

---

# AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DAS EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SOJA EM PORTUGAL

---

## Relatório Final

Elaborado por:

*Érica Castanheira e Fausto Freire*

*Centro para a Ecologia Industrial (CIE), ADAI-LAETA*

*Universidade de Coimbra*

Para:

*Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis (APPB)*

*Dezembro 2011*



**EQUIPA DE TRABALHO DO CENTRO PARA A ECOLOGIA INDUSTRIAL (CIE), ADAI-LAETA, UNIVERSIDADE DE COIMBRA:**

Prof. Fausto Freire (investigador responsável)

Mestre Érica Castanheira

Mestre João Malça

Mestre Pedro Marques

Centro para a Ecologia Industrial  
Departamento de Engenharia Mecânica - Polo II  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Rua Luís Reis Santos  
3030-788 Coimbra  
Telef: +351 239 790 739/32  
Fax: +351 239 790 701  
Correio electrónico: [fausto.freire@dem.uc.pt](mailto:fausto.freire@dem.uc.pt)  
Website: <http://www2.dem.uc.pt/CenterIndustrialEcology>

**GRUPO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE PRODUTORES DE BIOCOMBUSTÍVEIS (APPB):**

Dr. Paulo Carmona (secretário-geral da APPB)

Eng<sup>a</sup> Cristina Correia (Prio Biocombustíveis S.A. - Grupo Martifer)

Eng<sup>o</sup> Hugo Cardoso (Fábrica Torrejana de Biocombustíveis, S.A.)

Eng<sup>o</sup> Maria Calçada (Biovegetal – Combustíveis Biológicos e Vegetais, S.A. - Grupo SGC)

Eng<sup>o</sup> Marina Reis (Sovena Oilseeds Portugal, S.A. - Grupo Nutrinveste)

Eng<sup>o</sup> Renato Henriques de Carvalho (Iberol – Sociedade Ibérica de Biocombustíveis e Oleaginosas, S.A.)

Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis  
R. Basílio Teles, 35 – 6<sup>o</sup> Dt<sup>o</sup>  
1070-129 Lisboa  
Telef: 210 123 456  
Correio electrónico: [appbio@gmail.com](mailto:appbio@gmail.com)  
Website: <http://www.appb.pt>



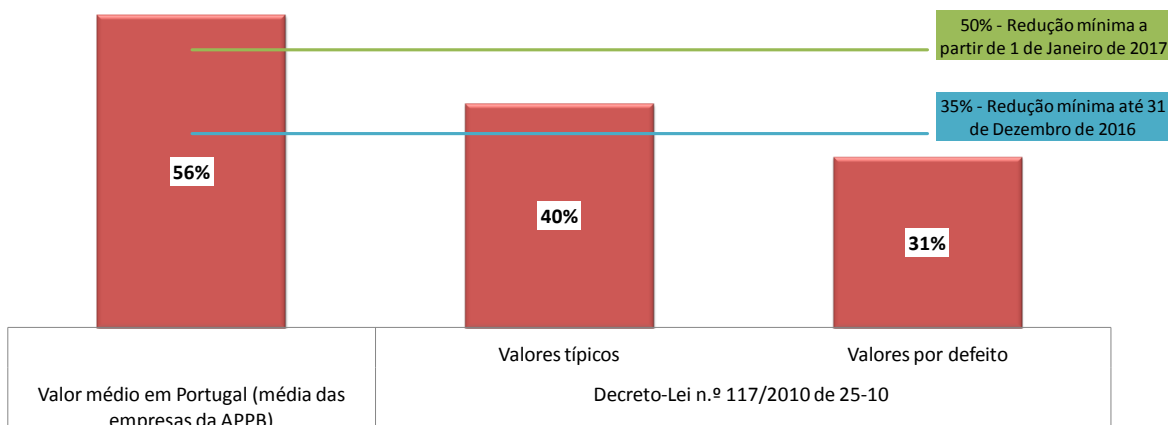
## SUMÁRIO EXECUTIVO

Este Sumário Executivo apresenta os principais aspectos e resultados do projecto “Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de Gases com Efeito de Estufa da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal”. O principal objectivo é apresentar o cálculo da redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) decorrente da produção e utilização de biodiesel, com base na soja, para Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência. Os cálculos realizados permitiram concluir que **as emissões de GEE decorrentes da utilização de biodiesel de soja produzido em Portugal totalizam 36,6 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, o que constitui uma redução de 56% das emissões de GEE relativamente ao combustível fóssil de referência.**

Os resultados calculados têm por base a metodologia definida nas normas ISO (International Standardization Organization) de Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 14040:2006 e 14044:2006), tendo sido obtidos de acordo com as regras de cálculo apresentadas no Decreto-Lei nº 117/2010 de 25 de Outubro (doravante designado de “diploma legal”), decisões e comunicações da Comissão Europeia. As emissões de GEE do biodiesel de soja produzido em Portugal são calculadas pela soma dos factores da fórmula referida no ponto 1 da parte C do anexo I do diploma legal e incluem as emissões decorrentes do cultivo da soja, do processamento (incluindo electricidade excedentária) assim como do transporte (soja em grão, óleo de soja, biodiesel e matérias subsidiárias). Foram calculados “valores reais” segundo a metodologia estabelecida na parte C do anexo I para todos os factores da fórmula excepto para o cultivo da soja, para o qual foi adoptado o valor por defeito referido na parte D do anexo I. As emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo foram também calculadas, mas separadamente e com base numa análise de cenários alternativos.

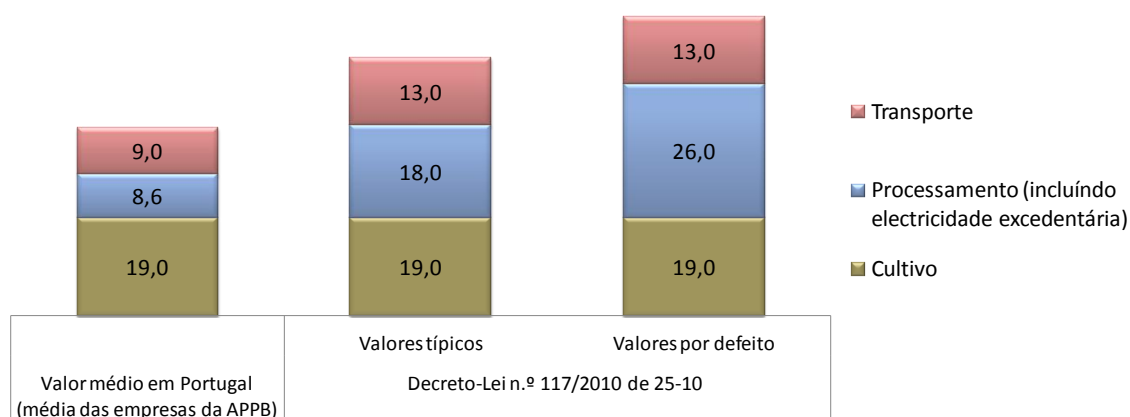
O cálculo de “valores reais” das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja de referência para Portugal foi realizado com base em modelos e inventários específicos relativos aos anos de 2009 e 2010 determinados para os processos industriais e de transporte das empresas da Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis (APPB): Iberol-Sociedade Ibérica de Biocombustíveis e Oleaginosas, S.A. (extracção de óleo de soja e produção de biodiesel); Fábrica Torrejana de Biocombustíveis, S.A. (produção de biodiesel); Prio Biocombustíveis S.A.-Grupo Martifer (produção de biodiesel); Biovegetal-Combustíveis Biológicos e Vegetais, S.A.-Grupo SGC (produção de biodiesel) e Sovena Oilseeds Portugal, S.A.-Grupo Nutrinveste (extracção de óleo de soja e produção de biodiesel).

A redução de emissões de GEE resultante da utilização de biodiesel de soja produzido em Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência, é de 56%, conforme apresentado na **Figura S.1. Este valor é superior às reduções típicas (40%) e por defeito (31%) estabelecidas no diploma legal e garante o cumprimento das metas de redução estabelecidas até ao final de 2016 (35%) assim como a partir de 1 de Janeiro de 2017 (50%),** embora sem incluir as emissões devidas a alterações do uso dos solos. Estes resultados demonstram a importância de se calcular emissões de GEE, específicas para Portugal, para a produção de biodiesel de soja.



**Figura S.1. Redução das emissões de GEE do biodiesel de soja: valores médios para Portugal (alocação energética).**

As emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal são apresentadas na **Figura S.2** e totalizam 36,6 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, sem incluir o carbono armazenado devido a alterações do uso do solo. Verifica-se que as emissões decorrentes do processamento e do transporte (“valores reais”) representam 23% (8,6 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) e 25% (9,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ), sendo que as emissões provenientes do cultivo – obtidas directamente do diploma legal (19 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) – representam 52% das emissões totais. Os resultados permitem verificar que as emissões para Portugal associadas ao processamento (incluindo electricidade excedentária) e ao transporte são, respectivamente, 48% e 69% dos valores típicos apresentados no diploma legal. Esta diferença pode ser explicada pela **elevada eficiência energética e de processo das empresas Portuguesas** (reduzido consumo de energia e de matérias subsidiárias) e ainda pela **localização geográfica de Portugal, da qual resulta uma menor distância de transporte aos países do continente americano, de onde provém maioritariamente a soja**. Este e outros aspectos do inventário de ciclo de vida são analisados detalhadamente no relatório final do projecto. Adicionalmente, o inventário relativo às várias fases do processamento do biodiesel de soja em Portugal é comparado com inventários realizados no âmbito de projectos europeus (“Biograce-JEC” e “Ecoinvent”).



**Figura S.2. Emissões de GEE do biodiesel de soja: valores médios para Portugal (alocação energética).**

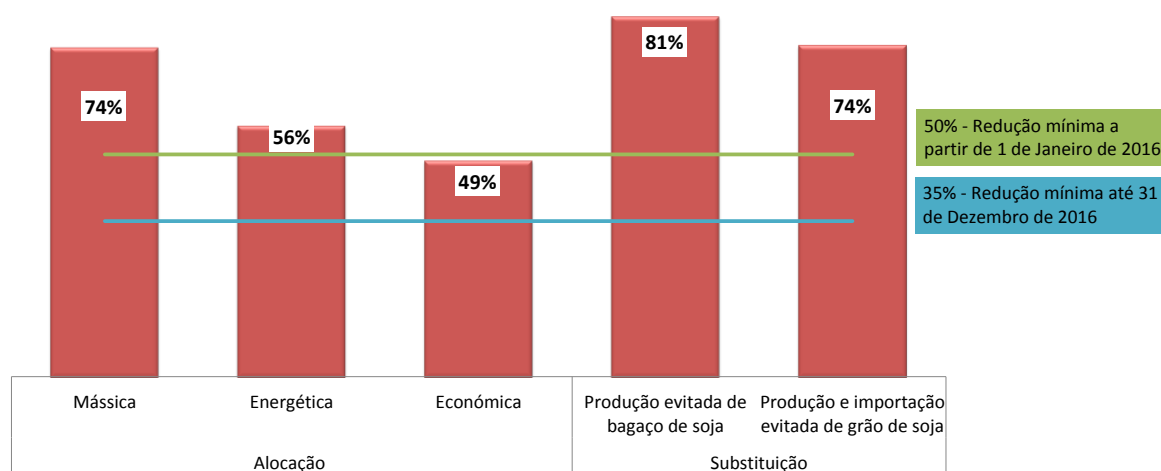
Relativamente à multifuncionalidade no ciclo de vida dos biocombustíveis, o Decreto-lei n.º 117/2010 de 25-10 e a Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009 estabelecem a utilização da alocação energética (“método da atribuição de energia”). No entanto, a norma ISO 14044:2006 refere que, quando possível, a utilização de métodos de atribuição (alocação) deve ser evitada através da utilização dos métodos da subdivisão de processos ou da expansão de sistema (substituição). Adicionalmente, a mesma norma ISO recomenda que, quando seja indicada a utilização de mais do que um método de atribuição, se efectue uma análise de sensibilidade aos diferentes métodos para avaliar os seus efeitos no cálculo das emissões de GEE, o que constituiu um importante objectivo deste projecto. A Directiva 2009/28/CE refere ainda, sem explicitar resultados obtidos em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida de biocombustíveis, que o método da atribuição de energia produz “...resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição” e que “nos relatórios a apresentar sobre as reduções de emissões de GEE resultantes da utilização de biocombustíveis, a Comissão utiliza os valores comunicados pelos Estados-Membros e avalia se, e de que forma, a estimativa mudaria se fossem considerados os co-produtos utilizando o método de substituição”.

