €	Aceitável
						27.985.217 €	Aceitável
2	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo de Colza (1158 €/t)	5.000.000 €	Sim	-98.923.572 €	Rejeitado
						-98.725.802 €	Rejeitado
3	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	5.000.000 €	Sim	87.925.279 €	Aceitável
						87.256.416 €	Aceitável
4	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	5.000.000 €	Não	19.886.873 €	Aceitável
						19.218.010 €	Aceitável
5	Transesterificação Hidroesterificação	100 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	20.000.000 €	Não	122.364.141 €	Aceitável
						119.019.824 €	Aceitável
6	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo de Jatropha (137 €/t)	5.000.000 €	Sim	106.331.851 €	Aceitável
						106.470.610 €	Aceitável
7	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (68 €/t)	5.000.000 €	Não	50.436.663 €	Aceitável
						49.767.799 €	Aceitável
8	Transesterificação Hidroesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (68 €/t)	5.000.000 €	Sim	118.475.069 €	Aceitável
						117.806.205 €	Aceitável
9	Transesterificação Hidroesterificação	50 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	10.000.000 €	Não	59.388.707 €	Aceitável
						57.716.548 €	Aceitável

Os resultados obtidos permitem dizer que a viabilidade económica de uma fábrica de biodiesel está muito dependente do custo da matéria-prima utilizada e do preço de venda do biodiesel. Estes resultados estão em conformidade com os resultados obtidos por [ENCARNAÇÃO, 2008] e [VILARINHO, 2008], bem como outros autores que fizeram estudos semelhantes a processos de produção de biodiesel com tecnologias diferentes tais como MARCHETTI ET AL., (2008) e ZHANG ET AL., (2003).

Na Tabela 6.22, são apresentados os VAL obtidos para uma unidade de produção anual de 20 kt de biodiesel, a partir de diferentes matérias-primas (com custos diferentes). Esta análise de sensibilidade permite analisar a influência deste parâmetro na viabilidade económica do projecto de produção de biodiesel.

Tabela 6.22– Influência do preço da matéria-prima no VAL do projecto, para os processos de transesterificação e de hidroesterificação

Estudo	Reacção	Capacidade	Matéria-Prima	Valor Imobilizado	Isenção de ISP	VAL	Investimento
1	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo de Canola (590 €/t)	5.000.000 €	Sim	27.846.458 €	Aceitável
	Hidroesterificação					27.985.217 €	Aceitável
2	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo de Colza (1158 €/t)	5.000.000 €	Sim	-98.923.572 €	Rejeitado
	Hidroesterificação					-98.725.802 €	Rejeitado
3	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	5.000.000 €	Sim	87.925.279 €	Aceitável
	Hidroesterificação					87.256.416 €	Aceitável
6	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo de Jatropha (137 €/t)	5.000.000 €	Sim	106.331.851 €	Aceitável
	Hidroesterificação					106.470.610 €	Aceitável
8	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (68 €/t)	5.000.000 €	Sim	118.475.069 €	Aceitável
	Hidroesterificação					117.806.205 €	Aceitável

Os resultados apresentados na Tabela 6.22 são apresentados graficamente, para ambos os processos: Transesterificação e Hidroesterificação.

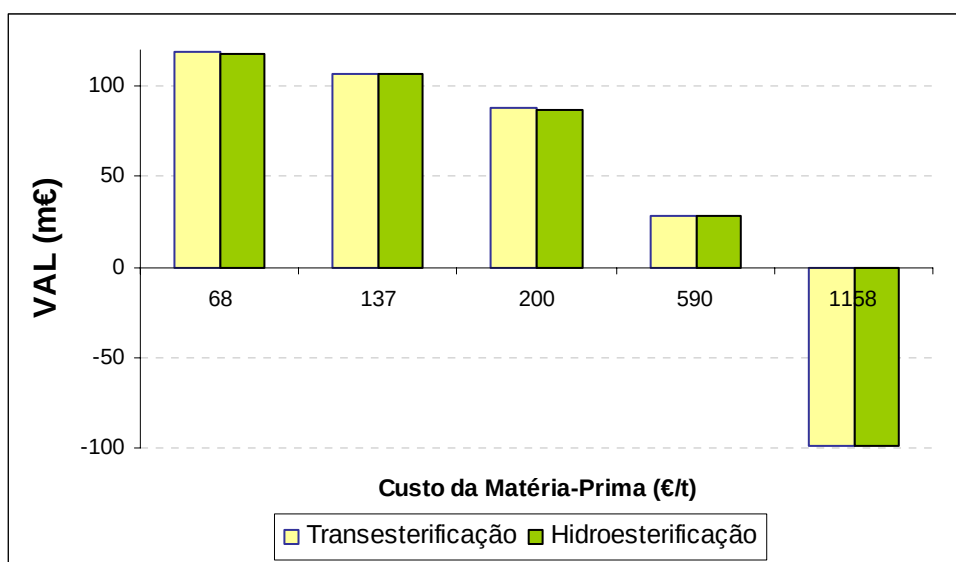


Figura 6.1 –Influência do preço da matéria-prima no VAL do projecto de transesterificação e hidroesterificação

Para os valores recolhidos para o investimento inicial, custo das matérias-primas, reagentes e utilidades e venda do biodiesel e glicerina pode-se afirmar que se trata de um projecto bastante interessante, com investimento inicial a rondar os 6.000.000 € e ao fim de 10 anos com um VAL de aproximadamente 28.000.000 €, uma TIR de 33 % e um *payback* em pouco mais de 3 anos. Considerando que a glicerina não tem valor comercial (hipótese mais conservadora e pouco realista, dadas as novas aplicações para este subproduto e tendo em conta que em última análise, a glicerina poderá ser utilizada como combustível em processos de combustão), verifica-se que os projectos de

produção de biodiesel de óleo de canola com isenção de ISP ainda é bastante vantajoso, apresentando um VAL de cerca de 14.000.000 €, uma TIR de 20 % e um *payback* de 5 anos.

Quando se aplica esta hipótese ao processo de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais usados, os valores obtidos são: VAL de cerca de 74.000.000 €, uma TIR de 76 % e um *payback* de apenas 1,5 anos. A venda da glicerina a 753 €/t contribui em 15,5 % para o VAL do projecto. Constata-se, assim, que este subproduto contribui para os resultados, e por isso não é desprezável, ainda que não seja o factor mais determinante para os resultados.

A partir da análise de sensibilidade, pode-se verificar que a matéria-prima mais interessante do ponto de vista económico é, sem dúvida, o óleo vegetal usado, tanto no processo de transesterificação como de hidroesterificação. Neste estudo não se encontrou diferenças substanciais em termos de resultados económicos e financeiros dos projectos pela transesterificação e hidroesterificação, pelo que se pode dizer que ambos os processos são bastante aliciantes. No entanto, ENCARNÇÃO, (2008), refere a hidroesterificação como o projecto mais vantajoso, não só por ser mais versátil sob o ponto de vista da matéria-prima a utilizar, uma vez que é adequada a matérias-primas de qualidade inferior como o caso dos óleos de fritura usados ou gorduras animais (sendo mais baratas), bem como pelos custos de produção inferiores associados à utilização de um catalisador heterogéneo e dispensar pré-tratamento da matéria-prima.

No entanto, no processo de hidroesterificação é necessário maior consumo de reagentes e utilidades, tais como metanol, vapor, energia eléctrica, azoto líquido e água [ENCARNÇÃO, 2008].

No presente estudo, as diferenças entre os processos não se apresentam evidenciadas, visto que foi considerado o custo inicial do imobilizado igual em ambos os processos, uma vez que o processo de transesterificação implica mais equipamento para o pré-tratamento da matéria-prima e purificação dos produtos de reacção, enquanto que na unidade de hidroesterificação, é necessário menos equipamento. No entanto, este último processo implica equipamento mais robusto, devido às condições mais severas da reacção, o que presumivelmente tornará o equipamento mais caro. Esta hipótese poderá eventualmente ser mais penalizadora para a hidroesterificação apesar dos equipamentos de pré-tratamento da unidade de transesterificação também requerem

material mais caro, pelo carácter ácido do meio reaccional existente nesta fase do processo produtivo.

ENCARNAÇÃO, (2008), concluiu que o processo de hidroesterificação é mais interessante que o processo de transesterificação. ARANDA¹, (2008), corrobora esta observação, pelo que se poderá depreender que as observações colocadas anteriormente são sustentadas.

No que toca à capacidade da unidade de produção, verificou-se no presente estudo, uma clara vantagem provocada pelo efeito de escala, uma vez que o VAL das unidades de transesterificação e hidroesterificação com capacidade de 100 kt/ano é cerca de 35 % superior ao VAL obtido pelas mesmas unidades com capacidade de 20 kt/ano. Daqui se conclui que é economicamente mais vantajoso ter uma fábrica de 100 kt/ano do que ter cinco unidades de 20 kt/ano espalhadas pelo país, tendo em conta que os custos adicionais associados às necessidades de distribuição e logística, certamente não ultrapassarão a vantagem de 35 % do VAL obtido com a unidade de 100 kt/ano. De notar que o valor estimado para o imobilizado corpóreo inicial das unidades com capacidade produtiva de 100 kt/ano foi baseado no valor referido em [ENCARNAÇÃO, 2008], tendo-se procedido à conversão da moeda (de reais para euros), e arredondamento por excesso de forma a considerar-se uma hipótese mais conservadora. Na Tabela 6.23 e na Figura 6.2, é apresentado o resumos do estudo de sensibilidade com alteração do parâmetro capacidade da unidade de produção.

Tabela 6.23 – Influência da capacidade da unidade de produção no VAL do projecto, para os processos de transesterificação e de hidroesterificação

Estudo	Reacção	Capacidade	Matéria-Prima	Valor Imobilizado	Isenção de ISP	VAL	Investimento
3	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	5.000.000 €	Sim	87.925.279 €	Aceitável
	Hidroesterificação					87.256.416 €	Aceitável
9	Transesterificação	50 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	10.000.000 €	Não	59.388.707 €	Aceitável
	Hidroesterificação					57.716.548 €	Aceitável
5	Transesterificação	100 kt/ano	Óleo Usado (200 €/t)	20.000.000 €	Não	122.364.141 €	Aceitável
	Hidroesterificação					119.019.824 €	Aceitável

¹ As informações fornecidas por Aranda, 2008, foram obtidas via e-mail, no dia 7 de Novembro de 2007.

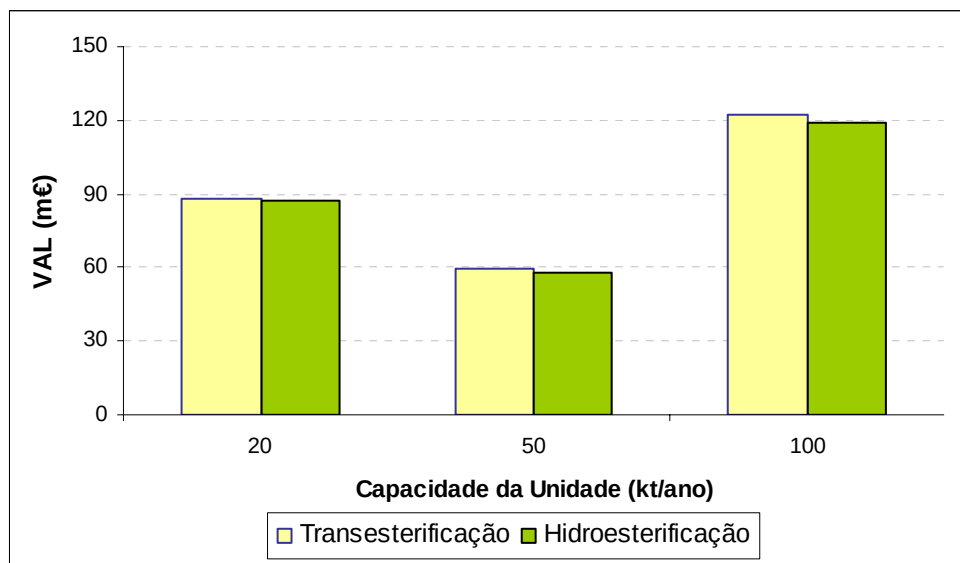


Figura 6.2 –Influência da capacidade da unidade de produção no VAL do projecto de transesterificação e hidroesterificação

Assim, de forma sucinta e com a ressalva que o estudo efectuado constitui um estudo preliminar sem pretensão de representar mais do que isso, poder-se-á dizer que o projecto que se mostra mais interessante, é o processo a operar com óleos de fritura, com uma capacidade de 100 kt/ano, pois este apresenta um VAL bastante interessante, mesmo sem isenção de ISP. Aliás, não foi considerada a isenção de ISP nesta situação (nem para uma capacidade de 50 kt/ano), uma vez que esta situação aparenta ser irrealista uma vez que a isenção de ISP é concedida pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), através de concurso definido em Portaria e com cotas limitadas de isenção. Da experiência de actuais empresas com capacidade produtiva anual de 100 kt, sabe-se que não é concedida isenção de ISP a toda a produção, sendo que, na melhor das hipóteses, é apenas concedida a uma cota de produção (como o caso da empresa Torrejana). Aliás, o objectivo destes estudos, é ponderar as hipóteses mais conservadoras, de forma a analisar os projectos de forma realista.

Posteriormente, foi considerada a hipótese conservadora que a médio-longo prazo, de que a glicerina deixaria de ter valor comercial, devido à forte produção deste subproduto, sobrecarregando o mercado. Para tal, o estudo 1 foi simulado tendo em conta o preço da glicerina igual a zero. Este estudo foi denominado de estudo 1'. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.24.

Tabela 6.24 – Influência do valor comercial da glicerina no VAL do projecto, para os processos de Transesterificação e de Hidroesterificação

Estudo	Reacção	Capacidade	Matéria-Prima	Valor Imobilizado	Isenção de ISP	VAL	Investimento
1	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo de Canola (590 €/t)	5.000.000 €	Sim	27.846.458 €	Aceitável
	Hidroesterificação					27.985.217 €	Aceitável
1'	Transesterificação	20 kt/ano	Óleo de Canola (590 €/t)	5.000.000 €	Sim	14.243.910 €	Aceitável
	Hidroesterificação					14.382.669 €	Aceitável

1' - Processo 1 considerando que a glicerina não tem valor comercial

Verifica-se então, que mesmo considerando esta hipótese e tendo em conta um preço de matéria-prima pouco acessível, o projecto de produção de biodiesel ainda se mostra economicamente viável.

É, no entanto, pertinente referir que esta hipótese é bastante irrealista visto que se tem verificado um grande desenvolvimento de produtos a partir da glicerina (este assunto foi abordado no capítulo 3 do presente trabalho), o que com certeza irá permitir uma maior procura e valorização deste subproduto. Adicionalmente, existe também a alternativa de utilização da glicerina como fonte de energia térmica, resultante da sua queima, se bem que até ao momento esta alternativa é tecnicamente desaconselhada.

É pertinente referir que este tipo de análise de sensibilidade já foi alvo de estudo, com resultados bastante semelhantes.

KORUS ET AL., (1993), estudaram o processo de transesterificação com catálise alcalina de óleo de milho com metanol e etanol, em escala laboratorial e concluíram que o custo da matéria-prima tem um papel fundamental na viabilidade económica do processo. Similarmente, NELSON ET AL., (1994), concluíram que os factores que afectam o custo do biodiesel é o custo da matéria-prima, a capacidade da unidade o preço da glicerina, associado ao grau de pureza da mesma.

ZHANG ET AL., (2003), estudaram a produção de biodiesel através de quatro processos produtivos: a partir de óleos vegetais usados e de óleos vegetais virgens, com catálise ácida e alcalina. Concluíram que apesar do processo produtivo com óleos vegetais novos com catálise alcalina apresentar um custo de capital fixo mais baixo, devido substancialmente à necessidade de menos equipamento e do material requerido para o mesmo poder ser de aço ao carbono, o processo com catálise ácida utilizando óleos usados é economicamente mais rentável, uma vez que tendo custos de produção mais baixos, apresenta uma taxa de retorno mais atractiva. O custo de óleos vegetais

virgens é 2 a 3 vezes superior ao custo de óleos usados, pelo que este deve ser o primeiro parâmetro a alterar para a optimização do custo total de produção de biodiesel.

O processo de transesterificação de óleos de fritura usados com catálise alcalina, implica a necessidade de uma unidade de pré-tratamento da matéria-prima para a redução do teor de ácidos gordos livres. Esta etapa do processo implica maiores custos de produção, associados ao solvente utilizado e à própria unidade, diminuindo o interesse económico deste processo. Uma vez que a transesterificação com catálise ácida é insensível à presença de ácidos gordos livres, este processo é mais vantajoso, pois permite a utilização de óleos vegetais usados sem necessidade de pré-tratamento, implicando custos de operação inferiores.

Verificou-se também, que para além do preço da matéria-prima utilizada, a capacidade da unidade de produção é outro factor determinante para a viabilidade do projecto.