Neste contexto, foi realizado um estudo de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de atribuição (alocação energética, mássica e económica) e do método da substituição no cálculo das emissões de GEE, de forma a verificar se o método da atribuição de energia produz resultados comparáveis à gama de resultados obtidos pelo método da substituição e restantes abordagens de atribuição. O método de substituição considera a função “real” dos co-produtos utilizando um abordagem do tipo consequencial, em que se efectua uma expansão do sistema com contabilização dos créditos (em termos de emissões de GEE) associados a produtos evitados pela co-produção de bagaço de soja. Na **Tabela S.1** apresentam-se os factores de alocação calculados e os 2 cenários de substituição adoptados (bagaço de soja importado; soja em grão importada). De acordo com os operadores económicos consultados (incluindo o grupo técnico da APPB), o processo de extracção de óleo de soja em Portugal evita a importação de bagaço de soja, pelo que se destaca este cenário, o qual representa a necessidade de importação de bagaço de soja, caso este não fosse produzido nacionalmente. Relativamente à alocação, verifica-se uma diferença muito significativa entre os vários factores.

**Tabela S.1. Factores de alocação e cenários de substituição.**

Produtos	Alocação			Método da expansão do sistema	
	Mássica	Energética	Económica	#1: Substituição de bagaço de soja importado	#2: Substituição de soja em grão importada
<i>Bagaço de soja</i>	80,3%	64,4%	59,3%	É adoptado um crédito correspondente às emissões de GEE evitadas por não ser necessário produzir e transportar o bagaço de soja desde a América do Sul até Portugal.	A produção de bagaço de soja evita a produção e importação de grãos de soja. As emissões (evitadas) de GEE que geradas devido ao cultivo da soja e ao seu transporte são contabilizadas como créditos.
<i>Óleo bruto de soja</i>	19,7%	35,6%	40,7%		
<i>Biodiesel</i>	89,3%	95,3%	98,8%	95,3%	95,3%
<i>Glicerina</i>	10,7%	4,7%	1,2%	4,7%	4,7%

O estudo de sensibilidade realizado aos diferentes métodos de alocação e substituição permite concluir que, independentemente do método adoptado, é garantida a redução mínima de 35% das emissões de GEE do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal, conforme apresentado na **Figura S.3**. O cumprimento de 50% de redução das emissões, obrigatório a partir de 2017, é também garantido, excepto para o método de alocação económica. Demonstra-se ainda que o método de tratamento dos co-produtos seleccionado tem um efeito determinante no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal, verificando-se que as emissões de GEE calculadas com base em alocação mássica e em cenários de substituição são inferiores (-40% a -56%) às calculadas com base em alocação energética (método referido no diploma legal). Estes resultados contrariam o pressuposto na directiva 2009/28/CE que refere no ponto 81 (L 140/25) que o método da atribuição de energia produz “*resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição*”. Este facto justifica a relevância da utilização do método da substituição, cuja possibilidade a Directiva 2009/28/CE estabelece, embora apenas para fins de análise política.



**Figura S.3. Redução das emissões de GEE do biodiesel de soja: Comparação entre métodos de alocação e substituição.**

A multifuncionalidade do processo de extracção do óleo de soja, em que ocorre a produção conjunta (“*joint production*”) de um produto com elevado conteúdo proteico com um óleo, impõe uma contabilização adequada das funções de ambos, o que, como se demonstrou no presente estudo, não é conseguido adoptando a atribuição energética definida no diploma legal, pelo que se recomenda que o cálculo das emissões de GEE da produção de biodiesel de soja em Portugal tenha em conta as especificidades multifuncionais descritas e as recomendações das normas ISO de Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 14040:2006 e 14044:2006) relativamente à multifuncionalidade.

# Índice

SUMÁRIO EXECUTIVO.....	iii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Fórmulas de cálculo.....	x
Lista de Tabelas .....	x
Glossário .....	xiii
1 Introdução .....	1
1.1 Contexto e objectivos.....	1
1.2 Estrutura do relatório.....	2
2 Metodologia .....	3
2.1 Procedimentos gerais da investigação .....	3
2.2 Cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja e da redução das emissões relativamente ao combustível fóssil.....	5
2.3 Multifuncionalidade da cadeia de produção de biodiesel .....	9
2.3.1 Alocação mássica, energética e económica .....	10
2.3.2 Método da substituição.....	13
2.3.3 Correção da atribuição das emissões do transporte de soja.....	16
3 Modelo e inventário de ciclo de vida do biodiesel de soja – Empresas APPB .....	17
3.1 Processamento da soja e produção de biodiesel em Portugal .....	18
3.1.1 Extracção de óleo bruto de soja.....	18
3.1.2 Refinação ou pré-tratamento de óleo bruto de soja.....	19
3.1.3 Transesterificação de óleo de soja .....	22
3.2 Transporte e distribuição .....	24
4 Resultados: Emissões de GEE de biodiesel de soja em Portugal.....	27
4.1 Redução de emissões de GEE do biodiesel .....	27
4.2 Emissões do processamento, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ .....	28
4.2.1 Emissões da extracção, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ extracção....	30
4.2.2 Emissões do pré-tratamento/refinação, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ refinação .....	31
4.2.3 Emissões da transesterificação, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ transesterificação .....	32
4.3 Emissões decorrentes do transporte e distribuição: $e_{td}$ .....	33
5 Análise de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento dos co-produtos .....	35

6	Emissões decorrentes da alteração do uso do solo - Análise de cenários.....	37
6.1	Apresentação dos cenários de alteração do uso do solo.....	37
6.2	Resultados - Emissões decorrentes das AUS (e) .....	39
7	Conclusões .....	43
	Referências Bibliográficas .....	45
	APÊNDICES .....	49
	APÊNDICE 1. Projecto: Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de Gases com Efeito de Estufa da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal .....	49
	APÊNDICE 2. Inquérito Preliminar – Extracção e Refinação.....	57
	APÊNDICE 3. Inquérito Preliminar – Pré-tratamento e Transesterificação.....	63
	APÊNDICE 4. Calculating Greenhouse Gas Emissions for Biofuel chains: inconsistent results between standards .....	69
	APÊNDICE 5. Factores de alocação considerados noutros estudos .....	73
	ANEXOS .....	75
	ANEXO 1. Factores de emissão de GEE .....	75
	ANEXO 2. “Biograce-JEC” e “Ecoinvent”: Inventários .....	77
	ANEXO 3. Poderes caloríficos Inferiores para Combustíveis.....	79

## Lista de Figuras

Figura S.1. Redução das emissões de GEE do biodiesel de soja: valores médios para Portugal (alocação energética). .....	iv
Figura S.2. Emissões de GEE do biodiesel de soja: valores médios para Portugal (alocação energética).....	iv
Figura S.3. Redução das emissões de GEE do biodiesel de soja: Comparação entre métodos de alocação e substituição. ....	vi
Figura 2.1. Modelo representativo do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal..	3
Figura 2.2 Método da substituição 1: A produção de bagaço de soja evita a importação de bagaço de soja produzido na América Latina.....	15
Figura 2.3 Método da substituição 2: A produção de bagaço de soja evita a produção e importação de grãos de soja. ....	15
Figura 2.4 Método adoptado para o tratamento de co-produtos - correcção da atribuição das emissões do transporte de soja ao biodiesel. ....	16
Figura 3.1 Consumo de energia na extracção de óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent. ....	19
Figura 3.2 Consumos químicos na extracção de óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.....	19
Figura 3.3 Consumos de produtos químicos no pré-tratamento/refinação do óleo bruto de soja em Portugal e no Biograce-JEC.....	20
Figura 3.4 Consumos de energia no pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal e no Biograce-JEC. ....	21
Figura 3.5 Consumos de produtos químicos na extracção e pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.....	21
Figura 3.6 Consumos de energia na extracção e pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent. ....	22
Figura 3.7 Consumo de produtos químicos na transesterificação em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.....	23
Figura 3.8 Consumos específicos médios de energia na transesterificação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent. ....	24
Figura 3.9 Transporte dos produtos e matérias subsidiárias da cadeia de produção de biodiesel de soja em Portugal (tkm/MJ). ....	26
Figura 4.1 Emissões de GEE do Biodiesel de Soja com base no cálculo de “valores reais” de processamento e transporte de referência para Portugal.....	27
Figura 4.2 Emissões de GEE (por fase do processamento do biodiesel) em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent. ....	29
Figura 4.3 Emissões de GEE: processo de extracção de óleo de soja, calculadas para Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.....	30
Figura 4.4 Emissões de GEE_ pré-tratamento/refinação de óleo bruto de soja em Portugal, no Biograce-JEC. ....	31

Figura 4.5 Emissões médias de GEE decorrentes da transesterificação, incluindo electricidade excedentária ( $e_p - e_{ee}$ transesterificação) em Portugal – comparação com os valores do Biograce-JEC e Ecoinvent. ....	32
Figura 4.6 Emissões de GEE: transporte de produtos, matérias-primas e subsidiárias em Portugal e no Diploma-Legal. ....	33
Figura 4.7 Emissões de GEE, por tipo de transporte, para os produtos, matérias-primas e subsidiárias.....	34
Figura 5.1 Emissões “reais” de GEE do Biodiesel de Soja para Portugal – comparação entre métodos de alocação e substituição.....	35
Figura 5.2 Redução das emissões de GEE do Biodiesel de Soja para Portugal em relação ao combustível fóssil de referência – comparação entre métodos de alocação e substituição. ....	36
Figura 6.1 Emissões de GEE: cenários de alteração do uso do solo para cultivo de soja. ....	39
Figura 6.2 Emissões de GEE: diferentes cenários de alteração do uso do solo para cultivo de soja. ....	40
Figura 6.3 Emissões de GEE: métodos de alocação e substituição e diferentes cenários de AUS. ....	41

## Lista de Fórmulas de cálculo

Fórmula de cálculo 2.1 Redução de emissões de GEE dos biocombustíveis (n.º4, parte C, anexo I, do diploma legal): .....	5
Fórmula de cálculo 2.2 Emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biocombustíveis (n.º1, parte C, anexo I, do diploma legal): .....	6
Fórmula de cálculo 2.3 Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo (n.º 7, parte C, anexo I do diploma legal):.....	8
Fórmula de cálculo 2.4 Cálculo do PCI do produto original com base no PCI do produto seco (Biograce, 2011a). ....	11

## Lista de Tabelas

Tabela S.1. Factores de alocação e cenários de substituição. ....	v
Tabela 2.1. Informação recolhida em cada uma das empresas envolvidas neste projecto. ....	4
Tabela 2.2. Factores de equivalência dos GEE (n.º5, parte C, anexo I do diploma legal). ....	9
Tabela 2.3. Factores de alocação mássica. ....	11
Tabela 2.4. Factores de alocação energética. ....	11
Tabela 2.5. Poder calorífico inferior (PCI) e teor de humidade dos produtos da cadeia de produção de biodiesel de soja. ....	12
Tabela 2.6. Preços do bagaço e do óleo de soja em 2010 (International Monetary Fund, 2011). ....	12
Tabela 2.7. Factores de alocação económica. ....	13
Tabela 2.8 Características do bagaço e da soja em grão. ....	16

Tabela 3.1. Distâncias médias adoptadas para o transporte de matérias-primas e subsidiárias utilizadas em cada fase do processamento e distribuição do produto acabado (biodiesel de soja). .....	25
Tabela 3.2. Transporte de soja em grão desde a plantação até aos portos.....	26
Tabela 6.1 Cenários de AUS e factores utilizados no cálculo do $CS_R$ e das emissões provenientes de alterações do uso do solo ( $e_l$ ). .....	38
Tabela 6.2 Factores utilizados no cálculo de $CS_A$ e das emissões provenientes de alterações do uso do solo ( $e_l$ ). .....	39
Tabela A.1. Factores de alocação mássica.....	73
Tabela A.2. Preços dos produtos e factores de alocação económica considerados (Jungbluth <i>et al.</i> , 2007). .....	73



## Glossário

**ACV:** Avaliação de Ciclo de Vida (LCA, na terminologia internacional)

**ADAI-LAETA:** Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, unidade de investigação do Laboratório Associado em Energia, Transportes e Aeronáutica

**APPB:** Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis

**AUS:** Alterações do uso do solo

**Biograce:** Projecto Europeu que visa harmonizar os cálculos de emissões de GEE de biocombustíveis e apoiar a implementação da Directiva das Energias Renováveis da UE (2009/28/CE) e da Directiva Qualidade dos Combustíveis da UE (2009/30/CE) para as legislações nacionais.