MARCHETTI ET AL., (2008), estudaram três processos: catálise homogénea alcalina com pré-esterificação; catálise ácida homogénea e catálise heterogénea. Todos estes processos utilizaram matéria-prima com 5 % de ácidos gordos livres. Estes estudos foram efectuados por simulação (SuperPro Designer), tendo em conta uma capacidade de produção anual de 36.036 toneladas cúbicas. As tabelas, com os aspectos técnicos relativos a cada processo bem como o custo dos equipamentos, são apresentadas a seguir.

Tabela 6.25 – Aspectos técnicos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL., 2008

	Case I	Case II	Case III
Operation temperature of reactors (°C)	60	60	150
<i>Feed streams (kg/h)</i>			
Oil	4550	4550	4550
% Of free fatty acids	5%	5%	5%
Alcohol (methanol)	750	1500	760
Catalyst (kg/h)* — (metric ton)*	84*	42*	12.13*
Washing water	420	420	—
<i>Out coming streams (kg/h)</i>			
Biodiesel (>98%)	4497	4496	4568
Total glycerol in biodiesel	0.20%	0.53%	0.17%
Performance (metrics ton biodiesel/metric ton raw material)	0.9884	0.9881	1.0040
Glycerol (in solution)	625	540	434

Tabela 6.26 – Custos de equipamentos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL., 2008

Equipment	Case I	Case II	Case III
Pre-mixer of the catalyst	\$50,000	150,000	N/A
Preesterification reactor	\$349,000	N/A	N/A
1st transesterification reactor	\$350,000	\$480,000	\$410,000
2nd transesterification reactor	\$350,000	\$480,000	\$390,000
Neutralizer reactor	\$13,500	\$35,000	N/A
Sum of all decanters used in the process	\$116,000	\$97,500	\$50,000
Distillation column to purifier biodiesel	\$60,000	\$62,000	\$56,000
Distillation column to separate the methanol	\$40,000	\$47,500	\$78,500
Distillation column to separate the glycerol	\$77,500	\$82,000	\$30,000

Tabela 6.27 – Custos de operação dos processos estudados por MARCHETTI ET AL., 2008

	Case I	Case II	Case III
Total operating cost	\$18,109,000	\$18,359,000	\$18,896,000
Raw materials	\$16,044,000	\$16,564,000	\$15,919,000
Equipment dependant	\$1,130,000	\$1,005,000	\$684,000
Labor dependant	\$547,000	\$365,000	\$365,000
Utilities	\$305,000	\$357,000	\$1,874,000
Laboratory	\$83,000	\$68,000	\$54,000
Insurance	\$55,984	\$53,237	\$33,340
Factory expenses	\$279,920	\$266,184	\$166,700
Fringe benefits	\$95,040	\$79,200	\$63,360
Supervision	\$47,520	\$39,600	\$31,680
Operating supplies	\$23,760	\$19,800	\$15,840
Administration	\$142,560	\$118,800	\$95,040

Tabela 6.28 – Indicadores económicos dos processos estudados por MARCHETTI ET AL., 2008.

	Case I	Case II	Case III
Plant capacity (metric ton/year)	36,036	36,036	36,036
Biodiesel revenues (US\$/year)	\$16,029,000	\$16,023,000	\$16,281,000
Credits for glycerol (US\$/year)	\$2,660,000	\$2,548,000	\$3,573,000
Total income (US\$/year)	\$18,689,000	\$18,571,000	\$19,854,000
Equipment cost (US\$)	\$1,503,000	\$1,477,000	\$1,010,000
Total investment (US\$)	\$7,415,000	\$7,327,000	\$5,151,000
Raw material cost (US\$/year)	\$14,414,000	\$14,414,000	\$14,414,000
% of the total operating cost	79.60%	78.51%	76.28%
Total operating costs (US\$/year)	\$18,109,000	\$18,359,000	\$18,896,000
Biodiesel unitary cost (US\$/kg)	\$0.5084	\$0.5156	\$0.5223
Gross margin	5.50%	4.16%	7.74%
Return over investment (ROI)	19.68%	16.69%	33.23%
Net present value (7%)	\$1,797,000	\$(1,275,000)	\$7,789,243
Internal return rate (IRR)	11.17%	6.95%	31.95%

Para este estudo económico foram tidas em conta algumas considerações: o tempo de vida do projecto foi estabelecido em 15 anos, com um ano de construção e para arranque da unidade. Foi considerada depreciação do equipamento constante ao longo do tempo de vida do projecto. Foi assumido que a unidade opera a 100 % da sua capacidade. O financiamento do projecto foi considerado proveniente de investimento privado.

Foi também considerados que os preços de compra, bem como os de venda dos produtos, não sofreram variações o longo do tempo do projecto.

Concluiu-se que o processo heterogéneo apresenta um custo de investimento inicial (imobilizado corpóreo) mais baixo, devido à menor quantidade de equipamento envolvido no processo.

Os custos totais de operação são bastante similares em todas as tecnologias estudadas sendo que o custo de operação associado ao custo do óleo utilizado como matéria-prima, constitui cerca de 76-80 % dos custos totais de operação. Estes resultados estão consistentes com os obtidos por ZHANG ET AL. (2003) e ZHANG (2002), para uma unidade a operar com catálise homogénea alcalina.

Relativamente ao processo de hidroesterificação, exceptuando a referência que serviu de base à concretização do presente trabalho, não existem referências bibliográficas a este processo que permitam comparar os resultados obtidos. De notar que o estudo feito em ENCARNÇÃO, (2008), está adaptado ao contexto brasileiro, cuja realidade fiscal é bastante diferente do mecanismo português. No entanto, dada a proximidade de resultados e tendo em conta esta ressalva, poderá dizer-se de grosso modo que os resultados obtidos para o VAL de ambos os processos estão dentro da mesma ordem de grandeza do que seria obtido no Brasil.

Contudo, e tendo em conta que o mercado mundial da energia em geral, e o do biodiesel em particular, atravessam tempos de elevada volatilidade e incerteza, é prudente adoptar medidas de redução desse risco que permitam diminuir o risco do preço de compra de matérias-primas e de venda do produto acabado: *hedging strategies* [BABLER, 2008].

Mas ao imaginarmos o seguinte cenário vemos o potencial económico em jogo: uma cadeia de distribuição pode aliciar a entrega de garrafas de óleo de fritura usado aos seus clientes mediante o pagamento simbólico de 0,20 €/litro, o que equivale a cerca

de 200 €/tonelada (grosso modo) bem atractivo em comparação com os 590 €/tonelada do óleo vegetal, tornando o projecto ainda mais aliciente (teria de ser também contabilizado custos da logística de recolha, sendo certo que o maior custo é o de da recolha ao cliente final e esse é “suportado” pelo cliente final).

Uma das ameaças a um projecto destes é a concorrência do eventual principal cliente, a Galp Energia, que tem em curso projectos de produção própria de biodiesel complementados por interesses em plantações no Brasil (para verticalizar negócio envolvendo-se na produção da matéria-prima). No entanto, trata-se de uma unidade de média dimensão que poderá encontrar o seu espaço de diversas formas:

- Vender a sua produção eventualmente a uma empresa transportadora a preços mais competitivos que o gasóleo;
- Conseguir isenção de ISP em parte ou totalidade da produção. Sabemos que existem diversos projectos de fábricas pendentes desta isenção por parte da Direcção Geral de Energia;
- Estabelecer ou estar enquadrada num projecto de valorização de óleos de fritura usados, eventualmente promovido por uma grande cadeia de distribuição que poderá envolver os seus clientes numa iniciativa verde, mediante incentivos à entrega do óleo usado na loja, com evidentes poupanças no esforço de recolha, onde todos sairiam a ganhar. No Capítulo 4 do presente trabalho, estimou-se a produção de 20 kt/ano de resíduos de óleos vegetais na Área Metropolitana do Porto. Desta forma, poderá dizer-se, de forma simplista, que basta recolher o óleo de fritura doméstico da Área Metropolitana do Porto para assegurar quase toda a matéria-prima necessária para uma unidade produtiva com esta capacidade.

Outro potencial obstáculo será eventualmente a falta de um sistema de postos de distribuição eficiente em todo o país, e as limitações técnicas à utilização do biodiesel puro, impostas pela Norma NP 590, que limita a incorporação do biodiesel, em volume, de apenas 5 %. No entanto, devido às vantagens associadas à utilização do biodiesel, existe um interesse especial por parte do Governo Português pelo incentivo ao consumo deste biocombustível. Desta forma, o Conselho de Ministros os termos da alínea g) do

artigo 199.º da Constituição, tomou as seguintes medidas que irão permitir ultrapassar a curto prazo as barreiras referidas anteriormente:

- Determinar a criação de especificações que permitam a comercialização de combustíveis com incorporações de biocombustíveis superiores às constantes nas normas vigentes, com níveis máximos de 20 % a partir de 2008;
- Promover a criação de condições logísticas para a introdução no consumo dos volumes de biocombustíveis que beneficiam do regime de isenção de ISP;
- Determinar a criação de um mecanismo de certificados de incorporação de biocombustíveis não incluídos no regime de isenção de ISP, juntamente com um regime de penalidades associadas à não entrega desses certificados;
- Definir incentivos económicos para os operadores de transporte público rodoviário em função dos impactes estimados do nível de incorporação de biocombustíveis substitutos do gasóleo, no exercício da sua actividade;
- Determinar que seja estabelecida uma quota mínima de 5 % de incorporação de biocombustíveis no gasóleo colorido e marcado a partir do 2.º trimestre de 2008.

Estas medidas irão permitir uma maior procura desta *commodity*, abrindo portas a oportunidades de negócio que até então não seriam consideradas. Desta forma, e pela lei da oferta e da procura, certamente o preço do biodiesel irá aproximar-se do preço do gasóleo, tornando este projecto ainda mais aliciente.

Como prova do interesse deste tipo de projecto, refere-se que uma empresa dos Emirados Árabes Unidos, chamada Embio, irá produzir no Dubai cerca de 230 barris de biodiesel por dia, a partir de resíduos de óleos alimentares, sendo posteriormente incorporado no gasóleo. Esta medida irá permitir a redução da pegada carbónica, bem como diversificar a matriz energética do país. Esta unidade produtiva irá começar a laborar no primeiro semestre de 2009 [THE GULF TODAY, 2008].

Se dúvidas restassem relativamente ao enorme interesse económico e ambiental da utilização do biodiesel, especialmente a partir dos óleos usados, como substituto do gasóleo, estas eliminam-se quando os países produtores de petróleo investem nesta indústria.

7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Foi levada a cabo uma breve análise estratégica, económica e financeira que permitiu concluir do enorme interesse e oportunidade do investimento numa fábrica de biodiesel a partir de óleos usados na AMP.

A partir da determinação da estimativa de produção de resíduos de óleos vegetais na AMP, foi analisado o balanço energético referente à produção de biodiesel. Neste aspecto, conclui-se que existe vantagem energética em usar como matéria-prima, resíduos de óleos de fritura, sendo que a relação de energia primária entre produtos/reagentes envolvida no processo de transesterificação para todas as estimativas estudadas foi praticamente o dobro do valor obtido quando é utilizado óleos vegetais refinados, como matéria-prima. A rota metílica mostrou-se mais vantajosa energeticamente, visto que o balanço energético mostrou-se superior, tanto na primeira como na segunda estimativa consideradas neste estudo. Tal facto, deve-se ao maior consumo de etanol exigido no processo, cujo valor de consumo específico é superior (cerca de 30 %) ao consumo específico do metanol.

A indústria do biodiesel mostra-se deveras aliciante para o Estado e para a sociedade pelas vantagens referidas neste trabalho. E, neste sentido, o Governo Português, assim como outros países, tomou medidas de incentivo à sua produção e consumo. Mas para uma empresa privada será igualmente aliciante e viável? Do estudo económico e financeiro e da análise de sensibilidade, depreendeu-se que, de facto, o negócio da energia passará no curto e no médio-longo prazo pelo biodiesel, seja pela suas muitas vantagens como pela muito boa rentabilidade do negócio. A energia é o negócio do futuro e não admira que os grandes empresários nacionais demonstrem interesse em investir nas novas oportunidades que se abrem nesta área com a actual conjectura.

Tendo em conta que as matérias-primas mais baratas (óleo vegetal usado, por exemplo), contêm elevada percentagem de ácidos gordos livres, que dificultam a obtenção de elevados rendimentos no processo de transesterificação com catálise alcalina, o processo que se mostrou com maior viabilidade económica foi o processo de hidroesterificação. Além disso, este processo é mais interessante sob o ponto de vista de versatilidade em termos de matéria-prima a utilizar (questão deveras estratégica nos

tempos que correm, devido à instabilidade dos mercados financeiros), como também em termos de custos de produção, devido à utilização de um catalisador heterogéneo e de dispensar etapas de pré-tratamento da matéria-prima e de purificação dos produtos de reacção. Além disso, a glicerina obtida por este processo, é de elevada pureza o que permite uma maior valorização no mercado desta *commodity*. Desta forma, é mais vantajoso investir no processo de hidroesterificação, do que no processo de transesterificação, apesar dos indicadores financeiros obtidos nos estudos de sensibilidade, VAL, TIR e *payback* obtido ao fim de 10 anos de vida do investimento, serem semelhantes em ambos processos. Naturalmente seria necessário levar a cabo uma análise mais detalhada por forma a estabelecer diferenças entre os dois processos, nomeadamente no que toca ao investimento em imobilizado, considerando idêntico em ambos os processos, e à qualidade (e preço) da glicerina produzida. No entanto, a análise de sensibilidade para diversos cenários torna claro que o resultado financeiro do projecto está muito dependente do custo da matéria-prima e do preço de venda do biodiesel. Também a capacidade produtiva da unidade de produção influencia os resultados financeiros, uma vez que se verificam efeitos de escala em unidades de maior capacidade.

Em termos de análise estratégica deste negócio, indicou-se como potenciais obstáculos a falta de um sistema de postos de distribuição eficiente em todo o país, as limitações técnicas à utilização do biodiesel puro impostas pela Norma NP 590, que limita a incorporação do biodiesel, em volume, de apenas 5 % e a eventual dificuldade na recolha eficiente dos óleos vegetais usados. Contudo, o Governo Português, no sentido de incentivar o consumo dos biocombustíveis, determinou em Conselho de Ministros algumas medidas que irão permitir ultrapassar a curto prazo as duas primeiras barreiras referidas anteriormente.

Para eliminar o potencial obstáculo associado à obtenção de óleos vegetais usados, visto que não existe um sistema consertado de recolha deste resíduo, seria vantajoso estabelecer uma parceria com uma grande superfície comercial no esforço de recolha, eventualmente aliciando a entrega de garrafas de óleo usado aos clientes com descontos (eventualmente até com alguma parceria com a campanha lançada pela AMI ou a exemplo da bem conhecida parceria Galp Energia com o Continente, com a troca de litros de combustível por descontos em compras e vice-versa). A título de resumo,

poderá dizer-se que existem várias vantagens desta perspectiva integrada neste projecto, claramente numa relação *win-win* muito vantajosa:

- Valorização energética de um resíduo (numa altura em que se discute o fim da sociedade do carbono e na busca de alternativas ao petróleo cada vez mais caro);
- Valorização ambiental de um resíduo, reduzindo o impacto negativo dos óleos de fritura usados lançados na rede pública, poupando as ETAR de muito esforço e custos adicionais às autarquias e ao Estado;
- Valorização da responsabilidade social e ambiental da empresa que se envolver nesta iniciativa, que poderá ser capitalizado na imagem da empresa junto dos clientes, que seria seguramente muito impactante em termos de marketing;
- Envolvimento dos seus clientes sob o "pretexto" da protecção do ambiente e da poupança, criando mais um laço e fidelização do cliente;
- Contributo para a redução das importações portuguesas de petróleo em 142.000 barris (e para o objectivo estratégico nacional de redução da dependência energética externa);
- Eventual obtenção de créditos de carbono ao abrigo do Protocolo de Quioto, que poderão render cerca de 1M€ para uma produção anual de 20 kt.

Portanto, não existem desculpas, mas sim motivos para investir no biodiesel a partir de resíduos de óleos alimentares, não só porque permite ganhar muito dinheiro, como contribui para a sustentabilidade do país.

No entanto, a indústria do biodiesel ainda tem muito por explorar, pelo que se sugere para trabalhos futuros, o desenvolvimento de aditivos para melhorar as características deste biocombustível. Neste campo, os aditivos anti-oxidantes mostram-se os mais interessantes, uma vez que a estabilidade à oxidação do biodiesel é um dos parâmetros mais importantes para a sua qualidade.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA REGIONAL DA ENERGIA E AMBIENTE DA REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA, Julho de 2005 “Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na Região Autónoma da Madeira”

ALCKMIN FILHO, J.G.R., 2007, “O Biodiesel e Outros Combustíveis a Partir do Eucalipto”, Renabio, Informativo Técnico, Número 2, 2006

ALMEIDA NETO, 2006, “Produção de biodiesel em escala piloto: Parte 3 - Aspectos ambientais”, I Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de biodiesel, Brasília, Brasil

ALMEIDA NETO, J., DUTRA, A.C., PIRES, M., CRUZ, M., SERPA, R., OLIVEIRA, A., ROBRA, S., BARRETO, T., 2006, “Produção de biodiesel em escala piloto: Parte 3 - Aspectos ambientais”, I Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, Brasília, Brasil

ARANDA, D., 2007, Informação fornecida via e-mail no dia 27/Nov/2007

ARRUDA, F., BELTRÃO, N., ANDRADE, A., PEREIRA, W., SEVERINO, L., 2004, “Cultivo de Pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido Nordeste”, Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, Jan-Abr. 2004, Volume 8, Número 1, pág. 789-799

BABLER, W., 2008, “Hedging Overcapacity, Mandate Economics: Strategies for managing biodiesel commodity risk”, Biodiesel Magazine, Agosto

BEHZADI, S., FARID M. M., 2007, “Review: examining the use of different feedstock for the production of biodiesel”, Asia Pacific Journal of Chemical Engineering, Volume 2; Número 5, pág. 480-486

BELTRÃO, N., 2006, “Considerações Gerais sobre o Pinhão Manso (*Jatrofa curcas* L.) e a necessidade urgente de pesquisas, Desenvolvimento e Inovações tecnológicas para esta planta nas condições Brasileiras”

BEVILL, K., 2008, “Grease: Worth its weight in gold?”, Biodiesel Magazine, Agosto

BLEIBAUM, J.L., THOMPSON, G.A., OHLROGGE, J.B., 1994, “Characteristics of the gene that encodes acetyl-CoA carboxylase in the diatom *Cyclotella cryptica*”, Annals of the New York Academy of Sciences

BP, 2008, “BP Statistical Review of World Energy June 2008”

CÂMARA, G., 2006, “Biodiesel Brasil – Estado atual da Arte”, Publicações do Conselho de Informações sobre Biotecnologia, <http://www.cib.org.br/pdf/>

CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003, “Biodiesel e a Inclusão Social” Conselho de Altos estudos e Avaliação Tecnológica”, Centro de Documentação e Informação, Série estudos científicos e tecnológicos, Número 1

CAMARGO, A., 2007, “Inventário do Ciclo de Vida do metanol para as condições brasileiras”, Dissertação de Mestrado

CASTRO, H., MENDES, A., SANTOS, J., AGUIAR, C., 2004, “Modificação de óleos e gorduras por biotransformação”, Lípases como catalisadores, Quim. Nova, Volume 27, Número 1, pág. 146-156

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS; Bruxelas, 8.2.2006; COM(2006) 34 final, Comunicação da Comissão, “Estratégia da União Europeia no domínio dos biocombustíveis, {SEC(2006) 142}”

COSTA NETO, P.R., ROSSI, L.; ZAGONEL, G., RAMOS, L., 2000, “Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras”, Quím. Nova, Volume 23, Número 4 Jul./Ago. 2000

DANTAS, H., 2006, ” Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão (*Gossypium hisutum*)”, Dissertação de Mestrado

DANTAS, M., 2006, “Obtenção, Caracterização e Estudo Termoanalítico do Biodiesel de Milho (*Zea mays* L.)”, Dissertação de Mestrado

DECRETO-LEI Nº 62/2006 de 21 de Março

DECRETO-LEI N.º66/2006 DE 22 DE MARÇO

DECRETO-LEI N.º 178/2006, DE 5 DE SETEMBRO

DIÁRIO DA REPÚBLICA, 1.ª série — N.º 3 — 4 de Janeiro de 2008

DINCER, K., 2008, “Lower Emissions from Biodiesel Combustion”, Volume 30, Edição 10, pág. 963-967

DGEE, Nº 36, 2008

DGEG, 2007, “Petróleo, gás natural e carvão; Estatísticas Rápidas”; Dezembro 2007, Nº 32;

DGEG ; Renováveis - Estatísticas Rápidas; Fevereiro 2008; Nº 36,

DIÁRIO DE NOTÍCIAS, 27/07/2007

DOMINGOS, A., 2005, “Optimização da etanolise de óleo de *Raphanus Sativus* L. e avaliação de sua estabilidade à oxidação”, Dissertação de Mestrado

DORADO, M.P. , CRUZ, F., PALOMAR, J.M , LÓPEZ, F.J., 2006, “An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain”, Renewable Energy, Volume 31, Edição 8, Julho, pág. 1231-1237

DUNHAM, F., BOMTEMPO, J., ALMEIDA, E., 2005, “Trajectórias Tecnológicas em Combustíveis Sintéticos: Análise dos Mecanismos de Selecção e Indução”

EL BASSAM, N., 1998, *Energy Plant Species*, James & James (Science Publishers) Ltd., London

ENCARNAÇÃO, A.; 2008, “Geração de biodiesel pelos processos de Transesterificação e Hidroesterificação, uma avaliação económica”, Dissertação de Mestrado

FABIANO, D.P., ROSA, C.A.D., MARCINIUK, L.L., CARDOSO, D., 2007 “Simulação da Reacção de Esterificação para Obtenção do Biodiesel”, II Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, Brasília, Brasil

FELIZARDO, P., 2003, “Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Usados de Fritura”, Dissertação de Mestrado

FERRARI, R., OLIVEIRA, V., SCABIO, A., 2005, “Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etilicos, Caracterização Físicoquímica e consumo em gerador de Energia”, Química Nova, Volume 28, Número 1, pág. 19 - 23

FERRARI, R., OLIVEIRA, V., SCABIO, A., 2004, “Produção e uso de biodiesel etílico na UEPG”

FERREIRA, J., 2004, “Análise do Ciclo de Vida dos Produtos”

FERREIRA, M., 2008, “Formulação de combustíveis alternativos em sistemas microemulsionados empregando óleos vegetais e derivados”

FELICIANO FILHO, W., PEREIRA JÚNIOR, J., 2007, “Introdução ao Biodiesel”, Artigo técnico, Informativo CRQ- IV, Edição Março - Abril 2007

- FREIRE, A., 2006, “Estratégia: sucesso empresarial em Portugal”, ed. Verbo, Lisboa
- GRANT, R. M. ,2008, “Contemporary Strategy Analysis”, ed. Blackwell Publishing
- GRESSEL, J., 2008, “Transgenics are imperative for biofuel crops”, Plant Science, Volume 174, Capítulo 3, Março 2008, pág. 246-263
- GUADAGNINI, M., 2006, “ Fontes Alternativas de Energia – Uma visão geral”, Trabalho de Conclusão de Curso, Pós Graduação Executiva em Meio Ambiente
- HAAS, M.J., MCALOON, A.J., YEE, W.C., FOGLIA, T.A., 2006, “A process model to estimate biodiesel production costs”, Biores. Tech., Volume. 97, Edição 4 (2006), pág. 671–678
- HALLEUX, H., LASSAUX, S., RENZONI, R., GERMAIN, A., “Comparative Life Cycle Assessment of Two Biofuels Ethanol from Sugar Beet and Rapeseed Methyl Ester”, Wood and Other Renewable Resources: Biofuels, Discussion Article, pág. 184-190
- HAMMER, G.L.; VANDERLIP, R.L., 1989, “Genotype by-environment interaction in grain sorghum- effects of temperature on radiation use efficiency”, Crop Science, Madison, 29, pág. 370-376
- HARDING, K.G. DENNIS, J.S., BLOTTNITZ, H., HARRISON, S.T.L, 2008, “A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel”, Journal of Cleaner Production, Volume 16, Edição 13, pág. 1368-1378
- HEWITT, J., 2008, “A hedgingexercise in biodiesel”, Biodiesel Magazine, Edição de Setembro de 2008
- HUANG, YUN-HSUN , WU, JUNG-HUA, 2008 “Analysis of biodiesel promotion in Taiwan”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Edição 4, Maio 2008, pág. 1176-1186

JOHNSON, D.T., TACONI, K.A., 2007, “The Glycerin Glut: Options for the Value-Added Conversion of Crude Glycerol Resulting from Biodiesel Production”, Environmental Progress, Volume 26, Edição 4, pág. 338 - 348

INE, ”Informação à Comunicação Social”; 15 de Outubro de 2003

JR., J.K., 2007, ”Sonhos Verdes”, Biocombustíveis - Prós e contras de uma nova energia, National Geographic Portugal, pág. 11-31

KIM, H., KANG,B., KIM, M., KIM, D., LEE, J., LEE, K., 2004, “Development of heterogeneous catalyst system for esterification of free fatty acid contained in used vegetable oil”, Studies in Surface Science and Catalysis,Volume 153, pág. 201-204

KIM, S., DALE, B. E., 2005, “Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel; Biomass and Bioenergy”, Volume 29, (6), pág. 426 - 439

KNOTHE, G., GERPEN, J., KRAHL, J., RAMOS, L., 2006, “Manual de Biodiesel”, Editora Edgard Blucher

KRAM, J.W., 2008, “Improving the bottom line on the front end”, Biodiesel Magazine, Setembro de 2008.

LAPUERTA, M., HERREROS, J.M., LYONS, L.L., GARCÍA-CONTRERAS, R., BRICEÑO, Y., 2008, “Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions”, Fuel, Volume 87, Edições 15-16, Novembro 2008, pág. 3161-3169.

LIMA, P., 2004, “O biodiesel e a inclusão social”, Consultoria Legislativa, Brasília: Câmara dos Deputados

LIMA, M., ALMEIDA NETO, J.A., 2007, “Avaliação Comparativa da Emissão de Gases de Estufa entre o Diesel e o Biodiesel de Óleo de Soja e OGR”, 2007, XIII Seminário de Iniciação Científica, UESC, 29 de Outubro -1 de Novembro de 2007

LÔBO, I., CRUZ, R., 2007, “Optimização da esterificação etílica dos ácidos graxos livres presentes no óleo de dendê”, II Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, 2007

MA, F., F., HANNA, M.A., 1999, “Biodiesel production: a review”, Bioresource Technology, Volume 70, Edição1, Outubro 1999, pág. 1-15

MACEDO, G., MACEDO, J., 2003; “Produção de Biodiesel por Transesterificação de Óleos Vegetais”; Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento

MARCHETTI, J.M., MIGUEL, V.U., ERRAZU, A.F., 2008, “Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production, Fuel Processing Technology, Volume 89, Edição 8, Agosto 2008, pág. 740-748

MENDES, R., 2005, “Diagnóstico , Análise de Governança e Proposição de Gestão para a cadeia produtiva do biodiesel da mamona (CP/BDMA): O caso do Ceará”, Dissertação de Mestrado

MIAO, X., WU, Q., 2006, “Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil”, Bioresource Technology, Volume 97, Edição 6, Abril, pág. 841-846

MONTEIRO, R., SANTOS, R., MONTEIRO JR., N., ARANDA, D., 2005 , “Biodiesel Metílico e Etílico de Palma sobre Ácido Nióbico”

NATIONAL BIODIESEL BOARD, 1999

NIEDERL-SCHMIDINGER, A., NARODOSLAWSKY, M., 2008, “Life Cycle Assessment as an engineer’s tool?”, Journal of Cleaner Production Volume 16, Edição 2, Janeiro, pág. 245-252

NOCKER, L., SPIRINCKX, C., TORFS, R., 1998, “Comparison of LCA and external-cost analysis for biodiesel and diesel”, 2nd International Conference LCA in Agriculture, Agro-industry and Forestry, Brussels, 3-4 de Dezembro

NONHEBEL, S., 2005; “Renew. Sust. Energ. Rev. 9”, pág. 191

OLIVEIRA, M., 2007, “Biodiesel em ascensão- O que falta para este óleo se firmar como um biocombustível nacional”, Revista Pesquisa Fapesp, Edição 134, Abril 2007

OLIVEIRA, M., 2008, “Petroquímica verde Glicerina que sobra da produção de biodiesel”, Revista Pesquisa Fapesp, Edição 149, Julho 2008

OPDAL, O., 2006, “Production of synthetic biodiesel via Fischer-Tropsch synthesis”

PANOOTSOU, C., NAMATOV, I., LYCHNARAS,V., NIKOLAOU, A., 2008, “Biodiesel options in Greece”, Biomass and Bioenergy, Volume 32, Edição 6, pág. 473-481

PARENTE, E. J. S., 2003, “Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado”, disponível em www.tecbio.com.br

PEDROTTI, F., 2006, “Biodiesel – Combustível Ecológico”; Enciclopédia Biosfera, N.02, ISSN 1809-0583

PINHO, C., 2005, “Gestão de Energia Térmica”, Sebenta da cadeira de Gestão de Energia Térmica, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, FEUP

PORTARIA N.º209 / 2004, de 3 de Março

PORTARIA N.º 1554-A / 2007, de 7 de Dezembro

PORTARIA N.º 16-C / 2008, de 9 de Janeiro

PORTAL DO GOVERNO, Resolução do Conselho de Ministros n.º 21/2008, “Estratégia para incorporação de biocombustíveis nos combustíveis fósseis”

PREDOJEVIĆ, Z. J., 2008, “The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps”, Fuel, In Press, Uncorrected Proof, Available online 24 July 2008

QUERCUS - Centro de Informação de Resíduos; 23 de Dezembro 2002, “Estratégia para a Gestão dos Óleos Alimentares Usados (Documento de trabalho)”

Rabelo, I., 2001, “Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura”, Dissertação de Mestrado

RANGANATHAN, S., NARASIMHAN, S., MUTHUKUMAR, K., 2008, “An overview of enzymatic production of biodiesel”, Bioresource Technology, Volume 99, Edição 10, Pág. 3975-3981

RATANAWILAI, S., SUPPALUKPANYA, K., TONGURAI, C., 2005, “Biodiesel from Crude Palm Oil by Sulfonated Vanadia-Titania Catalyst”, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2005, Novi Sad 19-21 May

RIBEIRO, P., 2002, “Embalagens de bens alimentares: contributos para a definição de políticas eco-eficientes em Portugal”, Dissertação de Mestrado

RODRIGUES, J., AZEVEDO, V., 2006, “Nuclear - O debate sobre o novo modelo energético em Portugal”, Centro Atlântico, Edição Novembro 2006

ROSA, M., 2006, “Situação actual dos biocombustíveis e perspectivas futuras”, Gasetta de Física, Fascículo 1-2, Janeiro 2006, pág. 42-47

ROSA, R., 2006, “Os Combustíveis Fósseis - O problema do Peak Oil”, Gaseta de Física, Fascículo 1-2, Janeiro 2006, pág. 17-20

RUDORFF, B., MOREIRA, M., FREITAS, J., TARGA, M., 2005, “Validade do modelo de eficiência do uso da radiação solar para estimativa de biomassa de cultivares de trigo sob estresse hídrico e nutricional”, XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 Abril 2005, INPE, pág. 269-276.