**CH<sub>4</sub>:** Metano

**CIE:** Center for Industrial Ecology

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**CONCAWE:** Research Association of the European Oil Refining Industry

**CS<sub>R</sub>:** Carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso de referência do solo

**CS<sub>A</sub>:** Carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso efectivo do solo

**DGEG:** Direcção-Geral de Energia e Geologia

**EBB:** European Biodiesel Board

**E<sub>B</sub>:** Emissões totais do biocombustível

**e<sub>B</sub>:** Bonificação de 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ para os biocombustíveis ou outros biolíquidos cuja biomassa é obtida a partir de solos degradados reconstituídos

**e<sub>ccr</sub>:** Redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono

**e<sub>ccs</sub>:** Redução de emissões resultante da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono

**e<sub>ec</sub>:** Emissões provenientes da extracção ou cultivo de matérias-primas

**e<sub>ee</sub>:** Redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração

**E<sub>F</sub>:** Emissões totais do combustível fóssil de referência

**e<sub>l</sub>**: Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo

**e<sub>p</sub>**: Emissões do processamento

**e<sub>sca</sub>**: Redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de gestão agrícola melhorada

**e<sub>td</sub>**: Emissões do transporte e distribuição

**e<sub>u</sub>**: Emissões do combustível na utilização

**EUCAR**: European Council for Automotive R&D

**GEE**: Gases com Efeito de Estufa

**H<sub>2</sub>O<sub>BH</sub>**: Teor de água do co-produto original, medido em base húmida

**IPCC**: Intergovernmental Panel on Climate Change

**ISO**: International Standardization Organization

**JEC**: Consórcio entre o JRC, o EUCAR e o CONCAWE no desenvolvimento do JEC Biofuels Programme

**JRC**: Joint Research Centre of the European Commission

**LBST**: Ludwig Bölkow System Technik

**N<sub>2</sub>O**: Óxido nitroso

**PCI**: Poder calorífico inferior

**UE**: União Europeia

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto e objectivos

Este relatório, designado Relatório Final, relativo ao projecto “Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de Gases com Efeito de Estufa da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal” (descrito no **Apêndice 1**), resulta do protocolo de cooperação celebrado entre a ADAI-LAETA e a APPB e tem como principal objectivo apresentar os resultados do cálculo da redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) decorrente da produção e utilização de biodiesel, com base na soja, para Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência. Neste relatório é também descrita e justificada a metodologia implementada e apresentada uma análise de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento dos co-produtos no cálculo das emissões de GEE.

Os resultados apresentados neste Relatório Final têm por base a metodologia definida nas normas ISO (International Standardization Organization) de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), incluindo a ISO 14040:2006 (Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework) e a ISO 14044:2006 (Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines), e são obtidos de acordo com as regras de cálculo de “valores reais” apresentadas no Decreto-Lei n.º 117/2010 de 25 de Outubro<sup>1</sup>, que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009 (relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis). Neste contexto, foram ainda consideradas várias decisões e comunicações complementares da Comissão Europeia (referidas em detalhe na **secção 2 - Metodologia**).

O cálculo de “valores reais” das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja é realizado com base em valores específicos determinados para os processos de extracção de óleo de soja da Iberol e da Sovena e de pré-tratamento/refinação e produção de biodiesel de soja da Biovegetal; da Iberol; da Prio; da Sovena e da Torrejana, de modo a permitir determinar valores médios de referência para Portugal. As empresas e valores médios de referência para Portugal mencionados são doravante designados por empresas APPB e valores APPB (média).

Os cálculos e resultados foram obtidos com base em modelos e inventários desenvolvidos para os processos industriais em Portugal referidos no parágrafo anterior, os quais serão objecto de relatórios (confidenciais) a entregar às respectivas empresas. Os inventários foram realizados com base nas respostas das empresas APPB aos inquéritos desenvolvidos pelo CIE (ver **Apêndice 2 e 3**).

---

<sup>1</sup> Doravante, sempre que se fizer referência a “diploma legal” ou a “supra citado Decreto-Lei” deve-se considerar efectuada ao Decreto-Lei n.º 117/2010, de 25 de Outubro.

## 1.2 Estrutura do relatório

Este relatório está organizado em **7 secções**, incluindo esta secção na qual se descrevem os objectivos e a estrutura do documento.

Na **Secção 2** são apresentados os aspectos gerais da investigação incluindo o modelo genérico de ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal, assim como a descrição da metodologia adoptada no cálculo das emissões de GEE. A metodologia e abordagem relativa à multifuncionalidade – alocação (mássica, energética e económica) e método da substituição – são apresentadas no final desta secção.

Na **Secção 3** é apresentado o modelo e o inventário de ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal, realizado com base nos modelos e inventários específicos de cada uma das unidades industriais envolvidas neste projecto, em particular no que respeita ao processamento e transporte de produtos e matérias-primas.

Na **Secção 4** apresentam-se os resultados obtidos na avaliação das emissões de GEE do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal e na redução das emissões relativamente ao combustível fóssil de referência (alocação energética), com destaque para as emissões associadas ao processamento (extração, refinação e transesterificação) e transporte.

Na **Secção 5** é apresentada a análise de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento dos co-produtos no cálculo das emissões de GEE.

Na **Secção 6** são apresentados os resultados referentes a uma análise de cenários alternativos de alteração do uso do solo devido à expansão do cultivo de soja. A **Secção 7** apresenta as principais conclusões desta investigação.

## 2 Metodologia

### 2.1 Procedimentos gerais da investigação

Nesta secção apresenta-se os procedimentos gerais da investigação e o modelo genérico de ciclo de vida do biodiesel de soja desenvolvido para Portugal (a descrição completa e detalhada do modelo e inventário relativo às empresas APPB (processamento e transporte) é apresentada na **Secção 3**). Na **subsecção 2.2** é apresentada a metodologia de cálculo das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) de ciclo de vida e da redução das emissões relativamente ao combustível fóssil de referência, proposta no supracitado Decreto-Lei (e decisões e comunicações complementares da Comissão Europeia). Na **subsecção 2.3**, são apresentadas as diferentes abordagens utilizadas neste estudo no que respeita à multifuncionalidade da cadeia de produção de biodiesel de soja.

O cálculo das emissões de GEE foi efectuado com base num modelo de ciclo de vida do biodiesel de soja representativo da situação actual em Portugal. Na **Figura 2.1** encontra-se representado o modelo desenvolvido, o qual inclui as alterações de uso do solo, o cultivo, o processamento, o transporte e a utilização.

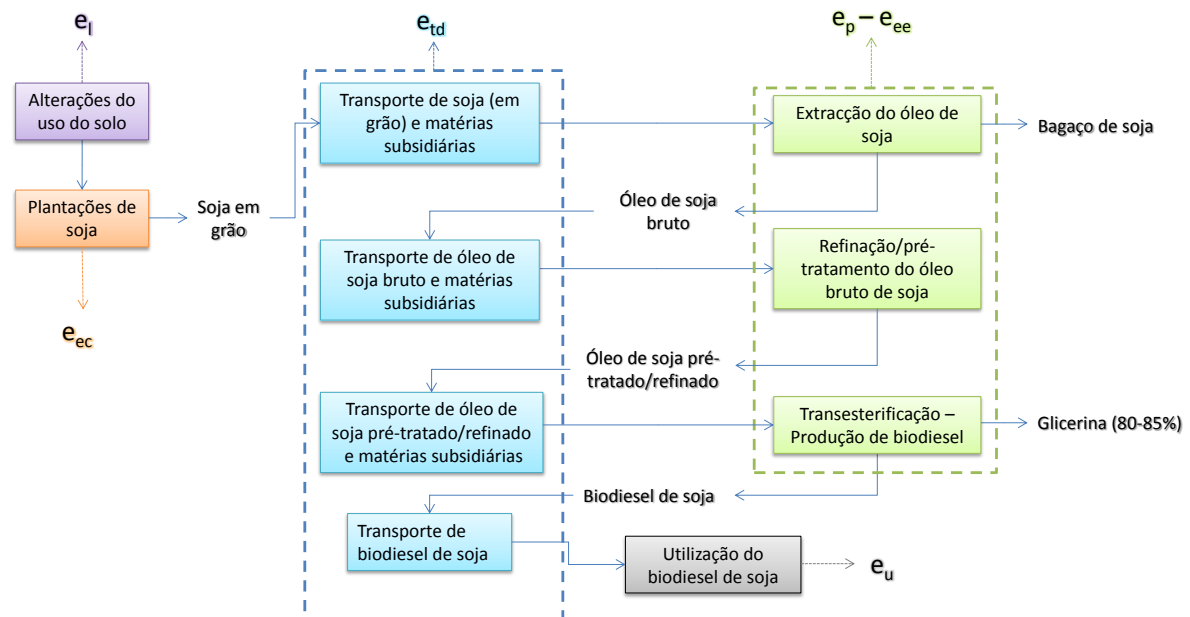


Figura 2.1. Modelo representativo do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal.

De modo a calcular “valores reais” das emissões de GEE relativas ao processamento (extracção, pré-tratamento/refinação e produção de biodiesel) e transporte foram implementados inventários específicos com base nas respostas a inquéritos elaborados (apresentados no **Apêndice 2 e 3**) pela equipa de trabalho do CIE. Os inventários foram complementados e validados com visitas realizadas às várias empresas APPB. Na **Tabela 2.1** descreve-se a informação recolhida para cada uma das fases do processamento e transporte em cada uma das

empresas envolvidas neste projecto. Com base nos inventários específicos de cada empresa, relativos aos anos de 2009 e 2010 (valor médio ou relativo ao ano mais representativo), foi desenvolvido um modelo e inventário médio do processamento e transporte, o qual reflecte a tecnologia e a situação nacional actual da produção de biodiesel de soja. Este modelo e inventário de referência para Portugal é apresentado na **Secção 3**. Os inventários específicos de cada empresa são apresentados nos respectivos relatórios (confidenciais). As emissões referentes às alterações do uso do solo são calculadas com base numa análise de cenários (apresentada na **Secção 6**) e as relativas ao cultivo com base no valor por defeito discriminado para o cultivo na parte A do anexo I do diploma legal.

**Tabela 2.1. Informação recolhida em cada uma das empresas envolvidas neste projecto.**

Empresas APPB	Processamento				Transporte
	Extracção	Refinação	Pré-tratamento	Transesterificação	
<i>Iberol</i>	X		X	X	X
<i>Sovena</i> <sup>2</sup>	X	X		X	X
<i>Torrejana</i>			X	X	X
<i>Prio</i>			X	X	X
<i>Biovegetal</i>				X	X
<i>Portugal</i>	Média ponderada	Média ponderada (refinação e pré-tratamento)		Média ponderada	Média ponderada

Considera-se que a produção de biodiesel em Portugal (processamento) está organizada em três fases principais: extracção do óleo bruto de soja, pré-tratamento (neutralização e desgomagem) ou refinação do óleo bruto de soja e transesterificação do óleo refinado ou desgomado e neutro para obtenção do biodiesel. Apenas uma empresa em Portugal (Sovena) procede à refinação do óleo, enquanto três das empresas (Iberol, Torrejana e Prio) procedem à desgomagem e neutralização do óleo (denominado por “pré-tratamento” do óleo bruto de soja). Neste estudo, de forma a definir um modelo representativo da realidade portuguesa, no que respeita à refinação e pré-tratamento de óleo bruto de soja, considera-se um inventário com base na média dos inventários das empresas que procedem ao pré-tratamento do óleo com a empresa que procede à refinação completa. Este processo será designado doravante por “pré-tratamento/refinação”.

Tal como estabelecido na metodologia de cálculo das emissões de GEE apresentada no Decreto-lei nº 117/2010, foi considerado como unidade funcional 1 MJ de biodiesel produzido a partir de óleo de soja em Portugal. Adicionalmente são apresentados inventários relativos às várias fases do processamento, por unidade produzida (tonelada de produto), de forma a permitir a análise dos consumos específicos de matérias-subsidiárias e energia, assim como a comparação com os consumos específicos apresentados noutros estudos.

<sup>2</sup> Inclui uma unidade de co-geração.

## 2.2 Cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja e da redução das emissões relativamente ao combustível fóssil

As emissões de gases com efeito de estufa (GEE) do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal foram calculadas com base nos modelos e inventários de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal e na metodologia proposta no Decreto-Lei n.º 117/2010, que transpõe para a ordem jurídica interna os artigos 17.º a 19.º e os anexos III e V da Directiva n.º 2009/28/CE do Conselho e do Parlamento Europeu, de 23 de Abril, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e que estabelece regras para o cálculo do impacto dos biocombustíveis na emissão de GEE. Foram ainda considerados as seguintes decisões da comissão, que constituem documentos complementares à Directiva n.º 2009/28/CE:

- C 3751 (2010), Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010, relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos (para efeitos do anexo V da referida Directiva 2009/28/CE).
- 2010/C 160/01, Comunicação da Comissão de 19 de Junho de 2010, os regimes voluntários e os valores por defeito no regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos.
- 2010/C 160/02, Comunicação da Comissão de 19 de Junho de 2010, sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis.

O cálculo da redução das emissões de GEE relativamente ao combustível fóssil de referência foi efectuado, sempre que os dados reais o permitiram, com base em “valores reais” (vd sec 3.3 da Comunicação da Comissão 2010/C 160/02) das emissões de GEE de biodiesel de soja para as várias fases do ciclo de vida, segundo a **Fórmula de cálculo 2.1**, nos termos da alínea c) do n.º 1 do artigo 5.º do supracitado Decreto-Lei, ou seja:

*Utilizando um valor calculado a partir da soma dos factores da fórmula referida no n.º 1 da parte C do anexo I do decreto-lei (Fórmula de cálculo 2.2), caso os valores por defeito discriminados referidos nas partes D ou E do anexo I possam ser utilizados para alguns dos factores e valores reais, calculados segundo a metodologia estabelecida na parte C do anexo I, para todos os outros factores.*

**Fórmula de cálculo 2.1 Redução de emissões de GEE dos biocombustíveis (n.º4, parte C, anexo I, do diploma legal):**

$$\text{REDUÇÃO} = (E_f - E_b)/E_f$$

em que:

$E_b$  são as **emissões totais do biocombustível**

$E_f$  são as **emissões totais do combustível fóssil de referência** - para os biocombustíveis é o último valor disponível para as emissões médias reais provenientes da parte fóssil do gasóleo rodoviário consumidos na Comunidade. Na ausência de tais dados, o valor utilizado é 83,8 g CO<sub>2</sub>eq/MJ (n.º 19, parte C, anexo I, do diploma legal).

Neste contexto, as emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biodiesel de soja produzido em Portugal são calculadas pela **Fórmula de cálculo 2.2**, apresentada de seguida. Para

as emissões de GEE provenientes do cultivo “ $e_{ec}$ ” foi utilizado o valor de 19 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, apresentado no diploma legal (parte D do anexo I do diploma legal).

**Fórmula de cálculo 2.2 Emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biocombustíveis (n.º1, parte C, anexo I, do diploma legal):**

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}$$

em que:

**$E$  são as emissões totais da utilização do combustível**

**$e_{ec}$  são as emissões provenientes da extracção ou cultivo de matérias-primas** - incluem as emissões do próprio processo de extracção ou cultivo, da colheita de matéria-prima, de resíduos e perdas e da produção de produtos químicos ou produtos utilizados na extracção ou cultivo.

**$e_l$  é a contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo** - (ver fórmula de cálculo 3.3).

**$e_p$  são as emissões do processamento** - incluem as emissões do próprio processamento, de resíduos e perdas e da produção de produtos químicos ou produtos utilizados no processamento. Para contabilizar o consumo de electricidade não produzida na instalação de produção de combustível, considera-se que a intensidade das emissões de GEE resultante da produção e distribuição dessa electricidade é igual à intensidade média das emissões resultante da produção e distribuição de electricidade numa dada região.

**$e_{td}$  são as emissões do transporte e distribuição** - incluem as emissões provenientes do transporte e armazenamento de matérias-primas e materiais semiacabados e do armazenamento e distribuição de materiais acabados.

**$e_u$  são as emissões do combustível na utilização** - consideradas nulas para os biocombustíveis.

**$e_{sca}$  é a redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de gestão agrícola melhorada.**

**$e_{ccs}$  é a redução de emissões resultante da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono** (que ainda não tenha sido tida em conta em ep) - é limitada às emissões evitadas graças à captura e fixação do CO<sub>2</sub> emitido directamente ligadas à extracção, transporte, processamento e distribuição de combustível.

**$e_{ccr}$  é a redução de emissões resultante da captura e substituição de carbono** - é limitada às emissões evitadas graças à captura de CO<sub>2</sub> cujo carbono provenha da biomassa e que seja utilizado para substituir o CO<sub>2</sub> derivado de energia fóssil utilizada em produtos e serviços comerciais.

**$e_{ee}$  é a redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração** – é contabilizada se for relativa à produção excedentária de electricidade em sistemas de produção de combustível que utilizam a co-geração, excepto se o combustível utilizado para a co-geração for um co-produto que não seja um resíduo de culturas agrícolas. Ao contabilizar essa produção excedentária de electricidade, parte-se do princípio de que a dimensão da unidade de co-geração é a mínima necessária para esta fornecer o calor necessário à produção do combustível. A redução de emissões de gases com efeito de estufa associada a essa electricidade excedentária é considerada igual à quantidade de gases com efeito de estufa que seria emitida produzindo uma quantidade igual de electricidade numa central alimentada com o mesmo combustível que a unidade de co-geração.

Não são tidas em conta as emissões do fabrico de máquinas e equipamento.

As emissões do processamento (“ $e_p$ ”) e do transporte e distribuição (“ $e_{td}$ ”) são calculadas com base nos modelos e inventários de ciclo de vida do biodiesel de soja apresentados na **Secção 3**. As “ $e_p$ ” incluem as emissões decorrentes da produção de energia térmica nas unidades de extracção, pré-tratamento/refinação e transesterificação, da produção e distribuição de electricidade na rede em Portugal e da produção de matérias-subsidiárias (produtos químicos). As “ $e_{td}$ ” são calculadas com base em distâncias médias percorridas e no tipo de transporte utilizado para o transporte do grão de soja, do óleo de soja bruto e pré-tratado/refinado, do biodiesel de soja e das matérias-subsidiárias. Como os dados de inventário fornecidos pelas empresas APPB nos inquéritos realizados são dados agregados, as emissões referentes ao armazenamento de matérias-primas, matérias subsidiárias e materiais semiacabados e acabados são incluídas nas “ $e_p$ ”.

As emissões de GEE referentes à produção de energia eléctrica e térmica, de matérias-subsidiárias e dos diversos tipos de transporte considerados neste estudo são adoptadas da base de dados *Ecoinvent* (v2.1) e apresentadas no **Anexo 1**.

A redução das emissões resultantes da produção excedentária de electricidade na co-geração (“ $e_{ee}$ ”) foi contabilizada neste estudo. No entanto, como apenas uma empresa possui um sistema de co-geração, por razões de confidencialidade, as “ $e_{ee}$ ” são apresentadas conjuntamente com as emissões do processamento (“ $e_p-e_{ee}$ ”) nas **Secções 4, 5 e 6** deste relatório. O cálculo de “ $e_{ee}$ ” revelou-se de uma complexidade acrescida por várias razões, incluindo a necessidade de se calcular e atribuir as emissões da cogeração às diversas fases do processamento do biodiesel, de modo a permitir apresentar os dados das emissões para as 3 fases do processamento (extração, pré-tratamento/refinação e transesterificação), assim como para se obter a média de Portugal e efectuar a comparação com os valores do Decreto-Lei n.º 117/2010 de 25-10 (“ $e_p-e_{ee}$ ”). No cálculo das “ $e_{ee}$ ” foram ainda considerados os elementos complementares do método de cálculo do impacto na formação de GEE, apresentados no Anexo II da Comunicação da Comissão (2010/C 160/02) sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis, nomeadamente o seguinte ponto:

***Electricidade produzida por co-geração:***

*A regra geral de atribuição enunciada no ponto 17 não se aplica à electricidade produzida por co-geração, quando esta utiliza: 1) combustíveis fósseis, 2) bioenergia, se esta não for um co-produto do mesmo processo, ou 3) detritos de culturas agrícolas, ainda que estes sejam um co-produto do mesmo processo. Em contrapartida, a regra enunciada no ponto 16 aplica-se do seguinte modo:*

*a) Se a co-geração fornece calor não só para o processo de produção de biocombustível/biolíquido mas também para outros fins, a dimensão da unidade de co-geração deve ser teoricamente reduzida, para efeitos de cálculo, à dimensão necessária para fornecer apenas o calor suficiente ao processo de produção de biocombustível/biolíquido. A produção de electricidade primária da unidade de co-geração deve ser teoricamente reduzida em proporção.*

*b) Após este ajustamento teórico e após cobertura de eventuais necessidades internas reais, deve ser atribuído à quantidade de electricidade remanescente um crédito de gases com efeito de estufa, que deve ser subtraído das emissões de processamento.*

*c) O valor deste benefício corresponde às emissões ao longo do ciclo de vida atribuíveis à produção de uma quantidade igual de electricidade numa central a partir do mesmo tipo de combustível.*

Conforme referido na alínea c) apresentada anteriormente, o cálculo da redução de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na cogeração ( $e_{ee}$ ) implica a definição de um sistema de referência para a produção de electricidade com gás natural. Os sistemas de referência não estão especificados na Directiva 2009/28/CE nem nas comunicações da Comissão de 19 de Junho de 2010, pelo que pode existir alguma arbitrariedade na sua definição e nos valores considerados. Após consulta da Sovena à EBB (European Biodiesel Board), e embora a EBB reconhecesse essa dificuldade, foi sugerida a utilização, como referência, dos valores de eficiência de produção de electricidade com gás natural apresentados na Decisão da Comissão

de 21 de Dezembro de 2006, publicada em 6 de Fevereiro de 2007 (*Commission decision of 21/12/06 establishing harmonised efficiency reference values for separate production of electricity and heat in application of Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council (2007/74/EC)*).

A contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo, “ $e_1$ ”, é efectuada dividindo as emissões totais em quantidades iguais ao longo de 20 anos. Para o cálculo dessas emissões, foi aplicada a **Fórmula de cálculo 2.3**. Neste estudo, devido ao facto das empresas APPB não possuírem informação específica que permitisse calcular as emissões de GEE decorrentes de alterações do uso do solo (AUS), estas emissões (“ $e_1$ ”) foram calculadas separadamente com base numa análise de cenários alternativos (apresentada na **Secção 6** deste relatório).

A redução de emissões resultante da acumulação de carbono no solo através de gestão agrícola melhorada (“ $e_{sca}$ ”) é considerada nula na medida em que se considera que a plantação de soja é realizada com mobilização reduzida do solo (ver **Secção 6**). As emissões da captura e fixação de carbono e armazenamento geológico de carbono (“ $e_{ccs}$ ”) e da captura e substituição de carbono (“ $e_{ccr}$ ”) não são consideradas neste estudo.

**Fórmula de cálculo 2.3 Contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo (n.º 7, parte C, anexo I do diploma legal):**

$$e_1 = (CS_R - CS_A) \times 3,664 \times 1/20 \times 1/P - e_B$$

em que:

$e_1$  é a **contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo** (medidas em massa de equivalente de CO<sub>2</sub> por unidade de energia produzida por biocombustíveis).

$CS_R$  é o **carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso de referência do solo** (medido em massa de carbono por unidade de superfície, incluindo solo e vegetação). O uso de referência do solo reporta -se a Janeiro de 2008, ou 20 anos antes da obtenção da matéria -prima, caso esta última data seja posterior.

$CS_A$  é o **carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso efectivo do solo** (medido em massa de carbono por unidade de superfície, incluindo solo e vegetação). Nos casos em que o carbono esteja armazenado durante mais de um ano, o valor atribuído ao  $CS_A$  é o do armazenamento estimado por unidade de superfície passados 20 anos ou quando a cultura atingir o estado de maturação, consoante o que ocorrer primeiro.

$P$  é a **produtividade da cultura** (medida em quantidade de energia produzida pelos biocombustíveis por unidade de superfície por ano).

$e_B$  é a **bonificação de 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ para os biocombustíveis ou outros biolíquidos cuja biomassa é obtida a partir de solos degradados reconstituídos**. A bonificação é atribuída se existirem elementos que atestem que o terreno em questão:

- Não era explorado para fins agrícolas ou outros em Janeiro de 2008; e
- Se inclui numa das seguintes categorias: terreno gravemente degradado, incluindo terrenos anteriormente explorados para fins agrícolas; e terreno fortemente contaminado.

Por fim, deve sublinhar-se que no âmbito do cálculo das emissões de GEE são consideradas apenas as emissões dos três seguintes GEE: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>), de acordo com o estabelecido no diploma legal. Para efeitos do cálculo da equivalência de CO<sub>2</sub>, estes gases têm os valores apresentados na **Tabela 2.2**. No entanto, é importante referir que os factores de equivalência adoptados pelo decreto-lei e directiva não são os factores actuais disponibilizados pelo IPCC (2007).

**Tabela 2.2. Factores de equivalência dos GEE (n.º5, parte C, anexo I do diploma legal).**

GEE	Factores de equivalência (g CO <sub>2</sub> eq)
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	23
N <sub>2</sub> O	296

### 2.3 Multifuncionalidade da cadeia de produção de biodiesel

O ciclo de vida do biodiesel de soja é multifuncional, sendo produzidos vários co-produtos importantes: óleo e bagaço de soja (na extracção) e biodiesel e glicerina (na transesterificação). Adicionalmente são produzidos ainda, nalguns processos, massas de neutralização (*soapstock*), destilados e gorduras, que representam menos de 4% do volume mássico da produção e têm reduzido valor económico, pelo que não foram considerados.