SALES, J., 2006, “A importância do Biodiesel para o Meio Ambiente”, I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Natal, Brasil

SANTOS, R.B., SERRATE, J.W., CALIMAN, L.B., LACERDA JR, V., CASTRO, E.V.R., 2007, “Avaliação do Uso de Óleo Residual Usado em Fritura para a Produção de Biodiesel e Estudo da Transesterificação de Óleo de Soja com Álcoois de Cadeia de até Quatro Carbonos”, II Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, 2007

SARIN, R., SHARMA, M., SINHARAY, S., MALHOTRA, R.K., 2007, “Jatropha–Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia”, Fuel, Volume 86, Edição 10-11, Julho-Agosto 2007, pág. 1365-1371

SAWANGKEAW, R., BUNYAKIAT, K., NGAMPRASERTSITH, S., 2007, “Effect of co-solvents on production of biodiesel via transesterification in supercritical methanol”, Green Chem., Edição 9, pág. 679 - 685

SCHUCHARDT, U., GARCIA, C. M., TEIXEIRA, S., MARCINIUK, L. L., 2006, “Matérias-primas alternativas para produção de biodiesel por catálise ácida”, I Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, 2006

SCHUCHARDT, U., RIBEIRO, GONÇALVES, A.R., 2001, “Quim. Nova“, 24, pág. 247

SCHUCHARDT, U.F., GARCIA, C.M., MARCINIUK, L.L., MUTERLE, R.B.; 2006, “Pedido de patente PI 10600105-0”, depositada no INPI em 13/01/2006

SHARMA, Y.C. SINGH, B., UPADHYAY, S.N., “Advancements in development and characterization of biodiesel: a review”, 2008, Fuel, Volume 87, Edição 12, Setembro 2008, pág. 2355-2373

SILVA, E., 2006, “Processos Químicos e o Trabalho do Engenheiro Químico”, trabalho no âmbito da disciplina de Química Industrial e Inorgânica do Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo

SONG, D., FU, J., SHI, D., 2008, “Exploitation of Oil-bearing Microalgae for Biodiesel”, Chinese Journal of Biotechnology, Volume 24, Edição 3, Março 2008, pág. 341-348

TIWARI, A., KUMAR, A., RAHEMAN, H., 2007, “Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process”, Biomass and Bioenergy, Volume 31, Edição 8, Agosto 2007, pág. 569-575

TORRES, B., ANDRADE, L., BAZITO, R., FREIRE, R., 2007, “I Escola de Verão em Química Verde”, Instituto de Química da USP; São Paulo, 15 a 19 de Janeiro de 2007

TRAINER, T., 2007, “Renewable Energy Cannot Sustain A Consumer Society”, Springer

TYSON, K.S., BOZELL, J., WALLACE, R., PETERSEN, E., MOENS, L., 2004, “Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations”, National Renewable Energy Laboratory

UMER RASHID, U., ANWAR, F., MOSER, B., GERHARD KNOTHE, G., 2008, “Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel”, Bioresource Technology, Volume 99, Edição 17, Novembro 2008, pág. 8175-8179

VALADA, T., 2007, “Análise ambiental e económica da afectação de área agrícola à produção de milho para bioetanol”, Dissertação de Mestrado

VARANDAS, C., ALMEIDA, A., VALLÊRA, A., FERNANDES, E., PEREIRA, M., COELHO, P., 2006, “As energias do Presente e do Futuro”, Gaseta de Física, Fascículo 1-2, Janeiro 2006, pág. 6-8

VELOSO, J., 2007, “Análise dos Mecanismos de Gestão do Fluxo de Óleos e Gorduras Alimentares Usados em Portugal”, Dissertação de Mestrado

VICENTE, G., MARTÍNEZ, M., ARACIL, J., 2004, “BIORESOUR. Technol.”, 92, pág. 297

VILARINHO, P., 2008, “Análise financeira de um projecto de fábrica de biodiesel”, trabalho no âmbito da disciplina de Análise de Negócios e Investimentos do Curso Geral de Gestão da Escola de Gestão Empresarial (EGE)

VITO, R.T, 2000, “Externe: a European accounting framework for Life Cycle Impact Assessment and external costs of transport”, Total Life Cycle Conference and Exposition, Abril 2000, Detroit, MI, USA, Session: LC Cost Accounting

WANG, Y., OU, S., LIU, P., XUE, F., TANG, S., 2006, “Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil”, Journal of Molecular Catalysis A : Chemical, Volume 252, Edições 1-2, Junho 2006, pág. 107-112

WEST, A.H., POSARAC, D., ELLIS, N., 2008, “Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS Plant”, Bioresource Technology, Volume 99, Edição 14, Setembro 2008, pág. 6587-6601

WUST, E., 2004, “Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos”, Dissertação de Mestrado

ZHANG, Y., 2002, “ Design and economic assessment of biodiesel production from waste cooking oil”, M.A.Sc. Thesis, Department of Chemical Engineering, University of Ottawa

ZHANG, Y., DUBÉ, M.A., MCLEAN, D. D., KATES, M., 2003, “Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment”; Bioresource Technology, Volume 89, (1), pág.1-16

ZHANG, Y., DUBÉ, M.A., MCLEAN, D. D., KATES, M., 2003, “Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis”, Bioresource Technology, Volume 90, Edição 3, Dezembro 2003, pág. 229-240

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E NÃO MENCIONADA

FELFILI, J., HILGBERT, L., FRANCO, A., SILVA, J., RESENDE, A., NOGUEIRA, M., 1999, “Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro”, Revista Brasileira de Botânica, Volume 22, Outubro de 1999

FONSECA, E., SILVEIRA, V., SALOMONI, E., 2006, “Conversion efficiency of photosynthetic active radiation to aboveground natural grasslands dry matter in the Campos Sulinos biome, Brazil”

PAULA, S, LEMOS FILHO, J., 2001, “Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte”, Revista Brasileira de Botânica, Volume 24, Número 4, Pág. 543-549

RADIN, B., BERGAMASCHI, H., JUNIOR, C., BARNI, N., MATZENAUER, R., DIDONÉ, I., 2003, “Use efficiency of photosynthetically active radiation by tomato plants grown in different environments”, Pesq. agropec. bras., Volume 38, Número 9, pág. 1017-1023, Setembro 2003

ROALSON, E., 2007, “C₄ Photosynthesis: Convergence upon Convergence upon...”, Current Biology , Volume 17, Edição17, 4 Setembro, pág. R776-R778

ROMANO, M., 2001, “ Análise de Crescimento, Produção de Biomassa, Fotossíntese e Biossíntese de Aminoácidos em Plantas Transgênicas de Tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) que Expressam o Gene *Lhcb1**2 de Ervilha “, Dissertação de Mestrado

RUSSELL, G.; JARVIS, P.G.; MONTEITH, J.L., 1989, “Absorption of radiation by canopies and stand growth”, In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G. (Ed.). Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press:1989, pág.21-39. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 31)

TRIBUZI, E., 2005, “ Variações da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central”, Dissertação de Doutorado

SITES DA INTERNET

<http://www.cienam.ufba.br/pg/segundo/apresenta%E7%F5es%20-%20Recombio%202/Electo%20Recombio%202.pdf>

<http://www.biodieselbr.com/energia/agro-energia.htm>
http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Historico_petroleo.jpg (consultada a 27/2/2008)

http://www.acionista.com.br/home/brasil_ecodiesel/resultados_2T07.pdf

http://www.internationalrenewablesenergy.com/index.php?pag=conteudo&id_conteudo=2955&idmenu=201

<http://www.iapmei.pt>

<http://www.netresiduos.com/cir/relatorios/estroleosaliusados.doc>

<http://www.netresiduos.com>

http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodiesel#As_vantagens_do_biodiesel

<http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/pdf/Biodiesel06.pdf>

http://www.bioteecnologia.com.br/revista/bio32/biodiesel_32.asp

<http://www.netresiduos.com/cir/rsurb/oleosalimentares.htm>

http://www.capitalsemente.pt/index.php/temas-a-z/Ambiente-e-Energia/Documentos/Biodiesel.html#Fontes_alternativas_de_C3.B3leos_e_gorduras

<http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/pdf/Biodiesel03.pdf>

<http://forum.excaliburproject.com/viewtopic.php?f=19&t=12>

<http://www.akatu.org.br/central/noticias/2004/11>

Biodiesel.br.com

http://www.bportugal.pt/rates/cambtx/Txrefer/tcreur_p.htm

<http://www.revistabiodiesel.com.br/por-dentro-do-biodiesel/3.html>

<http://www.colegiosaofrancisco.com.br/alfa/fotossintese/fotossintese-6.php>

<http://www.amp.pt>

<http://alea-estp.ine.pt/html/actual/html/act27.html>

http://www.netresiduos.com/cir/relatorios/BiodieselContracrude_ISP.pdf

<http://www.dgge.pt/>

http://pt.wikipedia.org/wiki/Processo_de_Fischer-Tropsch

<http://www.refuel.eu/biofuels/bio-dme/>

<http://www.refuel.eu/biofuels/fischer-tropsch-diesel/>

<http://www.petrobras.br>

<http://www.camara.gov.br/internet/infdoc/Publicacoes/html/pdf/Biodiesel03.pdf>

<http://www.shell.com>

<http://www.biodieselbr.com/credito-de-carbono/mdl/index.htm>

<http://pt.wikipedia.org>

<http://blog.ecoinformacao.com/2007/10/05/a-importancia-dos-creditos-de-carbono/>

<http://florestareal.clientes.ananke.com.br/html/creditodecarbono.html>

<http://www.revistabiodiesel.com.br/entrevistas/15/donato-aranda.html>

<http://biocombustiveis-brasil.blogspot.com/2008/05/hidroesterificacao-tecnologia-de-segunda.html>

http://www.capitalsemente.pt/index.php/temas-a-z/Ambiente-e-Energia/Documentos/Biodiesel.html#Fontes_alternativas_de_C3.B3leos_e_gorduras

<http://www.netresiduos.com/cir/rsurb/oleosalimentares.htm>

http://preresi.ineti.pt/documentacao/legislacao/nacional/RCM_1-2008.pdf/

http://www.portugal.gov.pt/Portal/PT/Areas_de_Accao/Desenvolvimento_Sustentavel/

<http://www.apambiente.pt/Instrumentos/CELE/TituloEmisGEE/Paginas/default.aspx>

http://www.apambiente.pt/Instrumentos/CELE/EnquadLegisl/Documents/2007_589_C_E_Decisao_Monitorizacao_Nova.pdf

http://www.portugal.gov.pt/Portal/PT/Governos/Governos_Constitucionais/GC17/Ministerios/MAOTDR/Comunicacao/Outros_Documentos/20080117_MAOTDR_Doc_Biocombustiveis.htm

<http://www.labcat.org/ladebio/semana1/palestras/SemanaBiodiesel-5-Bonomi.pdf>

http://journeytoforever.org/biodiesel_yield2.html

<http://www.rbb.ba.gov.br/arquivo/165.pdf>

<http://www.excaliburproject.com/pt/business/>

<http://www.galpenergia.com/>

<http://server2.iq.ufrj.br/~almenara/fotossintese.htm>

<http://www.bioq.unb.br/htm/biomoleculas/geral/NADPH.HTM>

<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>

<http://peteconomiauff.wordpress.com/2008/09/02/daman-plans-to-build-first-biodiesel-plant-emirados-arabes-unidos/>

ANEXOS

ANEXO A. LEGISLAÇÃO EUROPEIA E NACIONAL NO ÂMBITO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS E RESÍDUOS DE ÓLEOS E GORDURAS ALIMENTARES

As mudanças climáticas, induzidas eventualmente pelo uso de combustíveis fósseis, associadas à preocupação com o desenvolvimento sustentável, têm tornado as fontes renováveis de energia extremamente importantes. [SCHUCHARDT ET AL., 2001] Tendo em conta que a nível mundial, o sector dos transportes rodoviários, é 98 % dependente do petróleo e que na União Europeia este sector é responsável por mais de 20 % das emissões totais de CO₂, [RODRIGUES ET AL., 2006] começou a surgir um crescente interesse sobre o potencial de utilização dos biocombustíveis como substitutos dos combustíveis de origem fóssil.

Neste sentido, surgiu em 7 de Dezembro de 2005, o Plano Europeu de Acção para a Biomassa, que define medidas para a produção de energia a partir da agricultura, silvicultura e resíduos, como mato, árvores e cereais, e pretende reduzir a dependência da União Europeia (UE) dos combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão).

Dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis encontram-se os óleos vegetais, considerados bastante interessantes do ponto de vista energético, permitindo a sua transformação para a produção de biocombustíveis.

A promoção da produção e da utilização de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis no espaço comunitário é uma importante medida para, no âmbito do desenvolvimento sustentável da Comunidade Europeia, reduzir a dependência das importações de energia e influenciar o mercado dos combustíveis no sector dos transportes e, deste modo, a segurança do abastecimento energético a médio e longo prazos. Com esse intuito, a Directiva n.º 2003/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio, relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes, destina-se a dar cumprimento ao compromisso assumido pela União Europeia de, até 2020, proceder à substituição de 20 % dos combustíveis convencionais, em particular dos derivados do petróleo, usados no sector dos transportes rodoviários, por combustíveis alternativos.

Este compromisso consubstancia um dos objectivos fixados no Livro Verde da Comissão para uma Estratégia Europeia de Segurança do Aproveitamento Energético, tendo em vista a melhoria da segurança do aprovisionamento e a redução das emissões dos gases de combustão de combustíveis fósseis.

Com efeito, em Portugal, a promoção da utilização de biocombustíveis nos transportes rodoviários insere-se no âmbito da estratégia da União Europeia de redução da emissão de gases com efeito estufa decorrente dos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto, em especial para cumprimento do disposto no Programa Nacional para as Alterações Climáticas, aprovado na Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho.

De acordo com DL 62/2006 de 21 de Março, os biocombustíveis podem ser disponibilizados nas seguintes formas:

- a) biocombustíveis puros ou em concentração elevada em derivados do petróleo, em conformidade com normas específicas de qualidade para os transportes;
- b) biocombustíveis misturados com derivados do petróleo, em conformidade com as normas comunitárias EN 228 e EN 590 que estabelecem as especificações técnicas aplicáveis aos combustíveis para transportes;
- c) Líquidos derivados de biocombustíveis, como o bio-ETBE especificado na alínea f) do n.º 2 do artigo 4, relativo às definições de biocombustível.

Desta forma, para efeitos do presente decreto-lei, são considerados biocombustíveis, nomeadamente, os produtos a seguir indicados:

- a) «Bioetanol», etanol produzido a partir de biomassa e ou da fracção biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível;
- b) «Biodiesel», éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível;

- c) «Biogás», gás combustível produzido a partir de biomassa e ou da fracção biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até à qualidade do gás natural, para utilização como biocombustível, ou gás de madeira;
- d) «Biometano», metanol produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível;
- e) «Bioéter dimetílico», éter dimetílico produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível;
- f) «Bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico)», ETBE produzido a partir do bioetanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-ETBE considerada como biocombustível de 47 %;
- g) «Bio-MTBE (bioéter metil-ter-butílico)», combustível produzido com base no biometanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-MTBE considerada como biocombustível de 36 %;
- h) «Biocombustíveis sintéticos», hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa;
- i) «Biohidrogénio», hidrogénio produzido a partir de biomassa e ou da fracção biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível;
- j) «Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas», óleo produzido por pressão, extracção ou métodos comparáveis, a partir de plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado, quando a sua utilização for compatível com o tipo de motores e os respectivos requisitos relativos a emissões.

Na tabela seguinte, são apresentados os diferentes tipos de biocombustíveis, bem como a matéria prima que lhes dá origem, de acordo com o DL 62/2006.

Tabela A.1 – Tipo de biocombustíveis considerados pelo Decreto-Lei n.º 62/2006

Matéria - Prima	Combustível
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Bioetanol
Óleos vegetais ou animais	Biodiesel (éster metílico)
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Biogás
Biomassa	Biometanol
Biomassa	Bioéter dimetílico
Etanol	Bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico)
Biometanol	Bio-MTBE (bioéter metil-ter-butílico)
Biomassa	Biocombustíveis sintéticos (hidrocarbonetos sintéticos ou mistura de hidrocarbonetos sintéticos)
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Biohidrogénio
Plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado	Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas.

O DL 62/2006 de 21 de Março, transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2003/30/CE e cria mecanismos para promover a colocação no mercado de quotas mínimas de biocombustíveis, em substituição dos combustíveis fósseis, com o objectivo de contribuir para a segurança do abastecimento e para o cumprimento dos compromissos nacionais em matéria de alterações climáticas.

A directiva aponta como meta para colocação de biocombustíveis no mercado de cada Estado membro, calculada com base no teor energético, o valor de referência de 2 % de toda a gasolina e de todo o gasóleo utilizados para efeitos de transporte, colocados no mercado até 31 de Dezembro de 2005, e o valor de referência de 5,75 %, até 31 de Dezembro de 2010.

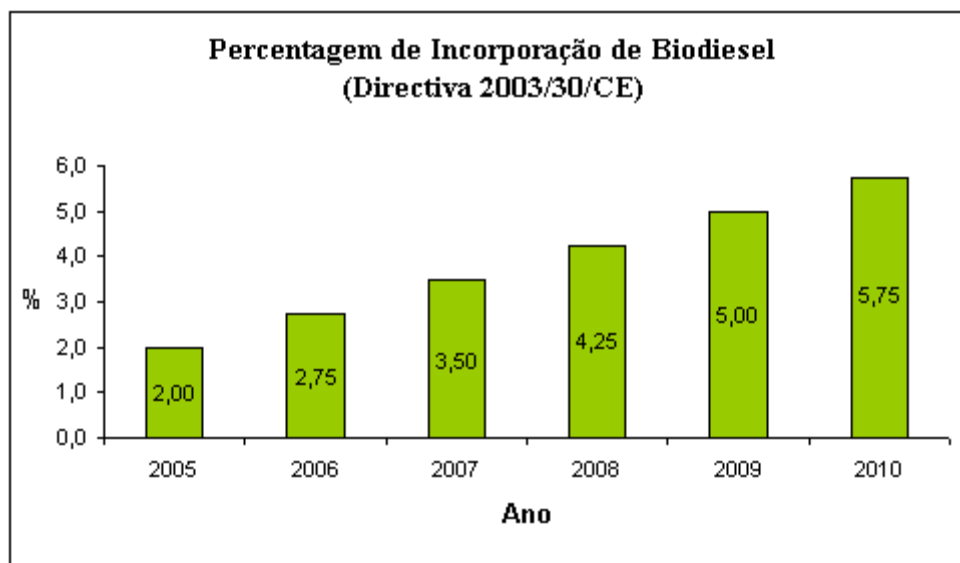


Figura A.2– Percentagens mínimas de incorporação de biocombustível segunda a Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho

O controlo da aplicação do presente decreto-lei compete à Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (artigo 12.º) e a definição de incentivos para a promoção da utilização de biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis é objecto de legislação específica (artigo 13.º). Esta legislação compreende o Decreto-Lei n.º66 / 2006, de 22 de Março, que surge no sentido de definir medidas para promover o mercado dos biocombustíveis, nomeadamente a redução da carga fiscal incidente sobre os biocombustíveis e, em particular, no que se refere ao imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP), visto que os custos inerentes à produção dos biocombustíveis são mais elevados do que os referentes aos combustíveis convencionais (gasolina e gasóleo) sendo desta forma, não competitivos, se colocados em condições de igualdade no mercado

Este diploma altera os artigos 71.º - A e 78.º - A do Código dos Impostos Especiais de Consumo, aprovado pelo Decreto-Lei n.º566/99, de 22 de Dezembro e consagra a isenção parcial e total do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP) aos biocombustíveis, quando incorporados na gasolina e no gasóleo, utilizados nos transportes.

Segundo o artigo os artigos 71.º - A, estão isentos, total ou parcialmente, os biocombustíveis, puros ou quando incorporados na gasolina e no gasóleo, a seguir indicados:

- a) Produtos abrangidos pelos códigos NC 1507 a NC 1518;
- b) Produtos abrangidos pelos códigos NC 3824 90 55 e NC 3824 90 80 a NC 3824 90 99 para os respectivos componentes produzidos a partir da biomassa;
- c) Produtos abrangidos pelos códigos NC 2207 20 00 e NC 2905 11 00 que não sejam de origem sintética;
- d) Produtos obtidos a partir da biomassa, incluindo os produtos abrangidos pelos códigos NC 4401 e NC 4402.

O montante da isenção não pode ser superior ao montante do imposto devido correspondente à percentagem de incorporação dos biocombustíveis nos produtos elegíveis para beneficiar da referida isenção. O valor da isenção para os biocombustíveis é definido em função dos preços dos biocombustíveis ou das suas matérias-primas e dos combustíveis fósseis que pretendem substituir, de forma a não conduzir a uma sobrecompensação dos custos adicionais associados à produção dos biocombustíveis, sendo fixado por portaria entre o limite mínimo de (euro) 280 e o máximo de 300 euros, por cada 1000 L.

A isenção é concedida aos operadores económicos, por um período máximo de seis anos, mediante procedimento de autorização, ou concurso, cujos termos são definidos por portaria (Portaria n.º 1554-A/2007, de 7 de Dezembro), tendo em consideração, nomeadamente, critérios de fornecimento sustentado do biocombustível mediante contratos plurianuais, de manutenção de reservas de segurança e de incorporação, a prazo, de percentagens mínimas de utilização de produção agrícola endógena, em particular a proveniente de regiões abrangidas pelo Programa de Recuperação de Áreas e Sectores Deprimidos da Economia, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 11/2004, de 22 de Janeiro.

A portaria referida, estabelece as condições do controlo regular do cumprimento dos critérios de fornecimento nela definidos, bem como as consequências da sua inobservância por parte dos operadores económicos, incluindo a possibilidade da revogação da isenção atribuída.

A autorização ou o concurso referido anteriormente fixa, para cada operador económico, as quantidades de biocombustíveis passíveis de isenção, durante o respectivo prazo de vigência, devendo o total das quantidades a isentar em cada ano não exceder os seguintes limites máximos, correspondentes à percentagem do total anual da gasolina e do gásóleo rodoviário introduzidos no consumo no ano anterior:

- a) Em 2006, 2 %;
- b) Em 2007, 3 %;
- c) Entre 2008 e 2010, 5,75 %, em média anual.

Os pequenos produtores dedicados, reconhecidos nos termos do artigo 7.º do Decreto-Lei n.º 62/2006, de 21 de Março, beneficiam de isenção total de imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos até ao limite máximo global de 15000 t. Segundo o artigo 78.º-A, para o controlo fiscal de biocombustíveis são definidos:

- 1 - Os locais de produção dos biocombustíveis referidos no n.º 1 do artigo 71.º-A são considerados entrepostos fiscais de transformação.
- 2 - Na circulação nacional, os titulares de entrepostos fiscais de transformação não podem expedir nem receber biocombustíveis em regime de suspensão de imposto.
- 3 - Aos produtos referidos no n.º 1 do artigo 71.º-A são aplicáveis as franquias por perdas previstas nos artigos 39.º e 40.º relativamente aos produtos petrolíferos e energéticos nos quais são incorporados.

Os imperativos de ordem técnica, em particular a norma EN 590, para o gasóleo rodoviário e a norma EN 228, para a gasolina, que impõem um limite de 5 %, em volume, quer para a incorporação de biodiesel sob a forma esteres metílicos de ácidos gordos (FAME) no gasóleo rodoviário de comercialização generalizada, quer para a incorporação de bioetanol na gasolina, encontram-se em revisão com vista a permitir maior incorporação nos combustíveis no médio prazo, possivelmente após 2010.

Nesse contexto, independentemente das actuais especificações dos combustíveis aplicáveis a todas as viaturas, alguns construtores de automóveis estão actualmente a adaptar os seus motores e a permitir a incorporação de maiores percentagens de biocombustíveis, podendo atingir os 100 % em alguns veículos.

Considerando que a crescente incorporação de biocombustíveis não deve assentar apenas em mecanismos de atribuição de subsídios ou isenções, devendo procurar-se uma progressiva aproximação a mecanismos de mercado através da introdução de obrigações ou penalidades. Assim, a estratégia para o cumprimento das metas nacionais de incorporação de biocombustíveis nos combustíveis fósseis deve igualmente passar pela criação de um mecanismo de certificados de incorporação para os biocombustíveis não incluídos no regime de isenção de imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP). A não apresentação de certificados será penalizada de forma a reflectir pelo menos o valor das emissões de CO₂ adicionais que o Estado Português emitirá relativamente ao previsto no Programa Nacional para as Alterações Climáticas. O valor das penalizações será revertido para o Fundo Português de Carbono por forma a permitir ao Estado Português compensar as emissões adicionais.

Assim, o Conselho de Ministros nº 21/2008, nos termos da alínea g) do artigo 199.º determinou as seguintes medidas:

1 - Determinar a criação de especificações que permitam a comercialização de combustíveis com incorporações de biocombustíveis superiores às constantes nas normas vigentes, com níveis máximos de 20 % a partir de 2008, para os veículos compatíveis com essas especificações.

2 - Estabelecer que, para efeitos da comercialização dos combustíveis com incorporações de biocombustíveis superiores às constantes nas actuais normas nos termos do número anterior, apenas os volumes correspondentes até 15 % de incorporação poderão incluir biocombustíveis que beneficiem do regime de isenção de ISP previsto no Decreto-Lei n.º 66/2006, de 22 de Março, enquanto este regime vigorar.

3 - Promover a criação de condições logísticas para a introdução no consumo dos volumes de biocombustíveis que beneficiam do regime de isenção de ISP, designadamente dos biocombustíveis substitutos da gasolina.

4 - Determinar a criação de um mecanismo de certificados de incorporação de biocombustíveis não incluídos no regime de isenção de ISP, juntamente com um regime de penalidades associadas à não entrega desses certificados, em:

a) 1,75 % da totalidade dos combustíveis introduzidos por cada comercializador em 2009;

b) 4,25 % da totalidade dos combustíveis introduzidos por cada comercializador em 2010;

c) 6,5 % da totalidade dos combustíveis introduzidos por cada comercializador em 2011;

d) 10 % da totalidade dos combustíveis introduzidos por cada comercializador em 2012 e anos posteriores, apenas excluindo os volumes correspondentes a esta percentagem as quantidades provenientes da agricultura nacional, objecto de isenção parcial ou total.

5 - Determinar que a definição do valor para as penalidades previstas no número anterior será estabelecido com base no custo das emissões de CO₂ não evitadas a nível nacional face às metas previstas no PNAC e noutros incentivos económicos que garantam a introdução dos níveis previstos.

6 - Estabelecer que a componente das penalidades relativa às emissões de CO₂ não evitadas reverte para o Fundo Português de Carbono e que para o cálculo das verbas em causa se deve utilizar o valor médio de mercado dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto, que será determinado anualmente pelo comité executivo da Comissão para as Alterações Climáticas, criado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 33/2006, de 24 de Março.

7 - Definir incentivos económicos para os operadores de transporte público rodoviário em função dos impactes estimados do nível de incorporação de biocombustíveis substitutos do gasóleo, no exercício da sua actividade.

8 - Determinar que seja estabelecida uma quota mínima de 5 % de incorporação de biocombustíveis no gasóleo colorido e marcado a partir do 2.º trimestre de 2008.

LEGISLAÇÃO SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS, APLICÁVEL OU NO ÂMBITO DOS ÓLEOS E GORDURAS ALIMENTARES USADOS

PORTARIA N.º 209/2004, DE 3 DE MARÇO

Esta portaria transpõe para a ordem jurídica nacional a Lista Europeia de Resíduos (LER) e define como resíduo urbano e equiparado os “óleos e gorduras alimentares” usados de código 20 01 25. Esta portaria inclui ainda:

- Metodologia de classificação dos resíduos;
- Capítulos da lista de resíduos (códigos principais);
- Indicação dos resíduos perigosos;
- Características de perigosidade;
- Códigos das operações de eliminação e valorização.

DECRETO-LEI N.º 178/2006, DE 5 DE SETEMBRO

Este diploma veio revogar o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva 2006/12/CE de 5 de Abril e a Directiva 91/689/CEE de 12 de Dezembro.

Enquanto em exercício, o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro estabeleceu as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos nomeadamente a sua recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação, de forma a não constituir perigo ou causar prejuízo para a saúde humana ou para o ambiente (artigo 1.º). O artigo 3.º definia resíduo como “qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer”. O artigo 6.º referia-se à responsabilidade pelo destino final dos resíduos produzidos, determinando que “a responsabilidade pelo destino final dos resíduos é de quem os produz, sem prejuízo da responsabilidade de cada um dos operadores na medida da sua intervenção no circuito de gestão desses resíduos e salvo o disposto em legislação especial”.

O actual diploma aplica-se às operações de gestão de resíduos, compreendendo toda e qualquer operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos e defende a responsabilização partilhada pelos produtores, detentores, sociedades gestoras e consumidores finais. Mais concretamente é definido no artigo 5.º que “a gestão do resíduo constitui parte integrante do seu ciclo de vida, sendo da responsabilidade do respectivo produtor” e que “a responsabilidade (...) extingue-se pela transmissão dos resíduos a operador licenciado de gestão de resíduos ou pela sua transferência, nos termos da lei, para as entidades responsáveis por sistemas de gestão de fluxos de resíduos”. São exclusões a este Decreto-Lei, os seguintes itens:

- Efluentes gasosos;
- Águas residuais, com excepção dos resíduos em estado líquido;
- A biomassa florestal e a biomassa agrícola;
- Determinados resíduos sujeitos a legislação especial (radioactivos, cadáveres de animais,...).

Relativamente às responsabilidades pela gestão de resíduos, segundo este decreto, estas são do produtor, excepto nos casos seguintes:

- Resíduos urbanos, cuja produção diária não exceda 1100 L por produtor – Municípios;
- Resíduos de proveniência desconhecida – Detentor;
- Resíduos provenientes de outros países - Responsável pela sua introdução no país.

As autoridades competentes na matéria de gestão de resíduos são a ANR (Autoridade Nacional dos Resíduos) e a ARR (Autoridade Regional dos Resíduos). A ANR tem como missão assegurar e acompanhar a implementação de uma estratégia nacional para os resíduos e a ARR, assegurar o exercício das competências relativas à gestão de resíduos numa relação de proximidade com os operadores. Este Decreto-Lei, define como obrigações gerais:

- Separação selectiva dos resíduos na origem, de forma a promover preferencialmente a sua valorização;
- Envio dos resíduos para entidades licenciadas para a sua gestão;
- Proceder ao licenciamento das operações de gestão de resíduos (elementos de acordo com a Portaria n.º 1023 / 2006);
- Cumprir as regras sobre operações de transporte de resíduos;
- Registo e envio electrónico de resíduos – Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos;
- Resíduos (SIRER), substituindo o preenchimento do mapa de registo de resíduos industriais e mapa trimestral de produção de óleos usados.

O Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos – SIRER, agrega toda a informação relativa aos resíduos produzidos e importados para o território nacional e as entidades que operam no sector dos resíduos (artigo 45.º) e são criadas taxas de gestão de resíduos “visando compensar os custos administrativos de acompanhamento das respectivas actividades e estimular o cumprimento dos objectivos nacionais em matéria de gestão de resíduos” (artigo 58.º).

ANEXO B . O PROTOCOLO DE QUIOTO

ANTECEDENTES

A concentração de CO₂ atmosférico aumentou 31 % nos últimos 250 anos (figura abaixo), atingindo, provavelmente, o nível mais alto dos últimos 20 milhões de anos. Os valores tendem a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases de efeito estufa não forem controladas, como a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento, responsáveis pela produção de cerca de 75 % destes gases. A mudança no uso da terra, como a desflorestação, também tem significativa contribuição (25 %) [<http://www.biodieselbr.com/credito-de-carbono/mdl/index.htm>].

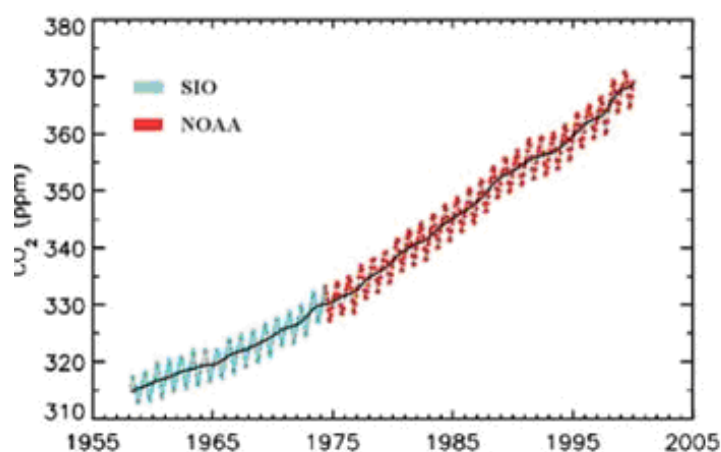


Figura B.1: Concentração de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa (Hawai)
[www.mio.noaa.gov/project/GASES/co2graph.htm]

O aquecimento global, decorrente da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por fontes antrópicas, é algo que tem trazido grande preocupação à sociedade moderna, principalmente dentro de cenários que configuram demanda crescente de energia, em maior parte de natureza não renovável, decorrente principalmente do crescimento populacional. Mudanças climáticas daí resultantes podem resultar em externalidades negativas às gerações futuras. A figura seguinte demonstra como a região entre 30°. e 60°. de latitude norte, onde se localizam os países de Primeiro Mundo, que são os maiores emissores de gases de efeito estufa.

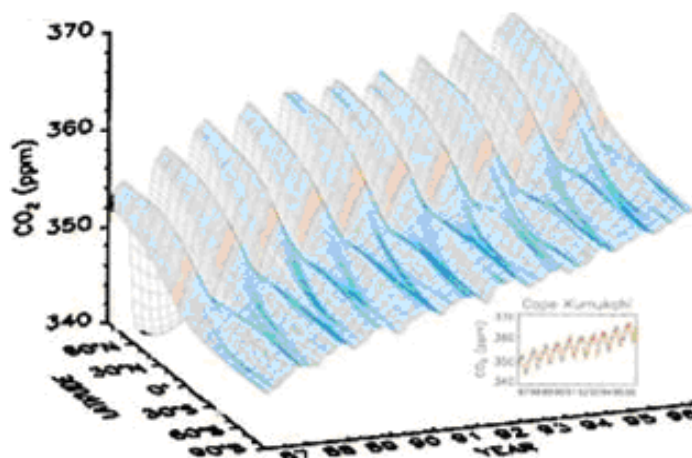


Figura B.2 : Distribuição da concentração de gás carbónico na atmosfera, em função do tempo e da latitude. [www.mio.noaa.gov/project/Gases/co2glob.htm]

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GEE

A Figura B.3 apresenta, de forma esquemática, o efeito estufa natural, que pode ser acirrado com a emissão desenfreada de GEE.