De acordo com Weidema e Schmidt (2010), num artigo recentemente publicado, o tópico da multifuncionalidade e contabilização da atribuição de emissões de GEE entre co-produtos é complexo e continua a suscitar muita controvérsia, tanto na comunidade científica (Malça e Freire 2006, 2010, 2011, Castanheira e Freire 2011, Reinhard e Zah 2009, Dalgaard *et al.* 2008, Huo *et al.* 2008, 2009), como na elaboração de procedimentos e normas para o seu cálculo (JEC 2008a, European Commission 2010, BSI 2008). Neste contexto, a norma ISO 14044:2006 refere que, quando possível, a utilização de métodos de atribuição (alocação) deve ser evitada através da utilização dos métodos da subdivisão de processos ou da expansão de sistema (substituição). Adicionalmente, a mesma norma ISO recomenda que, quando seja indicada a utilização de mais do que um método de atribuição, se efectue uma análise de sensibilidade aos diferentes métodos para avaliar os seus efeitos no cálculo das emissões de GEE, o que constitui um importante objectivo deste projecto.

No entanto, o supracitado Decreto-lei n.º 117/2010 estabelece a utilização da alocação energética (“método da atribuição de energia”) para lidar com a multifuncionalidade no ciclo de vida dos biocombustíveis (n.º 17 e 18, parte C, anexo I do diploma legal):

*17 – Se um processo de produção de combustível produzir, em combinação, o combustível para o qual se calculam as emissões e um ou mais produtos diferentes (co-produtos), as emissões de GEE são repartidas entre o combustível ou o seu produto intermédio e os co-produtos proporcionalmente ao seu teor energético (determinado pelo poder calorífico inferior no caso dos co-produtos com excepção da electricidade).*

*18 – Para efeito do cálculo referido no n.º 17, as emissões a repartir são  $e_{ec} + e_i +$  as fracções de  $e_{pr}$ ,  $e_{td}$  e  $e_{ee}$  que têm lugar até, inclusive, à fase do processo em que é produzido um co-produto. Se tiverem sido atribuídas emissões a co-produtos em fases anteriores do processo durante o ciclo de vida, é utilizada para esse fim a fracção dessas emissões atribuída ao produto combustível intermédio na última dessas fases, em lugar do total das emissões. (...)*

No entanto, é importante salientar que o ponto 4 do artigo 23º da Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009, refere explicitamente que:

*“nos relatórios a apresentar sobre as reduções de emissões de gases com efeito de estufa resultantes da utilização de biocombustíveis, a Comissão utiliza os valores comunicados pelos Estados-Membros e avalia se, e de que forma, a estimativa mudaria se fossem considerados os co-produtos utilizando o método de substituição”.*

Neste contexto, se as emissões de GEE calculadas com o recurso ao método da substituição não forem comparáveis às calculadas com base no “método da atribuição de energia”, há argumentos para justificar o cálculo de valores de GEE recorrendo ao método da substituição, pois a directiva assume no seu ponto 81 (L 140/25) que o método da atribuição de energia produz *“resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição”*. Deste modo, a justificação para a utilização do método da substituição para os co-produtos pode constituir uma importante oportunidade para calcular valores específicos de GEE para a produção de biodiesel de soja em Portugal.

Ainda neste âmbito, no **Apêndice 4** (*“Calculating Greenhouse Gas Emissions for Biofuel chains: inconsistent results between standards”*) apresenta-se uma análise realizada no âmbito da discussão das futuras normas EN16214, na qual se procura demonstrar os resultados paradoxais e inconsistentes que se obtêm quando o método da atribuição energética é aplicado a processos em que o(s) co-produto(s) têm funções e propriedades (e.g. valor nutricional) muito distinto de uma utilização energética.

Neste contexto, neste relatório apresenta-se um estudo de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de alocação (e.g. energética, mássica e económica) e, em particular, do método da substituição (expansão de sistema) no cálculo das emissões de GEE (**Secção 5**).

No entanto, na **Secção 4** são apresentados resultados das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja e da redução das emissões de GEE de acordo com o método da atribuição energética, seguindo o estabelecido no supracitado Decreto-lei n.º 117/2010, de modo a permitir o cálculo de valores reais segundo a metodologia proposta.

Nas próximas subsecções apresentam-se os factores de alocação mássica, energética e económica e a forma como foram calculados (**subsecção 2.3.1**), bem como os cenários de substituição adoptados (**subsecção 2.3.2**). Por fim, na **subsecção 2.3.3** apresenta-se uma abordagem que consiste na correcção, com base em critérios mássicos, da atribuição das emissões de GEE do transporte de grãos de soja ao biodiesel.

### **2.3.1 Alocação mássica, energética e económica**

O estudo de sensibilidade do efeito da utilização de diferentes tipos de alocação (mássica, energética e económica) no cálculo das emissões de GEE foi realizado com base nos factores de alocação apresentados nas **Tabelas 2.3, 2.4 e 2.7**. Os factores de alocação mássica são calculados com base na relação de fluxos mássicos entre os vários co-produtos, sendo os factores de alocação energética e económica calculados com base nos fluxos energéticos e económicos, respectivamente.

Na **Tabela 2.3** são apresentados os factores de alocação mássica médios para Portugal, calculados com base nos inventários específicos implementados para as empresas APPB. Como referência e a título comparativo, apresentam-se no **Apêndice 5** os factores de alocação considerados noutros projectos e estudos de avaliação de ciclo de vida.

**Tabela 2.3. Factores de alocação mássica.**

Fase do processamento	Co-produto	APPB (média)
<i>Extracção</i>	<i>Bagaço de soja</i>	80,3%
	<i>Óleo bruto de soja</i>	19,7%
<i>Transesterificação</i>	<i>Biodiesel</i>	89,3%
	<i>Glicerina</i>	10,7%

Na **Tabela 2.4** são apresentados os factores de alocação energética, os quais foram calculados com base nos factores de alocação mássica e no teor energético dos co-produtos, determinado com base no poder calorífico inferior (PCI), tal como estabelecido no Anexo I do supracitado Decreto-Lei.

**Tabela 2.4. Factores de alocação energética.**

Fase do processamento	Co-produto	APPB (média)
<i>Extracção</i>	<i>Bagaço de soja</i>	64,4%
	<i>Óleo bruto de soja</i>	35,6%
<i>Transesterificação</i>	<i>Biodiesel</i>	95,3%
	<i>Glicerina</i>	4,7%

O PCI utilizado na determinação dos factores de alocação energética é o PCI do produto original (com água) e não o PCI do produto seco (sem água). No entanto, como o teor de água nos produtos originais é variável é comum calcular-se o PCI do produto original com base num teor de água médio (base húmida) e no PCI do produto seco (**Tabela 2.5**), utilizando a **Fórmula de cálculo 2.4** (Biograce, 2011a). Para os produtos com um teor de água próximo de 0% (óleo bruto e biodiesel de soja) assume-se que o PCI do produto original é igual ao PCI do produto seco. Na **Tabela 2.5** são apresentados os PCI dos produtos originais bem como os factores utilizados no seu cálculo, de acordo com a **Fórmula de cálculo 2.4**:

**Fórmula de cálculo 2.4 Cálculo do PCI do produto original com base no PCI do produto seco (Biograce, 2011a).**

$$PCI_{PO} = PCI_{PS} \times (1 - \%H_2O_{BH}) - \%H_2O_{BH} \times 2,44$$

em que:

$PCI_{PO}$  é o poder calorífico inferior do produto original (MJ/kg), ou seja, PCI do produto com água (resultados na **Tabela 2.5**)

$PCI_{PS}$  é o poder calorífico inferior do produto seco (MJ/kg), ou seja, o PCI do produto sem água (ver os valores utilizados na **Tabela 2.5**)

$\%H_2O_{BH}$  é o teor de água do co-produto original, medido em base húmida (ver os valores utilizados na **Tabela 2.5**)  
2,44 Calor latente de vaporização da água a 25°C (MJ/kg)

**Tabela 2.5. Poder calorífico inferior (PCI) e teor de humidade dos produtos da cadeia de produção de biodiesel de soja.**

Fase do processamento	Co-produto	Produto seco		Produto original		
		PCI <sub>ps</sub>		Teor de água (base húmida)		PCI <sub>po</sub>
		MJ/kg	Fonte	%	Fonte	MJ/kg
<i>Extracção</i>	<i>Bagaço de soja</i>	19,0	Fehrenbach <i>et al</i> , 2007	13%	Empresas APPB	<b>16,3</b>
	<i>Óleo bruto de soja</i>	36,6		≈0%		<b>36,6</b>
<i>Transesterificação</i>	<i>Biodiesel</i>	37,2		≈0%		<b>37,2</b>
	<i>Glicerina</i>	17,0		9%		<b>15,2</b>

A alocação económica das emissões de GEE é efectuada neste projecto com base em preços médios de 2010. Os preços médios considerados para o bagaço e óleo de soja (331 e 925 dólares por tonelada, respectivamente) foram obtidos do “International Monetary Fund” (International Monetary Fund, 2011; ver **Tabela 2.6**). O preço médio do biodiesel em Portugal para o ano de 2010 foi calculado com base em dados da DGEG (DGEG, 2011), 840,2 €/m<sup>3</sup> (951,6 €/tonelada biodiesel, considerando 883 kg/m<sup>3</sup>). Quanto à glicerina considerou-se um preço médio de 100 € por tonelada, valor fornecido pelas empresas APPB.

**Tabela 2.6. Preços do bagaço e do óleo de soja em 2010 (International Monetary Fund, 2011).**

Mês	Preços (US dólares/t)		Preço óleo de soja/ preço do bagaço	Cenários
	Bagaço de soja	Óleo de soja		
<i>Janeiro</i>	325,85	838,22	2,6	
<i>Fevereiro</i>	303,66	840,42	2,8	
<i>Março</i>	292,60	869,39	3,0	
<i>Abril</i>	308,05	868,10	2,8	
<i>Mai</i>	305,74	832,68	2,7	
<i>Junho</i>	314,32	820,99	2,6	
<b>Julho</b>	<b>335,09</b>	<b>836,74</b>	<b>2,5</b>	<b>Cenário A</b>
<i>Agosto</i>	339,14	895,28	2,6	
<i>Setembro</i>	334,06	929,65	2,8	
<i>Outubro</i>	353,75	1034,85	2,9	
<i>Novembro</i>	376,04	1123,30	3,0	
<i>Dezembro</i>	<b>387,51</b>	<b>1208,33</b>	<b>3,1</b>	<b>Cenário B</b>
<i>Média</i>	<b>331</b>	<b>925</b>	<b>2,79</b>	<b>Valores médios</b>

De modo a permitir uma análise mais robusta, que inclua a variabilidade dos preços, foram considerados ainda 2 cenários limite (A e B). Estes cenários foram estabelecidos com o objectivo de avaliar a sensibilidade dos factores de alocação económica à variação dos preços dos co-produtos, em particular considerando diferentes relações de preços entre co-produtos.

- **Cenário A:** factores de alocação calculados com base nos preços do óleo de soja e do bagaço no mês de 2010 em que a **relação preço óleo/preço bagaço foi mínima (2,5, cf. Tabela 2.6)**; num preço da glicerina 20% superior ao preço médio e num preço de biodiesel 20% inferior ao preço médio (**relação preço biodiesel/preço glicerina mínima**).

- **Cenário B:** factores de alocação calculados com base nos preços do óleo de soja e do bagaço no mês de 2010 em que a **relação preço óleo/preço bagaço foi máxima** (3,1, cf. **Tabela 2.6**); num preço de glicerina 20% inferior ao preço médio e num preço de biodiesel 20% superior ao preço médio (**relação preço biodiesel/preço glicerina máxima**).

Na **Tabela 2.7** apresentam-se os factores de alocação económica calculados e considerados neste projecto.

**Tabela 2.7. Factores de alocação económica.**

Fase do processamento	Co-produto	APPB (média)		
		Valores médios (2010)	Cenário A	Cenário B
<b>Extracção</b>	<i>Bagaço de soja</i>	59,3%	56,6%	61,9%
	<i>Óleo bruto de soja</i>	40,7%	38,1%	43,4%
<b>Transesterificação</b>	<i>Biodiesel</i>	98,8%	98,1%	99,2%
	<i>Glicerina</i>	1,2%	1,9%	0,8%

### 2.3.2 Método da substituição

A utilização do método da substituição permite realizar uma ACV do tipo consequencial da produção de biodiesel de soja em Portugal, segundo os métodos mais avançados de ACV, tendo em conta os efeitos directos e indirectos associados à produção de biodiesel. A ACV do tipo consequencial procura ter em conta a função “real” dos co-produtos com base no método da substituição em detrimento da utilização de métodos de alocação. Para implementar o método da substituição é necessário efectuar uma expansão do sistema com contabilização dos créditos, em termos de emissões de GEE, associados aos produtos evitados com função equivalente às dos co-produtos do sistema original.