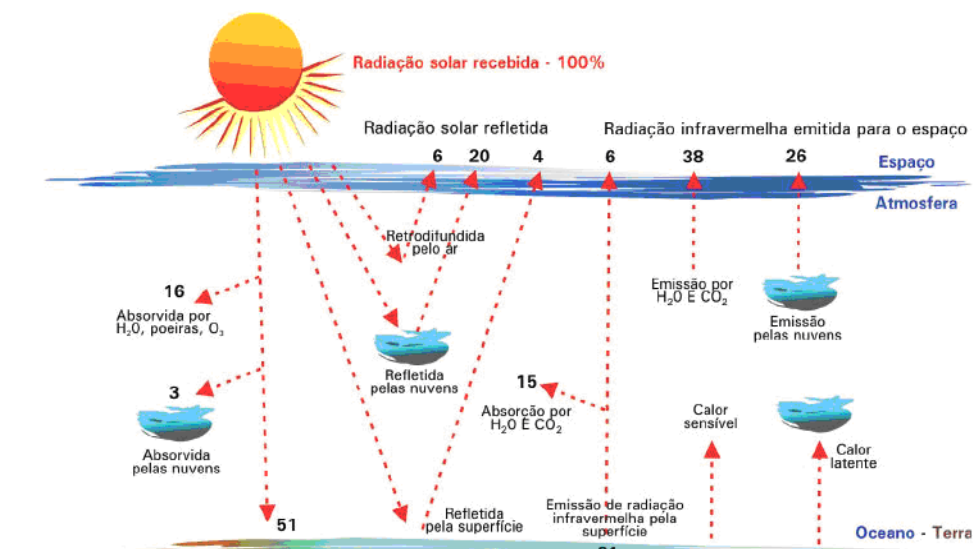


Figura B.3: Representação esquemática do efeito de estufa. Segundo D.L. Gazzoni e D. Estevão

O uso da biomassa para sequestro de carbono é ponto pacífico, sendo que o IPCC (sigla em inglês de *Intergovernmental Panel on Climate Change*) estima que entre 60 e 87 bilhões de toneladas de carbono poderão ser armazenadas em florestas, entre 1990 e 2050, equivalendo a 12-15 % das emissões por combustíveis fósseis, no mesmo período

[<http://www.biodieselbr.com/credito-de-carbono/mdl/index.htm>] Para que a biomassa possa, efectivamente, atender as expectativas de mitigar os impactos dos combustíveis fósseis no ambiente, algumas condições necessitam ser preenchidas, como:

- a. Produção sustentável de matéria prima e uso dos recursos energéticos de forma a resultar em uma produção neutra de CO₂;
- b. Sequestro e fixação do carbono por longos períodos, inclusive após a vida útil do vegetal (ex. produção de móveis de madeira);
- c. Substituição directa de combustíveis fósseis, como é o caso do etanol e dos biocombustíveis derivados de óleos vegetais.

É sempre importante ter em mente o conceito de gases de efeito estufa (GEE), do qual o CO₂ é apenas o paradigma do índice de medição de emissões. Outros gases, como o metano e o anidrido sulfuroso são extremamente perniciosos, enquanto poluidores atmosféricos, constituindo-se em uma das vantagens do uso de biomassa a emissão baixa ou nula destes gases.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Considera-se que o marco para a construção do conceito de desenvolvimento sustentável teve início na Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*), realizada em 1972. O paradigma então dominante era o de “limites ao crescimento” [GUADAGNINI, 2006].

O crescimento da população, a crescente escassez de recursos e o acúmulo de poluição, combinados entre si, limitariam a expansão da economia mundial. Na medida em que esse paradigma se opunha às estratégias de desenvolvimento com uso intensivo de recursos, os países do Terceiro Mundo temiam que preocupações de cunho ambiental se tornassem obstáculos ao seu próprio desenvolvimento. Em 1980, a parceria formada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e o Fundo Mundial para a Vida Selvagem (WWF) levou à elaboração do documento: "A Estratégia Mundial para a Conservação", que tratou das interfaces entre conservação de espécies e ecossistemas e entre a manutenção da vida no planeta e a preservação da diversidade biológica, introduzindo pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1982, a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*) produziu um documento intitulado “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), conhecido como Relatório Brundtland. As propostas da Comissão direccionaram-se para a noção de desenvolvimento sustentável e enfatizaram a necessidade de cooperação internacional para se resolver os problemas do meio ambiente e desenvolvimento, fazendo nascer a mais conhecida definição de desenvolvimento sustentável: “*Modelo de desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem afectar a capacidade de gerações futuras de também satisfazer suas próprias necessidades*”.

PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciada com a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere*, no Canadá (Outubro de 1988), seguida pelo IPCC's *First Assessment Report em Sundsvall*, Suécia (Agosto de 1990) e que culminou com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC, ou UNFCCC em inglês) na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil (Junho de 1992).

Constitui-se no protocolo de um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causa antropogénica do aquecimento global.

Discutido e negociado em Quioto no Japão em 1997, foi aberto para assinaturas em 16 de Março de 1998 e ratificado em 15 de Março de 1999. Para este entrar em vigor precisou que 55 % dos países, que juntos, produzem 55 % das emissões, o ratificassem, entrando em vigor em 16 de Fevereiro de 2005.

Por ele se propõe um calendário pelo qual os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2 % em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012, também chamado de primeiro período de compromisso (para muitos países, como os membros da UE, isso corresponde a 15 % abaixo das emissões esperadas para 2008). A redução das emissões deverá acontecer em várias actividades económicas. O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas acções básicas:

- Reformar os sectores de energia e transportes;
- Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
- Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
- Limitar as emissões de metano na gestão de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Proteger florestas e outros sumidouros de carbono.

Se o Protocolo de Quioto for implementado com sucesso, estima-se que deva reduzir a temperatura global entre 1,4 °C e 5,8 °C até 2100, entretanto, isto dependerá muito das negociações pós período 2008/2012, pois há comunidades científicas que afirmam categoricamente que a meta de redução de 5 % em relação aos níveis de 1990 é insuficiente para a mitigação do aquecimento global.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima - CQNUMC - ou Conferência Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas - CQNUAC (em Portugal), é um tratado internacional que foi resultado da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), informalmente conhecida como a Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992.

Este tratado foi firmado por quase todos os países do mundo e tem como objectivo a estabilização da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera em níveis tais que evitem a interferência perigosa com o sistema climático. Esse nível de concentração segura para o clima ainda não é conhecido, mas a maior parte da comunidade científica considera que, se a emissão destes gases continuar crescendo no ritmo actual, advirão danos ao meio ambiente.

O tratado não fixou, inicialmente, limites obrigatórios para as emissões de GEE e não continha disposições coercitivas. Em vez disso, o tratado incluía disposições para actualizações (chamados "protocolos"), que deveriam criar limites obrigatórios de emissões. O principal é o Protocolo de Quioto, que se tornou muito mais conhecido do que a própria CQNUMC.

Devido ao facto de que os GEE continuam na atmosfera por muitas décadas após emitidos, não é possível interromper ou reverter a mudança climática e, por essa razão, as medidas a serem tomadas são mitigadoras, no sentido de diminuir o impacto de tais mudanças, e adaptadoras, no sentido de criar mecanismos de adaptação às mudanças que irão ocorrer.

Dentre os princípios que fundamentam a convenção, o principal é aquele da responsabilidade comum, porém diferenciada. Como a concentração actual de GEE na atmosfera é consequência, em maior parte, das emissões realizadas por países industrializados no passado, cada país tem uma responsabilidade diferente. Para a divisão de responsabilidades, os países foram divididos em diferentes blocos.

- Países do Anexo I (países industrializados)
- Países Anexo II (países desenvolvidos que pagam os custos para países em desenvolvimento)
- Países em desenvolvimento

Países Anexo I concordam em reduzir suas emissões (especialmente dióxido de carbono) a níveis abaixo das emissões de 1990. Se eles não puderem fazê-lo, terão que comprar créditos de carbono.

Os países em desenvolvimento são chamados países do “não Anexo I”. Os países em desenvolvimento não possuem metas de emissão junto a CQNUMC, mas apresentam algumas obrigações como a implantação de programas nacionais de mitigação.

CONFERÊNCIA DAS PARTES

Os países membros da Convenção reúnem-se periodicamente nas reuniões chamadas Conferência das Partes. A primeira Conferência das Partes (COP-1) ocorreu em 1995 na cidade de Berlim e nela foi firmado o Mandato de Berlim, no qual os países do Anexo I assumiram maiores compromissos com a estabilização da concentração de GEE, por meio de políticas e medidas ou de metas quantitativas de redução de emissões.

Em 1997 na cidade de Quioto foi aprovado o Protocolo de Quioto, que obedeceu as directrizes do mandato de Berlim e deu maior ênfase às metas quantitativas como forma de minimizar os custos de mitigação em cada país.

Com este objectivo também foram estabelecidos mecanismos como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que viabiliza tanto a diminuição de emissões em países do não Anexo I quanto a transferência de recursos dos países do Anexo I aos países em desenvolvimento.

A definição das regras operacionais do Protocolo de Quioto foi parte de um processo conturbado. Primeiramente, a Conferência das Partes realizada em Novembro de 2000 em Haia (COP 6) foi suspensa devido à divergência de opiniões entre os EUA e países europeus. No início de 2001, os EUA anunciaram que não iriam participar das negociações de implementação do Protocolo de Quioto.

Em meados de 2001 foi retomada a discussão da COP 6 em Bonn, no que ficou conhecida como COP 6 BIS. Nessa reunião foi estabelecido o Acordo de Bonn, no qual foram feitas concessões de modo a garantir a permanência de países como o Japão e a Federação Russa, necessária para a entrada em vigor do Protocolo. Este acordo também permitiu diferentes interpretações quanto a temas como LULUCF (*Land use, Land use change and Forestry*), por países que passaram a rever suas posições quando da saída dos EUA e das concessões realizadas a outros países.

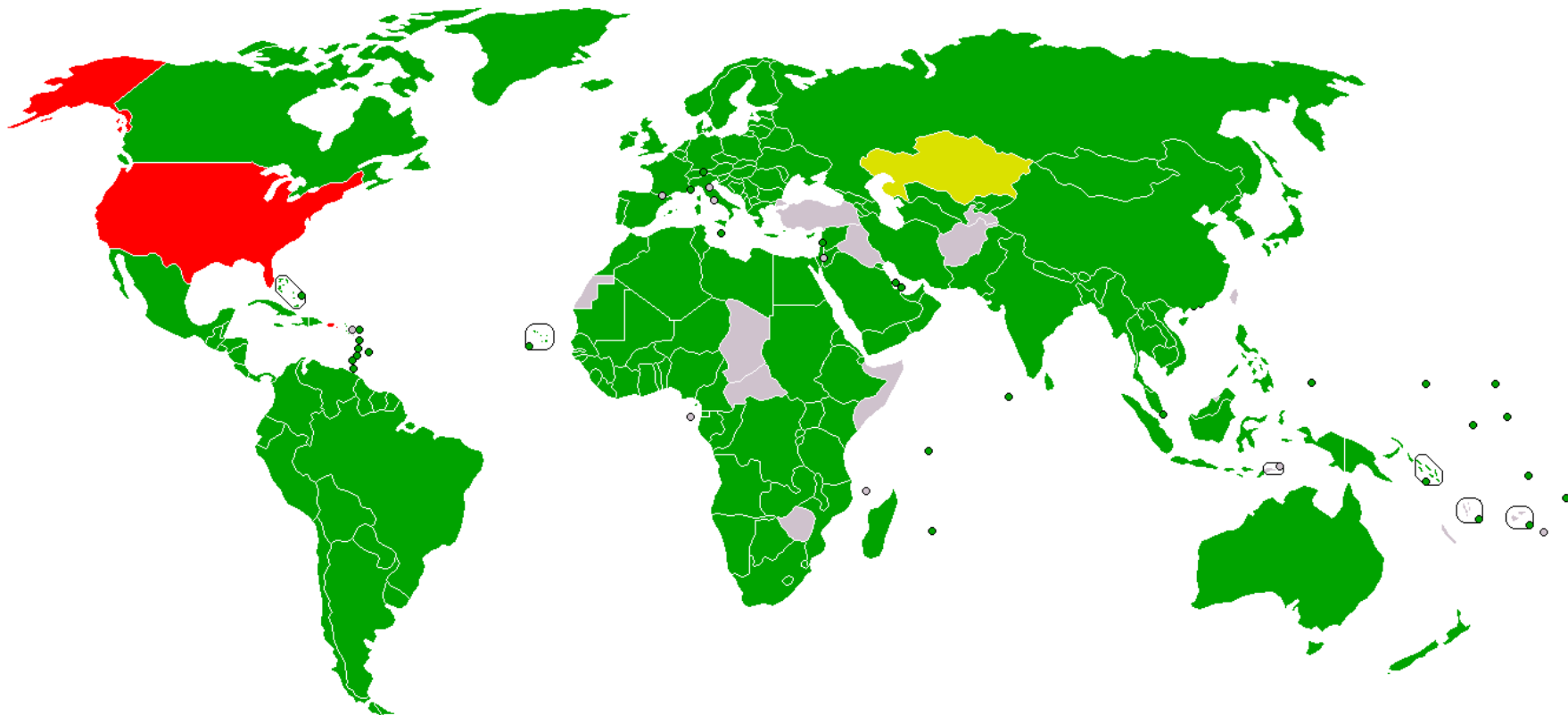
No fim de 2001, foi realizada a COP 7 em Marraquexe, sendo obtido o Acordo de Marraquexe que contemplava aspectos políticos do Acordo de Bonn e ambientais do Protocolo de Quioto. Este acordo define as regras operacionais para LULUCF, mecanismos de flexibilização, definição do sistema nacional de inventários de emissões, informações adicionais derivadas do Protocolo de Quioto e do processo de revisão das comunicações nacionais. Foi necessário que os países da União Europeia e do G77 e China cedessem espaço aos países do *Umbrella Group* (Japão, Austrália, Canadá e Federação Russa). Mesmo que as reduções previstas no Protocolo de Quioto sejam atingidas, estas não serão suficientes para diminuir significativamente a interferência do homem no sistema climático. Na COP 7 foi criado também o Comité Executivo do MDL e foi elaborada uma declaração que enfatiza a relação entre desenvolvimento sustentável e mudanças climáticas, definindo como prioridade nos países em desenvolvimento a erradicação da pobreza e o desenvolvimento.

Existe grande preocupação com o regime pós-Quoto, e a sua discussão oficial começou na COP-11 em Montreal.

Têm ocorrido discussões sobre o que deve ser feito após 2012 e como incluir países em desenvolvimento (principalmente China, Índia e Brasil) na questão da limitação das emissões, o que é uma questão problemática já que neste bloco encontram-se tanto países muito pobres, como os do continente africano, quanto o país com a maior taxa de crescimento no mundo e, em breve, um dos maiores emissores de GEE, a China. A COP-13 em Dezembro de 2007 na Indonésia definiu as primeiras directrizes para o acordo sobre o que fazer após 2012, quando vence o protocolo de Quioto, mas foi considerado um acordo vago.

LISTA DOS PAÍSES SIGNATÁRIOS DO PROTOCOLO DE QUIOTO

Actualmente existem 175 países que já assinaram e ratificaram o protocolo de Quioto. Portugal assinou em 29 de Abril de 1998 e ratificou em 31 de Maio de 2002. Na figura seguinte, é apresentado o mapa com os países signatários do protocolo de Quioto.



Legenda:

- **Verde:** Países que ratificaram o protocolo.
- **Amarelo:** Países que ratificaram, mas ainda não cumpriram o protocolo.
- **Vermelho:** Países que não ratificaram o protocolo.
- **Cinzentos:** Países que não assumiram nenhuma posição no protocolo.

O MERCADO DE CARBONO E O PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo de Quioto determina que países desenvolvidos signatários, reduzam as suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 5,2 %, em média, relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução de GEE pode ser feita através de negociação com nações através dos mecanismos de flexibilização.

Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE) ou em inglês, *Certified Emission Reductions* (CERs).

Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) equivalente corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional.

Créditos de carbono criam um mercado para a redução de GEE dando um valor monetário à poluição. Acordos internacionais como o Protocolo de Quioto determinam uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir. Os países por sua vez criam leis que restringem as emissões de GEE. Assim, aqueles países ou indústrias que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões, tornam-se compradores de créditos de carbono. Por outro lado, aquelas indústrias que conseguiram diminuir as suas emissões abaixo das cotas determinadas, podem vender o excedente de "redução de emissão" ou "permissão de emissão" no mercado nacional ou internacional.

Os países desenvolvidos podem promover a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) em países em desenvolvimento através do mercado de carbono quando adquirem créditos de carbono provenientes destes países.

TIPOS DE MERCADO

Dependendo do mercado em contexto, os tipos de créditos, a forma de comercialização e os preços são diferentes.

O MERCADO DA UNIÃO EUROPEIA

Os países da União Europeia fizeram um acordo para diminuir emissões de GEE no período entre 2002 e 2007, ou seja, além da diminuição de emissões de GEE entre 2008 e 2012 do Protocolo de Quioto, esses países desenvolveram outras metas para o período anterior ao Protocolo de Quioto. As permissões de emissões das diferentes indústrias podem ser negociadas entre elas. Os créditos obtidos a partir de projectos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) também podem ser usados para diminuir partes das emissões.

OS MERCADOS VOLUNTÁRIOS

Grupos e sectores que não precisam diminuir as suas emissões de acordo com o Protocolo de Quioto ou empresas localizadas em países não signatários do Protocolo de Quioto, tem a alternativa de comercializar reduções de emissões nos chamados mercados voluntários. Um exemplo de mercado voluntário é o *Chicago Climate Exchange* (Bolsa do Clima de Chicago).

GEE E OS CRÉDITOS DE CARBONO

Uma tonelada de CO₂ equivalente corresponde a um crédito de carbono. O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento global do CO₂ foi estipulado como 1. O potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂, portanto o CO₂ equivalente do metano é igual a 21. Assim, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono.