O método da substituição é recomendado pelas normas ISO de Avaliação de Ciclo de Vida (14044:2006 e 14044:2006), a qual sugere que, quando possível, a utilização de métodos de atribuição deve ser evitada através da utilização dos métodos da subdivisão de processos ou da expansão de sistema (substituição). No entanto, o método da subdivisão não pode ser aplicado a processos em que há “*joint production*”, o que é o caso do processo da extracção de óleo com produção de bagaço.

Relativamente ao método da substituição que é implementado ao bagaço de soja é necessário, em primeiro lugar, identificar produto(s) com função e características equivalente(s) à do bagaço de soja. Devido ao seu elevado conteúdo proteico, o bagaço de soja é usado essencialmente no fabrico de rações nomeadamente para bovinos, suínos e aves. No entanto, a aplicação do método da substituição a cadeias multifuncionais de óleos vegetais e bagaço é um problema complexo que tem suscitado muita discussão no seio da comunidade científica (Weidema 2001, Weidema e Schmidt 2010, Suh *et al.* 2010). Diversos artigos científicos referem, em particular, as características específicas do bagaço de soja no mercado de alimentação animal. Adicionalmente, a relevância do bagaço de soja no mercado da alimentação animal, faz com que este seja considerado o “*produto determinante*” do processo da extracção de óleo de soja, pois é

a sua procura (em vez do próprio óleo de soja) que mais condiciona o processamento do grão de soja (Weidema e Schmidt, 2010).

Neste contexto, realiza-se uma análise de sensibilidade do efeito da utilização do método da substituição (expansão de sistema) no cálculo das emissões de GEE, sendo considerados 2 cenários de substituição para o bagaço de soja, no processo de extracção de óleo, com base em cenários assumidos em artigos científicos e estudos de LCA (Dalgaard *et al.* 2008, Huo *et al.* 2008 e 2009). Esta análise de sensibilidade com 2 cenários de substituição justifica-se de modo a tornar mais robusta a aplicação do método da substituição e pelo facto de não ser linear a identificação de qual(is) o(s) produto(s) que com características específicas equivalentes às do bagaço de soja. De facto, os estudos que implementaram o método da substituição ao bagaço de soja, adoptaram diferentes cenários de substituição (Huo 2008 e 2009, Dalgaard *et al.* 2008, JEC 2008a, Kim e Dale 2005) conforme descrito no relatório que descreve o estado da arte da avaliação de ciclo de vida da produção de biodiesel.

Neste estudo assume-se assim os seguintes 2 cenários de substituição para o bagaço de soja decorrente da extracção de óleo para produção de biodiesel de soja em Portugal:

- **Cenário #1: Substituição de bagaço de soja importado (Figura 2.2)**
- **Cenário #2: substituição de soja em grão (Figura 2.3)**

De acordo com os operadores económicos consultados (incluindo o grupo técnico da APPB), o processo de extracção de óleo de soja em Portugal evita a importação de bagaço de soja, pelo que se destaca o cenário #1, o qual representa a necessidade de importação de bagaço de soja, caso este não fosse produzido nacionalmente.

Em cada um dos cenários as emissões de GEE evitadas são calculadas com base na quantidade equivalente desses produtos (tendo em conta o teor de proteína) que não é produzida e transportada ao ser substituída por bagaço de soja. As emissões de GEE evitadas (crédito) são subtraídas ao total das emissões da cadeia de ciclo de vida de biodiesel de soja em Portugal.

### **Cenário #1: Substituição de bagaço de soja importado**

O primeiro cenário de substituição encontra-se representado na **Figura 2.2**. Neste cenário assume-se que a produção de bagaço de soja em Portugal evita a importação de bagaço de soja produzido na América Latina. Nesta abordagem consequencial é adoptado um crédito correspondente às emissões de GEE evitadas por não ser necessário produzir e transportar o bagaço de soja desde a América do Sul até Portugal. Neste cenário é adoptado um crédito de emissões de GEE de ciclo de vida de bagaço de soja de 721 g CO<sub>2</sub>eq/kg bagaço, valor calculado por Dalgaard *et al.* (2008) assumindo que o óleo de palma é o óleo vegetal marginal no mercado mundial. Dalgaard *et al.* (2008) utilizam o termo marginal para designar o óleo vegetal que substitui, em primeiro lugar (i.e. em termos marginais), no mercado o óleo de soja na produção de biodiesel. O crédito de emissões de GEE relativo à produção de 1 MJ de biodiesel devido à produção evitada de bagaço de soja é de 81,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ biodiesel, valor este obtido com base nas emissões de GEE de ciclo de vida do bagaço de soja obtidas por Dalgaard *et al.* (2008) e na produção de bagaço de soja por cada MJ de biodiesel produzido, 0,113 kg bagaço/MJ biodiesel (**Figura 2.2**).

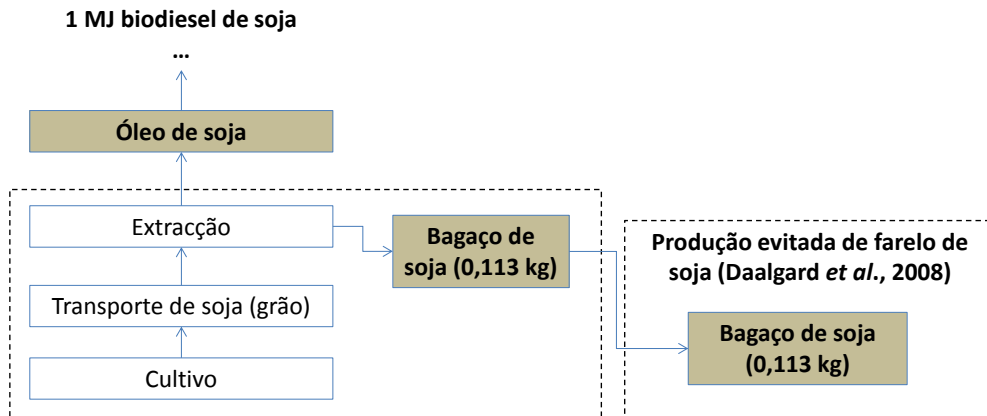


Figura 2.2 Método da substituição 1: A produção de bagaço de soja evita a importação de bagaço de soja produzido na América Latina.

### Cenário #2: Substituição de soja em grão

No segundo cenário de substituição, representado na **Figura 2.3**, assume-se que a produção de bagaço de soja evita a produção e importação de grãos de soja, tal como proposto por Huo *et al.* 2008 e 2009.

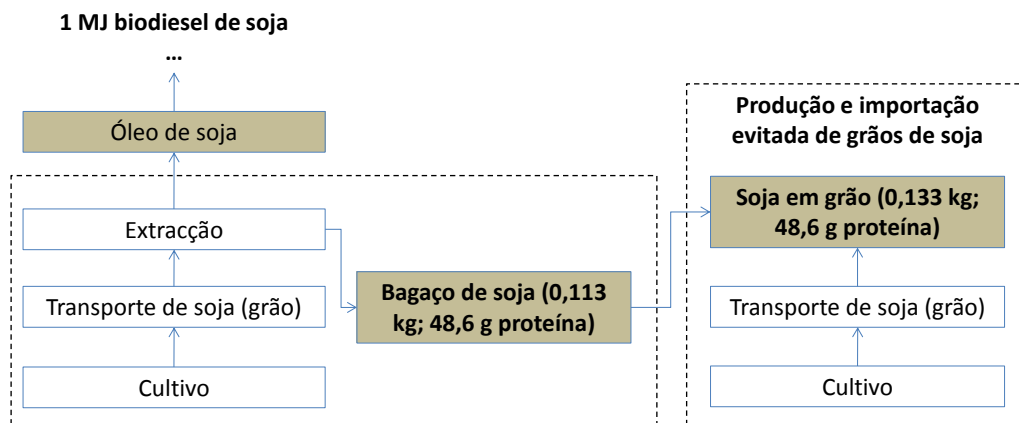


Figura 2.3 Método da substituição 2: A produção de bagaço de soja evita a produção e importação de grãos de soja.

Nesta abordagem as emissões (evitadas) de GEE que teriam sido geradas devido ao cultivo da soja e ao seu transporte são contabilizadas como créditos. As emissões evitadas referentes ao cultivo e transporte da soja são determinadas de forma semelhante às calculadas neste projecto, sem atribuição de emissões a co-produtos:

- i) **emissões de GEE decorrentes do cultivo: 402,7 g CO<sub>2</sub>eq/kg soja**, calculadas com base no valor apresentado no diploma legal e sem atribuição de emissões aos co-produtos e
- ii) **emissões de transporte de soja: 173,1 g CO<sub>2</sub>eq/kg soja**, calculadas com base nas emissões do transporte da soja em grão calculadas neste projecto para o biodiesel de soja produzido em Portugal.

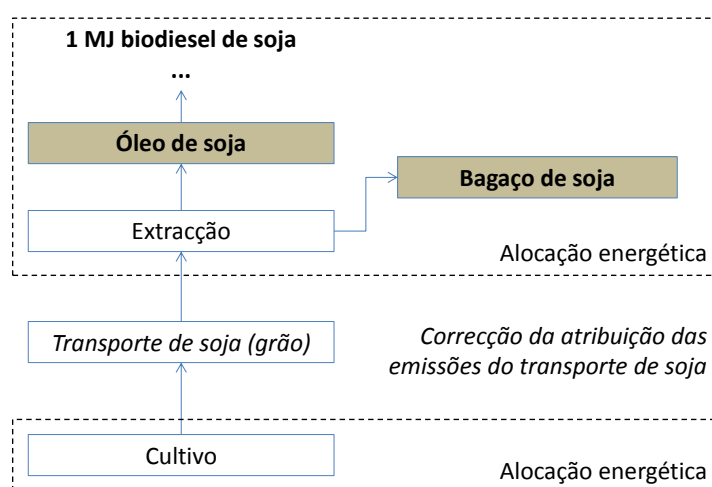
O crédito de emissões de GEE é calculado através da multiplicação entre o valor das emissões evitadas e a quantidade de soja em grão que é substituída por bagaço de soja (**Figura 2.3**), considerando o conteúdo proteico destes produtos apresentado na **Tabela 2.8**. O crédito obtido (53,4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ + 22,9 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) é no final subtraído às emissões totais (E<sub>B</sub>) de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja calculadas sem atribuição de emissões a co-produtos (excepto as emissões decorrentes da transesterificação, as quais, por simplicidade e tendo em conta a reduzida relevância da glicerina neste processo, são calculadas com base em alocação energética).

**Tabela 2.8** Características do bagaço e da soja em grão.

	Matéria seca (APPB)	Proteína, em % de matéria seca (Møller <i>et al.</i> , 2003)
<b>Bagaço de soja</b>	87,4%	49,1%
<b>Soja em grão</b>	89,9%	40,8%

### 2.3.3 Correção da atribuição das emissões do transporte de soja

Nesta investigação é também efectuado um cálculo do valor total das emissões de GEE do biodiesel corrigindo a atribuição das emissões devidas ao transporte de soja, pois o método da atribuição energética conduz a erros importantes na atribuição das emissões de transporte de soja ao biodiesel. A aplicação desta abordagem, apresentada na **Figura 2.4**, justifica-se pois se para as outras fases do ciclo de vida possa não ser evidente qual o método de alocação mais apropriado, para o transporte da soja há uma causalidade e proporcionalidade directa entre as emissões de GEE e a quantidade mássica transportada, o que não se verifica, de modo algum, para o teor energético dos co-produtos produzidos na extracção da soja transportada. Por este facto propõe-se uma correcção às consequências da utilização inapropriada do método da alocação energética no transporte através da utilização de um factor de ponderação mássica na atribuição das emissões do transporte de grãos de soja ao biodiesel.



**Figura 2.4** Método adoptado para o tratamento de co-produtos - correcção da atribuição das emissões do transporte de soja ao biodiesel.

### 3 Modelo e inventário de ciclo de vida do biodiesel de soja – Empresas APPB

Os cálculos e a análise das emissões de GEE do biodiesel de soja foram efectuados com base no estabelecimento de um modelo e inventário de ciclo de vida representativo para Portugal. Nesta secção apresenta-se em pormenor o modelo e o inventário de ciclo de vida de referência para o biodiesel de soja produzido em Portugal, o qual foi calculado com base nos modelos e inventários específicos de processos de extracção de óleo de soja da Iberol e da Sovena e de produção de biodiesel de soja e transporte de matérias-primas e subsidiárias da Iberol, da Prio, da Biovegetal, da Sovena e da Torrejana. Tal como referido na **Secção 2**, o cálculo das emissões de GEE associadas aos processos referidos foi efectuado com base em inventários, elaborados com base na resposta de todas as unidades industriais, a inquéritos à produção, complementados com visitas realizadas pela equipa de trabalho. De forma a simplificar a leitura e análise dos dados de inventário apresentados nesta secção, os consumos específicos de matérias-subsidiárias e energia são apresentados por unidade produzida (tonelada de produto) em cada fase do processamento. Adicionalmente, o inventário relativo às várias fases do processamento do biodiesel de soja em Portugal é comparado com inventários realizados no âmbito de projectos internacionais, denominados neste relatório por “Biograce-JEC” e “Ecoinvent”.

- O designado inventário “Biograce-JEC” é apresentado no **Anexo 2** e tem por base o inventário estabelecido pelo consórcio JEC (JRC, EUCAR e CONCAWE) (JEC, 2008b), o qual, em conjunto com resultados do projecto LBST (Ludwig Bölkow System Technik), foi utilizado no desenvolvimento do projecto Biograce (<http://www.biograce.net/>). De destacar ainda que os resultados dos estudos do consórcio JEC e da LBST foram utilizados pela Comunidade Europeia na preparação da Directiva 2009/28/CE de 23-04 (Biograce, 2011b). O inventário “Biograce-JEC” é apresentado em 2 formatos: **valores “típicos”** e **valores por “defeito”**. Os **valores típicos** representam valores de processo enquanto que os **valores por defeito** são calculados por base nos valores típicos adicionando-lhes uma margem de 40 %, que é justificada por se pretender que este valores reflectam valores mais conservadores (Comissão Europeia, 2010b). No entanto, esta margem de 40% não é aplicada ao cultivo (artigo 19º, ponto 2-4, da Directiva 2009/28/CE de 23-04) nem ao transporte e distribuição (artigo 19º, ponto 7, da Directiva 2009/28/CE de 23-04).
- O denominado inventário “Ecoinvent” é relativo a 2 processos de produção de biodiesel de soja, um nos Estados Unidos da América (EUA) e outro no Brasil, descritos no relatório “*Life Cycle Inventories of Bioenergy*” (Jungbluth *et al.*, 2007), e fazem parte da base de dados Ecoinvent v2.0, uma das mais prestigiadas e transparente base de dados de inventários de ciclo de vida. Os inventários dos 2 processos referidos são apresentados no **Anexo 2**, estando os dados referentes à extracção e à refinação e/ou pré-tratamento agregados (Jungbluth *et al.*, 2007).

## 3.1 Processamento da soja e produção de biodiesel em Portugal

### 3.1.1 Extracção de óleo bruto de soja

Os grãos de soja importados são recepcionados em Portugal pelas duas empresas extractoras de óleo de soja: Iberol e Sovena. Ambas as empresas utilizam a tecnologia de extracção química, na qual solvente (hexano) é utilizado para solubilizar os triglicerídeos e desta forma dissolver o óleo de soja. Esta tecnologia é mais eficiente que a extracção mecânica pois apresenta um rendimento de extracção de óleo mais elevado e tem necessidades energéticas inferiores. Neste projecto, calculou-se que, em média para Portugal, são necessários 5,1 kg de grão para a obtenção de 1 kg de óleo bruto.

Os grãos de soja recebidos nas unidades de extracção são sujeitos a uma pré-limpeza e ao descasque para separação das cascas. Após o descasque, os grãos sofrem um aquecimento, são sujeitos a uma trituração e laminação e procede-se em seguida à extracção através da utilização de solvente em contínuo. No extractor, o material sólido contacta com o solvente, libertando no final do processo a miscela (mistura óleo-hexano) e o bagaço de soja (sólidos extraídos), com teores de solvente ainda elevados. O bagaço de soja é encaminhado para uma operação de dessolventização-tostagem-secagem para retirar o solvente, receber um tratamento de calor e de humidade a fim de melhorar a sua qualidade nutricional, obtendo no final o bagaço de soja que é comercializado. A separação do solvente do óleo é efectuada através da destilação da miscela, por aquecimento da mistura. A etapa da destilação é iniciada pela evaporação do hexano, na qual este é vaporizado, concentrando assim a miscela em óleo destilado. A operação de destilação da miscela termina com a recuperação do hexano evaporado e o encaminhamento do óleo destilado para depósitos de óleo bruto. Neste projecto, calculou-se que, em média para Portugal, são necessários 27,9 g de óleo bruto para a produção de 1 MJ de biodiesel.

Em todas estas etapas, são utilizadas quantidades significativas de energia, sob a forma de electricidade e calor. O calor consumido é produzido em caldeiras a gás natural e fuelóleo e numa unidade de co-geração. As empresas têm sistemas energéticos distintos, sendo que apenas uma tem um sistema com co-geração. Deste modo, a electricidade consumida é proveniente da rede eléctrica nacional e de uma instalação de co-geração. Os consumos específicos médios de electricidade, calor e hexano na extracção do óleo de soja em Portugal são apresentados nas **Figuras 3.1 e 3.2**. São também apresentados nestas figuras os consumos de energia e químicos dos projectos Biograce-JEC e do Ecoinvent.

Os consumos de electricidade considerados pelo Biograce-JEC (típico) e pelo Ecoinvent são aproximadamente o dobro do valor obtido para Portugal. No que respeita ao consumo de calor, os valores do Biograce-JEC (típico) e do Ecoinvent são cerca de 60% superiores ao consumo médio em Portugal. Pela análise da **Figura 3.2**, verifica-se que o consumo de hexano para Portugal está no intervalo de consumos apresentado pelo Biograce-JEC e pelo Ecoinvent. Deve salientar-se que no Ecoinvent, os dados de inventário referentes à extracção incluem os dados respeitantes à refinação e/ou pré-tratamento do óleo bruto de soja. Provavelmente, por essa razão, o consumo de ácido fosfórico é considerado e os consumos de energia são significativamente mais elevados do que o consumo médio em Portugal.

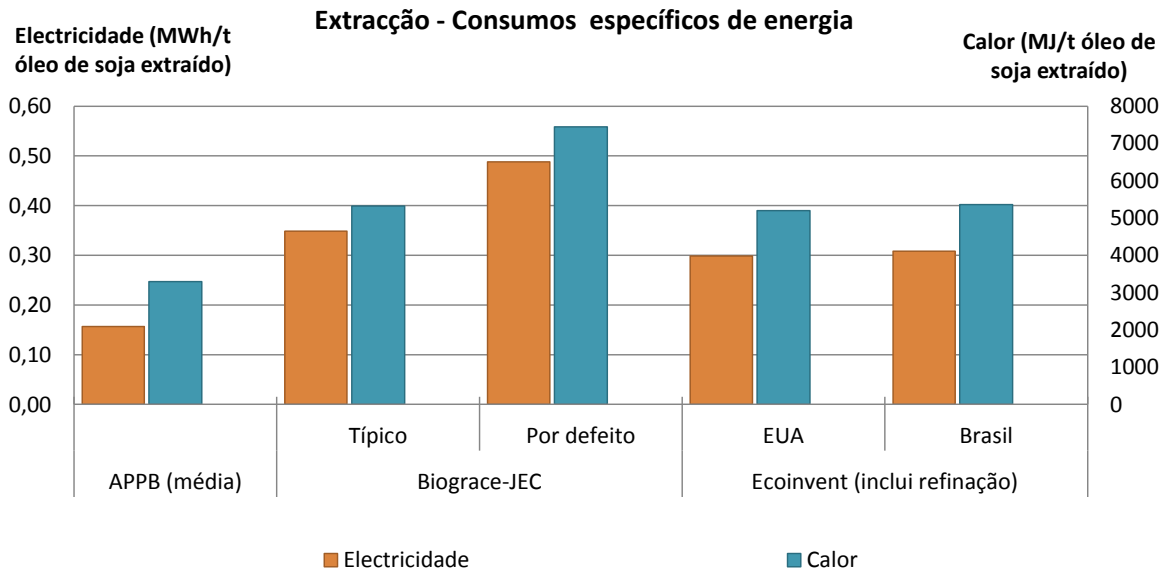


Figura 3.1 Consumo de energia na extracção de óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.

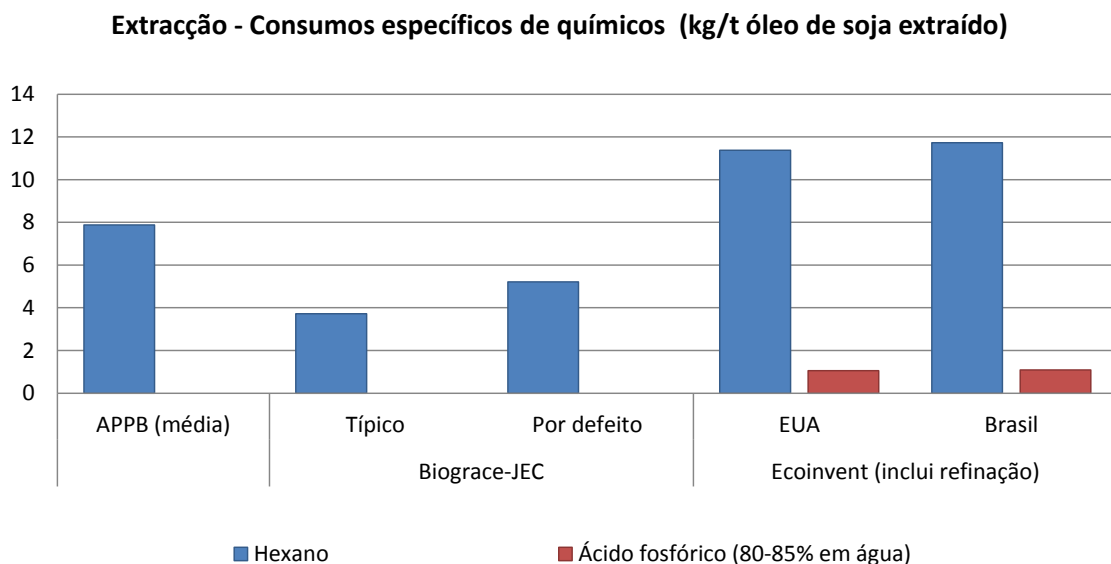


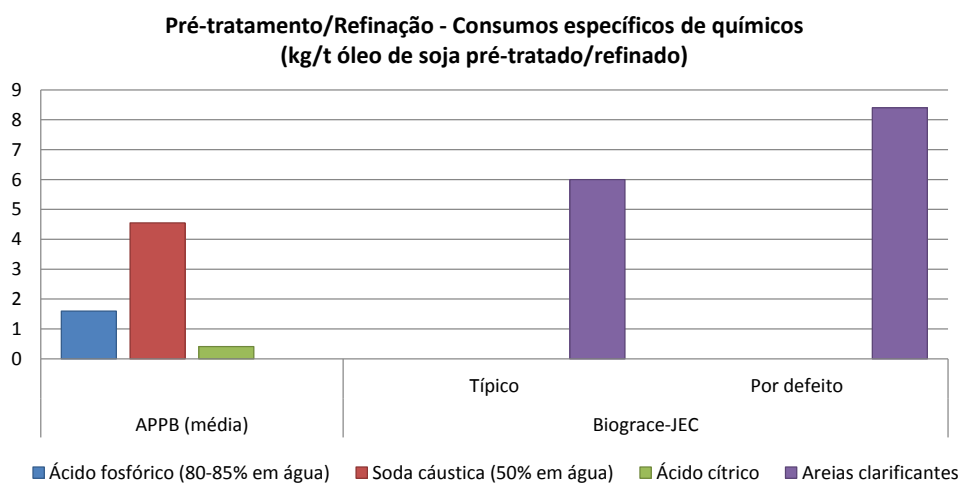
Figura 3.2 Consumos químicos na extracção de óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.