Potencial de aquecimento global dos GEE:

- **CO₂** - Dióxido de Carbono = 1
- **CH₄** - Metano = 21
- **N₂O** - Óxido nitroso = 310
- **HFCs** - Hidrofluorcarbonetos = 140 ~ 11700
- **PFCs** - Perfluorcarbonetos = 6500 ~ 9200
- **SF₆** - Hexafluoreto de enxofre = 23900

Algumas correntes defendem a ideia de que os créditos de carbono acabam favorecendo mais ao mercado do que ao ambiente, e outras defendem a ideia de que os mesmos são certificados que autorizam aos países desenvolvidos o direito de poluir. No entanto, cada país tem uma cota máxima de créditos de carbono que pode comprar para cumprir as metas do Protocolo de Quioto; pelo que o "direito de poluir" é limitado.

MECANISMOS DE FLEXIBILIZAÇÃO

Mecanismos de flexibilização, Mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto ou Mecanismos de Flexibilidade são arranjos regulamentados pelo Protocolo de Quioto que facilitam que as partes (países) incluídas no Anexo I, possam atingir as suas metas de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Tais mecanismos proporcionam um menor impacto nas economias e no nível de desenvolvimento dos países comprometidos.

Os mecanismos de flexibilização autorizam que cada país "Anexo I" possa participar de projectos de redução dos GEE fora de seu território, inclusive em países "não Anexo I", como é o caso do MDL. Um mecanismo que reduz a emissão de GEE fora dos países incluídos no Anexo I também tem o propósito de incentivar os países emergentes a alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável.

As alterações ao Protocolo de Quioto criaram três mecanismos de flexibilização:

- **Comércio Internacional de Emissões (CIE)** - realizado entre países listados no Anexo I, de maneira que um país, que tenha diminuído suas emissões abaixo de sua meta, transfira o excesso de suas reduções para outro país que não tenha alcançado tal condição;
- **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)** - realizados em países que não têm metas de reduções de emissões de GEE;
- **Implementação Conjunta (IC)** – implantação de projectos de redução de emissões de GEE entre países que apresentam metas a cumprir (Países do Anexo I).

Estes mecanismos aplicam-se de forma diferente aos países de língua portuguesa. Portugal pode recorrer a todos eles, por fazer parte do anexo I do protocolo, já o Brasil, como "não anexo I" pode utilizar apenas o MDL.

COMÉRCIO INTERNACIONAL DE EMISSÕES (CIE)

O Comércio Internacional de Emissões (CIE) ou Comércio de Emissões é um mecanismo de flexibilização previsto no artigo 17 do Protocolo de Quioto pelo qual os países comprometidos com a redução de emissões de gases do efeito estufa podem negociar o excedente das metas de emissões entre si. Este mecanismo permite que países que não alcancem a sua meta de redução possam utilizar o excedente de redução de outro país comprometidos, ou seja, que também tenha metas em relação ao Protocolo de Quioto.

Este mecanismo de flexibilização, no âmbito do Protocolo de Quioto, somente pode ser utilizado pelo país adquirente, se este o contabilizar em conjunto com actividades de redução efectivamente implementadas, de modo a não permitir que algum país apenas "compre" a redução de outros países sem reduzir suas próprias.

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

O propósito do MDL é prestar assistência às Partes Não Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) para que viabilizem o desenvolvimento sustentável através da implementação da respectiva actividade de projecto e contribuam para o objectivo final da Convenção e, por outro lado, prestar assistência às Partes Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de gases do efeito estufa .

Países em desenvolvimento (Partes Não Anexo I) podem implementar projectos que contribuam para o desenvolvimento sustentável e que apresentem uma redução ou captura de emissões de gases causadores do efeito estufa, obtendo as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs). Os RCEs emitidos pelo Conselho Executivo do MDL, podem ser negociados no mercado global. Como os países industrializados (Partes Anexo I) possuem cotas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, estes podem adquirir os RCEs de desenvolvedores de projectos em países em desenvolvimento para auxiliar no cumprimento das suas metas.

O MDL visa o alcance do desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento (país anfitrião), a partir da implantação de tecnologias mais limpas nestes países, e a contribuição para que os países do Anexo I cumpram suas reduções de emissão. Os projectos de MDL podem ser baseados em fontes renováveis e alternativas de energia, eficiência e conservação de energia ou reflorestação. Existem regras claras e rígidas para aprovação de projectos no âmbito do MDL. Estes projectos devem utilizar metodologias aprovadas, devem ser validados e verificados por Entidades Operacionais Designadas (EODs), e devem ser aprovados e registados pelo Conselho Executivo do MDL. Os projectos devem ser aprovados pelo governo do país anfitrião através da Autoridade Nacional Designada (AND), assim como pelo governo do país que comprará os CERs.

CATEGORIAS DE PROJECTOS MDL

O Conselho Executivo (CE) do MDL numerou os seguintes sectores onde projectos MDL podem ser desenvolvidos. O CE-MDL baseou-se no Anexo A do Protocolo de Quioto para elaboração da mesma. Uma actividade de projecto MDL pode estar relacionada a mais de um sector.

- Sector 1. Geração de energia (renovável e não-renovável)
- Sector 2. Distribuição de energia
- Sector 3. Demanda de energia (projectos de eficiência e conservação de energia)
- Sector 4. Indústrias de produção
- Sector 5. Indústrias químicas
- Sector 6. Construção
- Sector 7. Transporte
- Sector 8. Mineração e produção de minerais
- Sector 9. Produção de metais
- Sector 10. Emissões de gases fugitivos de combustíveis
- Sector 11. Emissões de gases fugitivos na produção e consumo de halocarbonos e hexafluorido de enxofre
- Sector 12. Uso de solventes
- Sector 13. Gestão e tratamento de resíduos
- Sector 14. Reflorestação e florestação
- Sector 15. Agricultura

ETAPAS DOS PROJECTOS MDL

- Concepção do projecto (preparação da Nota de Ideia do Projecto)
- Preparação do documento de concepção do projecto (DCP)
- Validação
- Obtenção da aprovação do país anfitrião
- Registo
- Implementação do projecto e Monitorização
- Verificação e Certificação
- Emissão dos RCEs (créditos de carbono)

TIPOS DE PROJECTOS

- Captura de gás em aterro sanitário
- Tratamento de dejectos suínos e reaproveitamento de biogás
- Troca de combustível
- Geração de energia por fontes renováveis (biomassa, energia eólica, pequenas e médias barragens hidroeléctricas), energia solar
- Compostagem de resíduos sólidos urbanos
- Geração de metano a partir de resíduos orgânicos (biogásificação)
- Pirólise de resíduos
- Florestação e reflorestação em áreas degradadas (Protecção de áreas de florestas ou desmatção evitada não são projectos MDL e portanto não podem requerer RCEs).

Há várias empresas autorizadas pela ONU a desenvolverem projectos para redução de emissões de gases. Entre as actividades mais indicadas são a substituição de óleo diesel ou carvão mineral em caldeiras por biomassa ou biodiesel, substituição do óleo diesel de geradores por biodiesel, reflorestação, captação do gás metano de aterros sanitários ou fazendas de suínos e a substituição total ou parcial do óleo diesel pelo biodiesel em caminhões, autocarros, tractores, locomotivas, barcos e outras actividades previstas no MDL.

As empresas poluidoras comprem em bolsa ou directamente das empresas empreendedoras as toneladas de carbono sequestradas ou não emitidas através de um bónus chamado Certificado de Redução de Emissões. As principais bolsas que já operam com créditos de carbono são:

- Bolsa de Mercadorias e Fundos - BM&F (www.bmf.com.br), operando actualmente apenas com leilão de créditos de carbono.
- Bolsa do Clima de Chicago (<http://www.chicagoclimateexchange.com>)
- Bolsa do Clima Europeia
- *Nord Pool* - Bolsa de energia escandinava(<http://www.nordpool.com>)
- Bolsa de Energia da Áustria (<http://en.exaa.at>)

A cotação do Crédito de Carbono na Bolsa ECX - *European Climate Exchange* em 17/03/2008 (data de início do Fundo) foi de EUR 15,65.

Os maiores interessados na compra destes Créditos são:

- Empresas e/ou governos de países desenvolvidos que de acordo com o estabelecido pelo protocolo de Quioto precisam reduzir e/ou compensar suas emissões;
- Empresas que não têm metas de redução mas que compram Créditos de Carbono voluntariamente como incentivo e apoio ao desenvolvimento sustentável de países emergentes;
- Investidores que acreditam na valorização dos Créditos para negociação no mercado.

As quantidades de toneladas de CO₂ ou outros gases economizadas ou sequestradas da atmosfera, são calculadas por empresas especializadas de acordo com determinações de órgãos técnicos da ONU. Por exemplo, uma tonelada de óleo diesel trocado por biodiesel gera o direito a 3,5 toneladas de créditos.

IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA

Implementação conjunta (IC) é um mecanismo de flexibilização criado pelo Protocolo de Quioto para incentivar a implementação de projectos que diminuam as emissões de gases do efeito estufa em países Anexo I cuja economia seja de transição. As regras em relação a metodologias de projectos, tipos de projecto e etapas são similares às existentes no Mecanismo de desenvolvimento limpo.

IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DAS NOVAS POLÍTICAS E MEDIDAS NO CUMPRIMENTO DO PROTOCOLO DE QUIOTO DURANTE O PERÍODO 2005-2007, EM PORTUGAL

A avaliação do cumprimento do protocolo de Quioto em Portugal deve ser feita tendo por base a Quantidade atribuída (QA), entendida como o montante de emissões de gases com efeito de estufa, medido em unidades de CO₂e, que Portugal não deverá ultrapassar no quadro do acordo da Comunidade Europeia de partilha de responsabilidades de cumprimento do Protocolo de Quioto. Portugal reportou à CQNUAC (2007), ao abrigo do artigo 3.º, parágrafos 7 e 8 do Protocolo de Quioto, uma QA recalculada em função de revisões sectoriais, de 381 937 527 t CO₂e, de acordo com a tabela seguinte. Para efeitos de avaliação, considerar -se -á um quinto da QA, ou seja 76,39 Mt CO₂e / ano. Esta componente é explicitada na medida em que o seu valor foi ajustado em fase posterior à publicação da Resolução de Conselho de Ministros n.º 104 / 2006, de 23 de Agosto, que aprova o PNAC 2006 [DIÁRIO DA REPÚBLICA, 4 de Janeiro 2008].

Tabela B.1 - Quantidade atribuída de Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto

		(t CO ₂ e)
	Emissões 1990 [excepto f-gases]	59.108.797
+	Emissões 1995 f-gases	57.642
+	Emissões 1990 da desflorestação (artigo 3(7))	981.203
=		60.147.642
×	Período de Cumprimento (anos)	5
×	Nível de cumprimento (%)	127
=	<i>Total</i>	381.937.527

Em 2005 e 2006 a atribuição de licenças correspondeu ao montante previsto no PNALEI, tendo sido atribuídas 36.908.808 tCO₂ / ano. Em 2007 o valor foi inferior ao previsto -36.865.546 tCO₂ / ano, devido à saída de 3 instalações da lista inicial do PNALEI. Do montante disponível na reserva para novas instalações, 3.757.895 tCO₂, foram realizadas 33 atribuições, num total de 2.900.390 tCO₂ (77.18 %).

Em todos os anos do período, o valor total das emissões verificadas (100,7 MtCO₂) foi inferior ao montante total de licenças de emissão atribuídas (113,6 MtCO₂), constatando-se que as emissões verificadas ficaram cerca de 11,3 % aquém das licenças atribuídas, tendo assim havido uma atribuição de licenças em excesso, tal como sucedeu na maioria dos restantes países europeus (em média, em 2005 e 2006, as emissões europeias ficaram 6,2 % aquém das licenças atribuídas). Detalhando, as emissões verificadas em 2005, 2006 e 2007 foram respectivamente 36,4 MtCO₂, 33,1 MtCO₂ e 31,2 MtCO₂, o que perfaz no final do período um montante de 100,7 MtCO₂ [AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2008].

SÍNTESE DA PROPOSTA PORTUGUESA DE PNALE 2008 -2012 - VOLUME DE LICENÇAS A ATRIBUIR NO PERÍODO DE 2008 -2012

Em DIÁRIO DA REPÚBLICA, 1ª Série, Nº 3 de 4 de Janeiro 2008, foi estabelecido que serão atribuídas gratuitamente às instalações existentes dos sectores de actividade constantes do anexo I ao diploma CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão) licenças de emissão correspondentes a 152,5 Mt CO₂ (30,5 Mt CO₂/ano) para o período de 2008 -2012. A este montante de licenças acresce uma reserva de 21,5 Mt CO₂ (em média, 4,3 Mt CO₂/ano) para novas instalações. Neste mesmo documento, ficou também definido a definição do montante de licenças a atribuir por sector de actividade e a metodologia para determinação desse montante, bem como a determinação da quantidade de licenças a atribuir a cada instalação. Na parte V, é apresentada a Lista das instalações abrangidas pelo CELE.

A decisão da Comissão Europeia de 18 de Julho de 2007, estabelece orientações para a monitorização e a comunicação de informações relativas às emissões de gases com efeito de estufa, nos termos da Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Neste documento é feita referência aos princípios de monitorização e comunicação de informações; monitorização das emissões de gases com efeito de estufa; lista de biomassa neutra em termos de CO₂, entre outras informações relevantes sobre este tema.

ANEXO C . HBIO: O PROCESSO PASSO-A-PASSO

O diesel sai da unidade de Destilação e segue para a unidade de Hidrodessulfurização (HDS), juntamente com o óleo leve (LCO), proveniente da unidade de “Craqueamento”, (FCC). Nesta etapa é inserido o óleo vegetal que segue com o diesel e o LCO para a HDS. O produto que sai é um diesel tratado, de alta qualidade e com teores de enxofre residuais. Depois são misturadas outras fracções de derivados, que não precisam do processo de hidrotratamento, e que constituem o *blending*, para formar o diesel final. O derivado final é o diesel que conhecemos, com a mesma especificação e qualidade, não exigindo nenhuma adaptação de motores ou de sistemas de transporte e armazenamento. Na Figura C.1, é apresentado o processo HBIO de acordo com o esquema típico de refinaria.

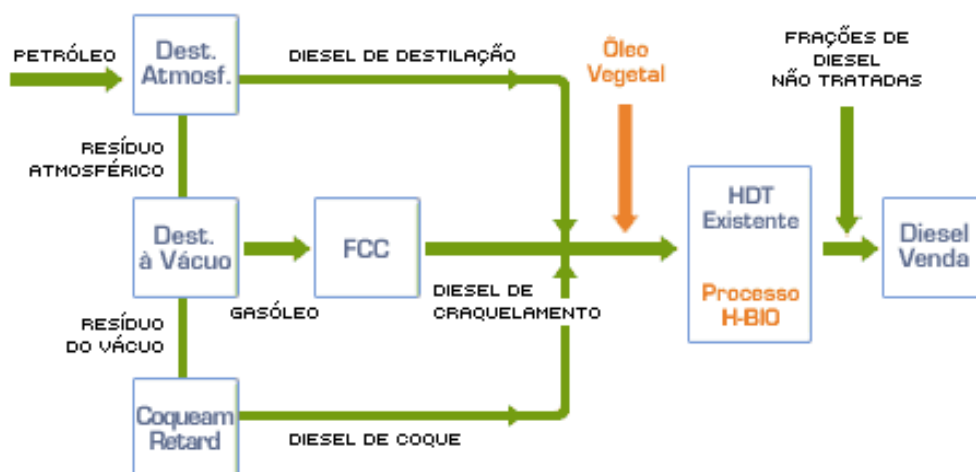


Figura C.1- Processo H-BIO de acordo com o Esquema Típico de Refinaria

Para cada 100 litros de óleo de soja processados, são produzidos 96 litros de óleo diesel e 2,2 m³ a TPN de propano.

A produção de biodiesel puro (B100) pela tradicional rota por transesterificação e a produção de diesel com uso de óleo vegetal em unidade de HDT produzem combustíveis de estrutura molecular diferentes. O biodiesel puro possui especificação própria devidamente legislada. Porém, tanto a mistura B2 (2 % de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo), quanto o diesel produzido pelo processo HBIO, deverão atender a especificações exigidas para a comercialização de óleo diesel.

AS PRINCIPAIS VANTAGENS DO HBIO (BIODIESELBR.COM)

- Permite o uso de óleos vegetais de diversas origens;
- Não gera resíduos a serem descartados;
- Incrementa a qualidade do óleo diesel, diminuindo a quantidade de enxofre;
- Complementa o programa de utilização de biomassa na matriz energética, gerando benefícios ambientais e de inclusão social;
- Flexibiliza a composição da mistura (carga) a ser processada na Unidade de Hidrotratamento (HDT) e otimiza a utilização das frações de óleo diesel na refinaria;
- Perspectiva de minimização de testes em veículos e laboratoriais, uma vez que o produto final, não apresenta limitações técnicas.
- Requisitos normais de manuseio e de armazenamento.

ANEXO D. NORMAS TÉCNICAS

Na Europa a normalização dos padrões para o biodiesel é estabelecida pelas Normas EN 14 214, intitulado “Combustíveis Automotivos – Ésteres Metílicos de Ácidos Gordos (FAME) – Exigências e Métodos de Análise”. O padrão europeu EN 14214 entrou em vigor em 2003, estabelece o padrão de qualidade do biodiesel nos países europeus que são membros efectivos do Comité Europeu de Normalização (CEN). As normas de padronização CEN aplicam-se no âmbito dos seguintes países membros: Áustria, Bélgica, República Checa, Dinamarca; Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Grónelândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Malta, Holanda, Noruega, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido.

As normas europeias determinam valores para as propriedades e características do biodiesel e os respectivos métodos para as determinações. Tais características e propriedades determinantes dos padrões de identidade e qualidade do biodiesel, contemplados pelas normas ASTM e DIN, são respectivamente:

- Ponto de Inflamação
- Teor de Água e Sedimentos
- Viscosidade
- Cinzas
- Teor de Enxofre
- Corrosividade
- Número de Cetano
- Ponto de Névoa
- Resíduo Carbonoso
- Número de Acidez
- Teor de Glicerina Total
- Teor de Glicerina Livre
- Temperatura de Destilação para 90% de Recuperação.

Os métodos de análise para biodiesel são os mesmos do diesel, com excepção do teor de glicerina total e livre, onde o método de análise por cromatografia gasosa é orientado pela Normas ASTM D 6584. Todavia, são muito importantes para o biodiesel as realizações e o cumprimento das seguintes especificações, definidas pela Norma EN 14 214:

Tabela D.1 – Especificações aplicáveis ao biodiesel, de acordo com EN 14 214

Propriedade	Unidades	Limites	
		Mínimo	Máximo
Ésteres	% (m/m)	96.5	
Densidade a 15 ^o C	g/ml	0.860	0.900
Viscosidade a 40 ^o C	mm ² /s	3.50	5.00
Ponto de inflamação	^o C	120	-
Enxofre	mg/kg	-	10.0
Resíduo carbonoso	% (m/m)	-	0.30
Número de cetano		51.0	
Cinzas sulfatadas	% (m/m)	-	0.02
Água	% (m/m)	-	0.05
Contaminação total	mg/kg		24
Corrosão do cobre (3h a 50 ^o C)	Classificação	Classe 1*	
Estabilidade à oxidação, 110 ^o C	horas	6.0	-
Número de acidez	mg KOH/kg		0.50
Índice de iodo			120
Metiléster do ácido linoleico	% (m/m)		12.0
Metilésteres polinsaturados (>= 4 ligações duplas)	% (m/m)		1
Metanol	% (m/m)		0.20
Monoglicéridos	% (m/m)		0.80
Diglicéridos	% (m/m)		0.20
Triglicéridos	% (m/m)		0.20
Glicerina livre	% (m/m)		0.02
Glicerina total	% (m/m)		0.25
Metais do grupo I (Na+K)	mg/kg		5.0
Metais do grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5.0
Fósforo	mg/kg		10.0

Em princípio, e a experiência prática demonstra que a corrosividade do biodiesel neutro é zero, e que, com acidez elevada o biodiesel apresenta-se como corrosivo, existindo uma correlação entre o índice de acidez e a corrosividade. Por outro lado, em certas circunstâncias, existem conveniências práticas e económicas em direccionar o processo de produção de biodiesel, de forma que resulte um produto com um índice de acidez consideravelmente elevado, comprometendo a sua corrosividade na forma pura (B100).

No entanto, diluindo o diesel mineral com esse biodiesel ao nível de até 20 %, a corrosividade poderá ajustar-se a um valor da corrosividade aceitável, e neste caso, sugere-se que os testes de corrosividade na lâmina de cobre sejam realizados, não com o biodiesel puro, mas com a mistura de biodiesel com o diesel mineral. Portanto, torna-se importante ressaltar que, sob o ponto de vista objectivo, o teste da corrosividade deve ser feito nas condições de uso do combustível, isto é, utilizando como amostra a mistura biodiesel – diesel mineral, na proporção em que for utilizada.

Também, pelas mesmas razões, os limites aceitáveis para o índice de acidez do biodiesel deva ser relacionados com a proporção de incorporação do biodiesel ao diesel, compondo o combustível. O factor que deverá ser utilizado para a definição dos limites de especificação do número de acidez deverá ser a corrosividade das misturas, e até mesmo a viscosidade.

ANEXO E. ETAPAS DOS PROCESSOS DE TRANSESTERIFICAÇÃO E HIDROESTERIFICAÇÃO

ETAPAS DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

1. Acidificação e Neutralização do Óleo

O óleo é aquecido por vapor e acidificado no misturador (M1). A mistura óleo/ácido é introduzida no reactor (R1) onde as gomas não hidratáveis tornam-se hidratáveis. O óleo segue para o misturador (M2) onde é adicionada a soda cáustica que saponifica os ácidos gordos no reactor (R2) e facilita a remoção do precipitado, o “soapstock”, junto com o excesso de solução cáustica, o que ocorre na centrífuga (C1).

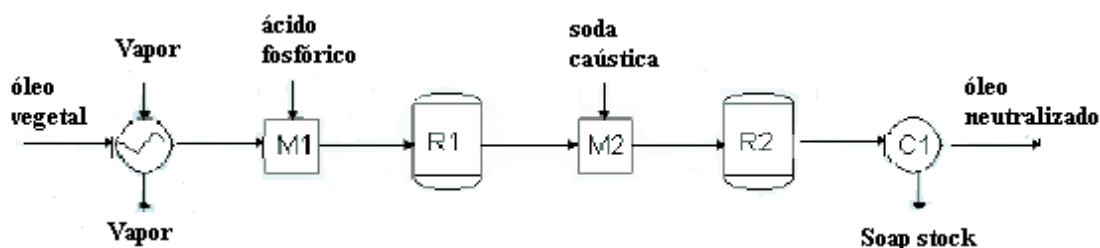


Figura E.1 – Esquema processual da etapa de acidificação e neutralização do óleo

2. Lavagem do Óleo

O óleo neutralizado ainda contém pequenas quantidades de resíduos de sabão, sendo por isso, necessário ser lavado. O óleo é aquecido, lavado com água quente no misturador (M3), reage no reactor (R3) e é enviado para o separador centrífugo (C2), onde o sabão é separado do óleo.

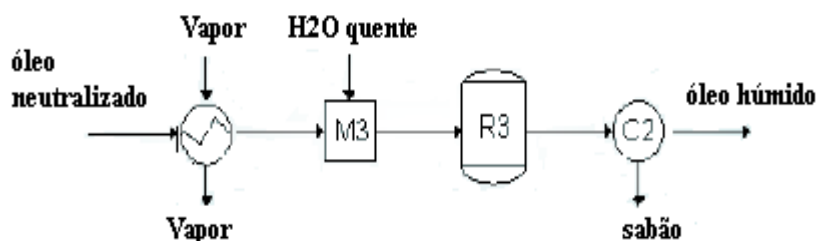


Figura E.2 – Esquema processual da etapa de lavagem do óleo

3. Secagem do Óleo

Para garantir baixos níveis de contaminação com água, o óleo sofre um processo de secagem sob vácuo e temperatura, no vaso de secagem (VS). O consumo de energia desta operação é minimizado através do pré-aquecimento da carga com o próprio óleo quente e seco, que deixa o evaporador.

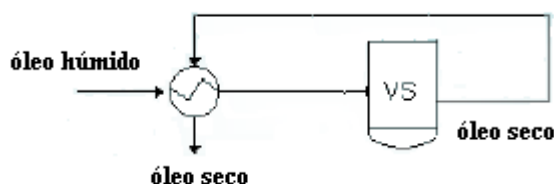


Figura E.3 – Esquema processual da etapa de secagem do óleo

4. Reacção de Transesterificação

O catalisador metilato de sódio e o metanol são adicionados ao óleo no misturador (M4). A corrente combinada de óleo, metanol e catalisador é aquecida à temperatura de reacção antes de ser introduzida no reactor (R4). A mistura reagida flui para o decantador (D2), onde ocorre separação das fases de biodiesel e glicerina por diferença de densidade. A fase pesada (corrente de glicerina) é então escoada para o misturador (M7) onde se irá proceder à purificação da glicerina. A fase leve (biodiesel) é transferida para o reactor (R5), onde é adicionado mais metanol e catalisador, a fim de completar a reacção de transesterificação. A descarga deste reactor é feita para o decantador (D3).

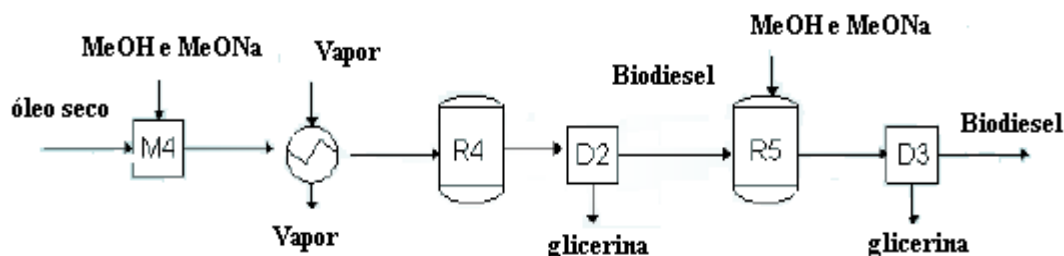


Figura E.4 – Esquema processual da etapa de reacção de transesterificação

5. Purificação do Biodiesel

Do decantador D3 o biodiesel segue para o misturador (M5), onde água e ácido são adicionados à corrente de biodiesel para neutralizar qualquer catalisador remanescente e complementar a separação das fases. O misturador de biodiesel é descarregado continuamente no decantador (D4), onde a fase de glicerina, mais pesada, é outra vez separada da fase mais leve de biodiesel. O biodiesel é lavado com água aquecida no misturador (M6) e separado no decantador (D5). A água recuperada nessa etapa é utilizada para diluir o ácido concentrado.

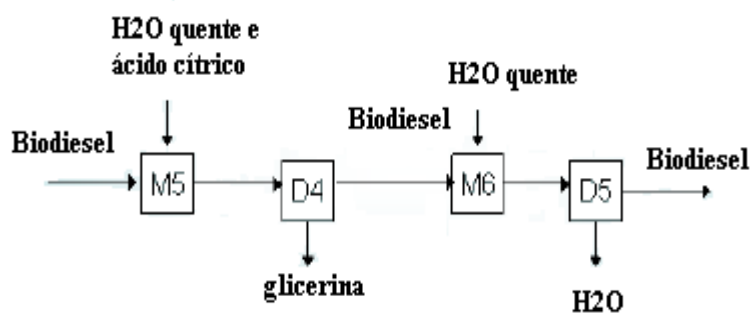


Figura E.5 – Esquema processual da etapa de purificação do biodiesel

6. Secagem

Após a lavagem da fase éster, ainda há pequenos teores de água e metanol no produto que são eliminados através de uma operação de secagem a vácuo (SV). O consumo de energia desta operação é minimizado através do pré aquecimento da carga com o próprio óleo quente e seco que deixa o evaporador. O produto, já atendendo à especificação, é enviado ao tanque de produto final.

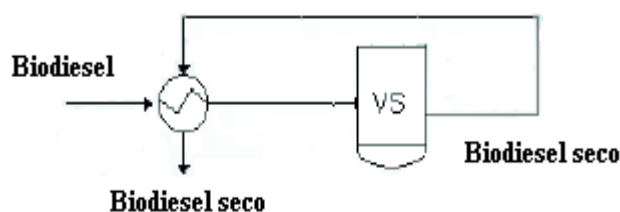


Figura E.6 – Esquema processual da etapa de secagem

7. Purificação da Glicerina

A glicerina contém água, metanol e pequenas quantidades de sabões e ésteres. Para eliminar os traços de sabões e promover uma boa separação entre as fases aquosa e orgânica, a corrente é acidificada no misturador (M7), reage (R6), é neutralizada no misturador (M8), reage (R7), é centrifugada (C3) e concentrada em múltiplas etapas de evaporação (E1), para maximizar o aproveitamento energético. O metanol e a água evaporados seguem para a coluna de destilação (C4), enquanto a glicerina concentrada é enviada para o tanque como produto final.

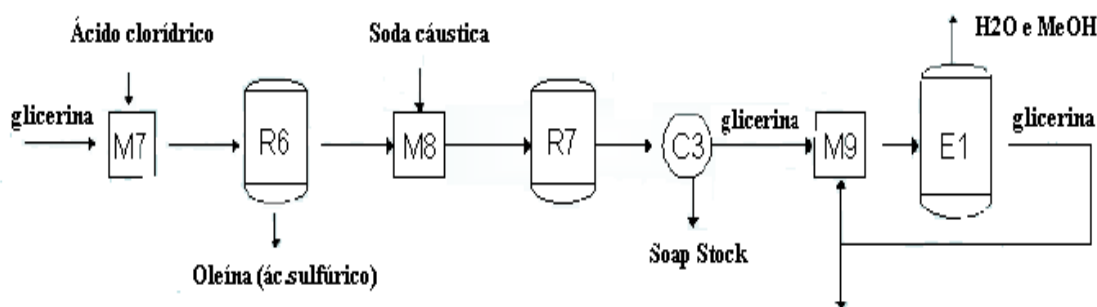


Figura E.7 – Esquema processual da etapa de purificação da glicerina

8. Recuperação do Metanol

O metanol proveniente da purificação da glicerina possui elevado teor de água e há a necessidade de uma operação de rectificação. Como resultado desta operação, a água destilada pela base, e o metanol sai pelo topo da coluna (C4) e é recuperado, retornando ao processo. A água é utilizada como água de processo na própria planta de biodiesel na preparação de soluções e lavagem.

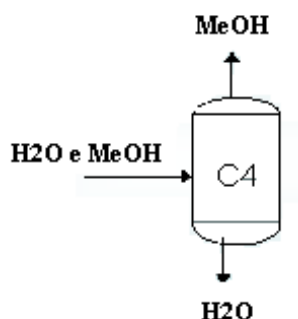


Figura E.8 – Esquema processual da etapa da recuperação do metanol

EFLUENTES, RESÍDUOS E EMISSÕES PRODUZIDOS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

- O processo de pré-tratamento do óleo vegetal gera 0,1 tonelada de efluente, proveniente da lavagem, por tonelada de óleo vegetal processado e deve ser tratado antes de ser destinado.
- A produção de biodiesel gera 0,004 toneladas de efluente, provenientes do processo de secagem de óleo, para cada tonelada de biodiesel gerado.
- A rectificação de metanol gera 0,016 toneladas / hora de efluente por tonelada de biodiesel produzido.
- Produção de 10 litros / hora de efluente proveniente da separadora centrífuga.
- Emissões gasosas de 20 kg/h de gases, contendo aproximadamente 1,5 % de metanol, provenientes dos *vents* (filtros para respiro) dos tanques sob resfriamento na unidade de processo.

ETAPAS DO PROCESSO DE HIDROESTERIFICAÇÃO

1. Hidrólise

As matérias gordas são aquecidas e alimentadas na base da coluna (c1). O vapor é alimentado no topo da mesma coluna e são obtidos água e glicerina, de alta pureza na base da torre e ácido gordo no topo. O ácido segue, a uma temperatura de aproximadamente 260 °C, para a coluna de esterificação (c2).

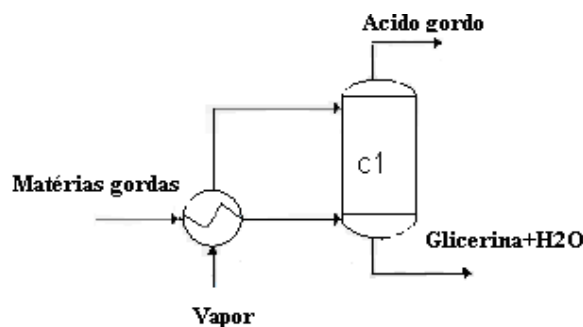


Figura E.9 – Esquema processual da etapa da reacção de hidrólise

2. Esterificação

Os ácidos gordos são alimentados pelo topo da coluna de destilação (c2), recheada com o catalisador ácido nióbico, em contracorrente com o metanol. A reacção de esterificação e a destilação ocorrem simultaneamente no mesmo equipamento. Em contacto com o catalisador, os reagentes são transformados em produtos e continuamente separados nos pratos que representam múltiplos estágios de equilíbrio. A reacção é continuamente deslocada, podendo-se atingir conversões quase completas. Não há necessidade de etapas de aquecimento ou resfriamento. O biodiesel é obtido na base da torre e a água, evaporada, é obtida no topo da coluna e retorna para a etapa de hidrólise.

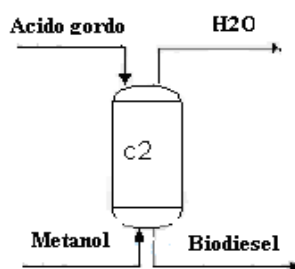


Figura E.10 – Esquema processual da etapa da reacção de esterificação