### 3.1.2 Refinação ou pré-tratamento de óleo bruto de soja

#### Desgomagem e neutralização

Inicialmente o óleo bruto é aquecido e seguidamente é adicionada uma solução de ácido fosfórico (80-85% em água), com o objectivo de hidratar os fosfatídeos não hidratáveis. Na **Figura 3.3** são apresentados os consumos específicos médios de produtos químicos no pré-tratamento/refinação do óleo bruto de soja e no Biograce-JEC. A quantidade de ácido fosfórico adicionado varia consoante o teor em fósforo do óleo cru, mas em média são consumidos cerca

de 1,6 kg por tonelada de óleo de soja pré-tratado/refinado. Na operação de neutralização, é adicionada soda cáustica ou hidróxido de sódio (50% em água), de forma a remover os fosfatídeos e os ácidos gordos livres na forma de massas de neutralização ou gomas (*soapstock*). As quantidades de hidróxido de sódio adicionadas variam em função do caudal e da acidez do óleo cru, sendo que são consumidos em média cerca de 4,6 kg por tonelada de óleo de soja pré-tratado/refinado. Em seguida, as massas de neutralização (*soapstock*), separadas por centrifugação do óleo neutro, são armazenadas para comercialização. Após a centrifugação persistem teores residuais em fósforo, sabões e excesso de hidróxido de sódio, pelo que se procede a uma lavagem final do óleo para a obtenção do óleo desgomado e neutralizado.



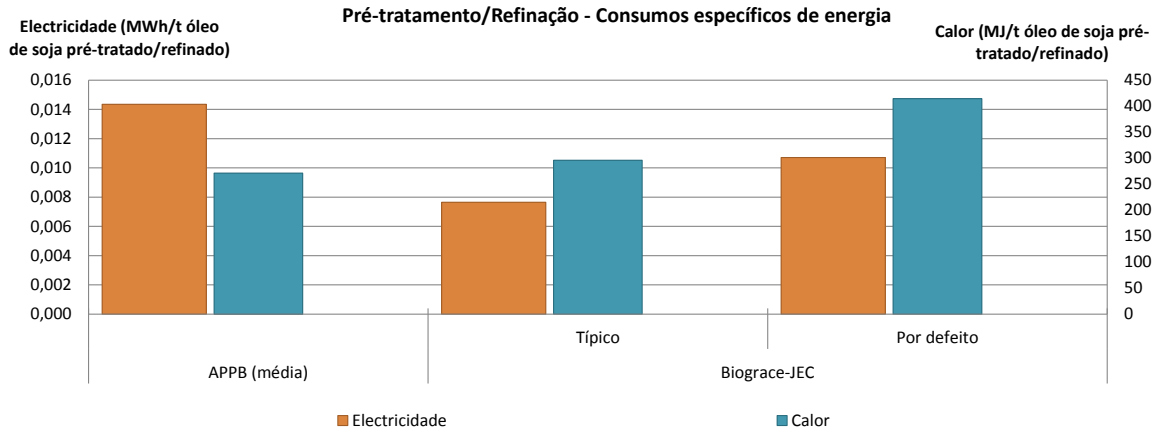
**Figura 3.3 Consumos de produtos químicos no pré-tratamento/refinação do óleo bruto de soja em Portugal e no Biograce-JEC.**

### **Branqueamento e desodorização**

O óleo lavado segue para a operação de branqueamento onde são adicionadas, apenas a uma parte do óleo, as terras de branqueamento ou areias clarificantes. Em seguida, a esta parte do óleo, é adicionado ácido cítrico para a eliminação de vestígios de sabões ainda presentes, tendo sido calculado um consumo de 0,4 kg de ácido por tonelada de óleo de soja pré-tratado/refinado. Esta parte do óleo é posteriormente misturada com o óleo restante e a mistura sujeita a um aquecimento e a uma filtração. O óleo branqueado é transferido para a operação de desodorização que tem como objectivo remover substâncias voláteis que conferem cheiro e sabor ao óleo, bem como alguns vestígios de diferentes compostos residuais (e.g. ácidos gordos livres). Esta separação tem como princípio básico a volatilização das substâncias a remover: a injeção de vapor no óleo gera turbulência e facilita a destilação dos compostos voláteis, como ácidos livres, gorduras voláteis oxidáveis e outros componentes. No final, o óleo desodorizado é imediatamente arrefecido e armazenado. Os destilados da desodorização são recolhidos num tanque para posterior comercialização.

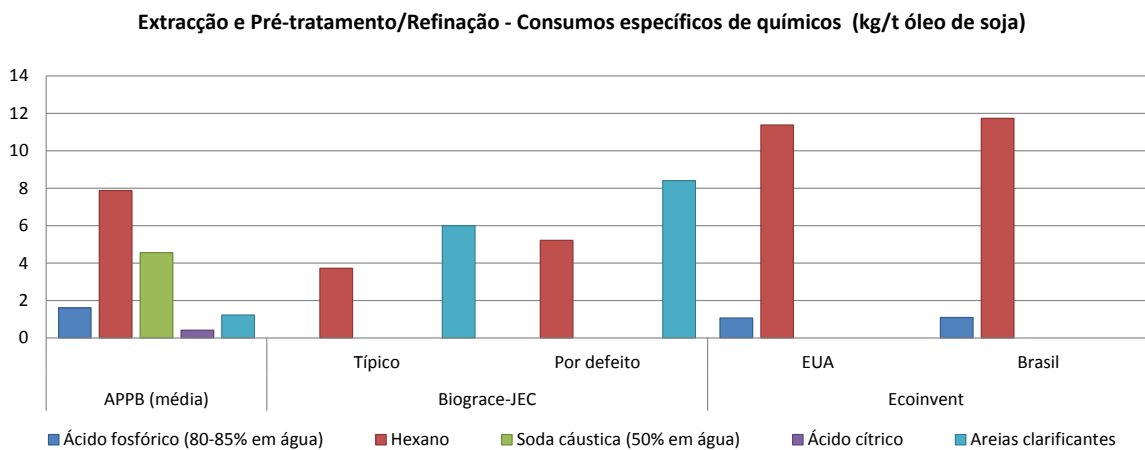
Na **Figura 3.3** são apresentados os consumos médios de produtos químicos utilizados no processo de pré-tratamento/refinação de óleo bruto de soja em Portugal, descrito anteriormente. O consumo de areias clarificantes não é apresentado para Portugal pois apenas

uma empresa procede ao branqueamento do óleo de soja. Por outro lado, o Biograce-JEC apenas indica consumos específicos para as areias clarificantes. Na **Figura 3.4** apresentam-se os consumos de energia no pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal e no Biograce-JEC.

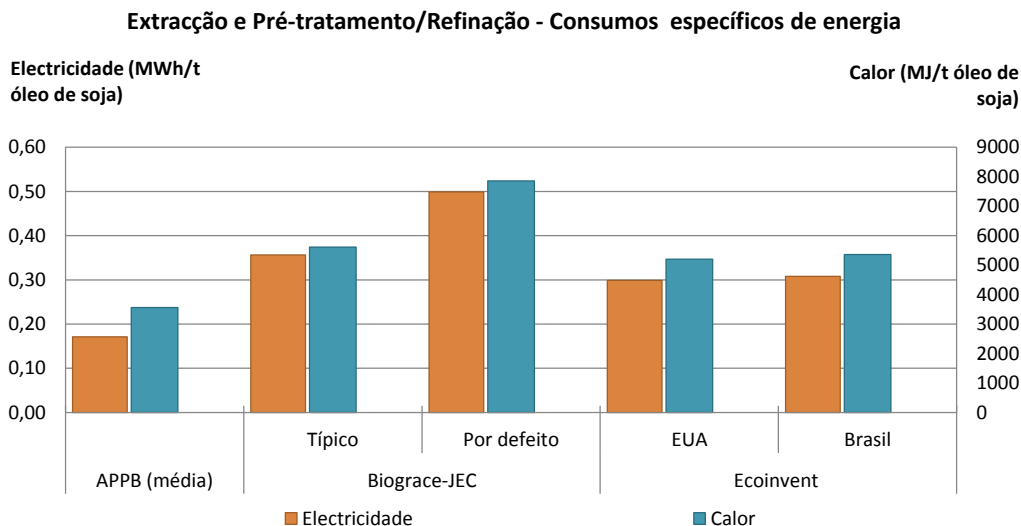


**Figura 3.4 Consumos de energia no pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal e no Biograce-JEC.**

As **Figuras 3.5** e **3.6** apresentam os consumos médios de produtos químicos e energia nos processos de extracção e pré-tratamento/refinação de óleo bruto de soja em Portugal e considerados no Biograce-JEC e Ecoinvent. Os dados de inventário dos 2 processos referidos (extracção + pré-tratamento/refinação) são apresentados nestas figuras de forma agregada de forma a poderem ser comparados com os dados de inventário considerados pelo Ecoinvent (que apresenta os dados agregados referentes à extracção e pré-tratamento/refinação).



**Figura 3.5 Consumos de produtos químicos na extracção e pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**



**Figura 3.6 Consumos de energia na extracção e pré-tratamento/refinação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**

### 3.1.3 Transesterificação de óleo de soja

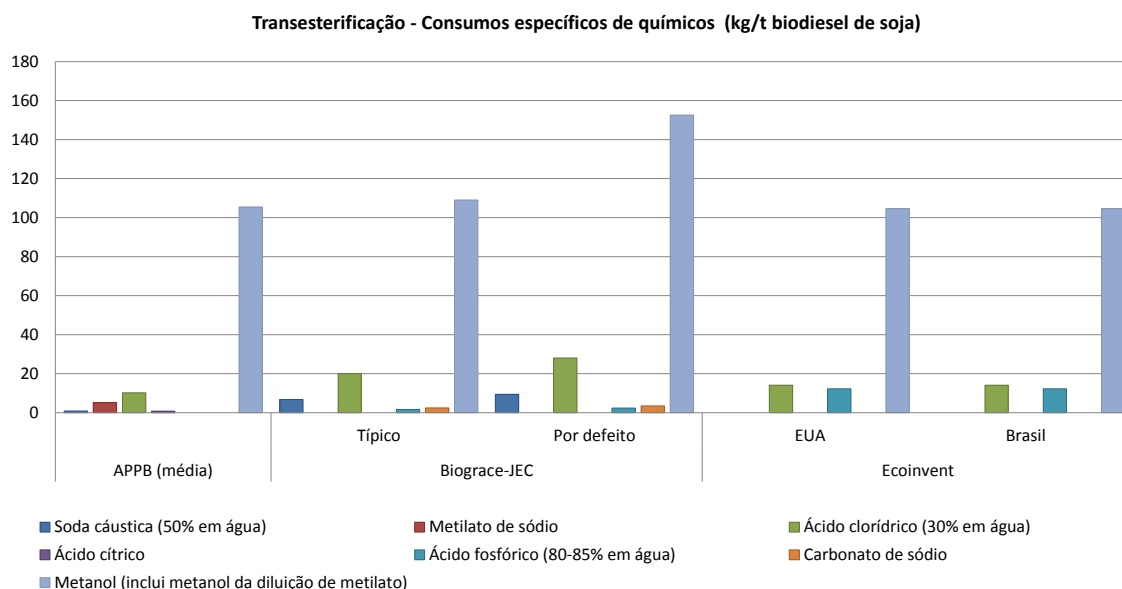
A reacção de transesterificação ocorre a aproximadamente a 60-70°C em condições normais de pressão. Ao óleo de soja refinado ou pré-tratado (desgomado e neutralizado) é adicionado metanol (agente transesterificante) em excesso (105,5 kg/tonelada biodiesel) na presença de um catalisador, o metilato de sódio (5,2 kg/tonelada biodiesel). O agente transesterificante utilizado em Portugal é o metanol devido às suas vantagens físicas e químicas (polaridade, álcool de cadeia mais curta, reage rapidamente com o triacilglicerídeo e dissolve facilmente o catalisador básico). Depois da reacção obtém-se uma mistura de éster metílico de ácidos gordos e glicerina.

A separação da glicerina produzida durante a reacção de transesterificação é efectuada através de um processo de separação de fases: fase leve (biodiesel) e pesada (água, glicerina, metanol, ácidos gordos e vestígios de biodiesel). O biodiesel é posteriormente lavado com água acidificada com ácido cítrico e posteriormente separado, tendo sido calculado o consumo médio de 0,8 kg ácido cítrico por tonelada de biodiesel. O biodiesel sai ainda com algum glicerol (que não saiu na separação) e é lavado com água, retirando-se a maior parte do glicerol livre e metanol. De modo a retirar os vestígios de água e metanol que ficam no biodiesel, este é ainda sujeito a uma secagem. Após a secagem, o biodiesel é armazenado, analisado antes de ser expedido para comercialização. Neste projecto, calculou-se que, em média para Portugal, são necessários 27,02 g de óleo pré-tratado/refinado para a produção de 1 MJ de biodiesel (1,005 kg de óleo por kg de biodiesel, sendo o PCI do biodiesel 37,2 MJ/kg).

Os ácidos gordos são separados da fase pesada (água, glicerina, metanol, ácidos gordos e vestígios de biodiesel) através de um ajuste do pH da mistura com ácido clorídrico 30% em água, tendo sido calculado o consumo médio de 10,2 kg de ácido clorídrico por tonelada biodiesel. Estes ácidos gordos são purificados e armazenados para venda. Os vapores de água e metanol

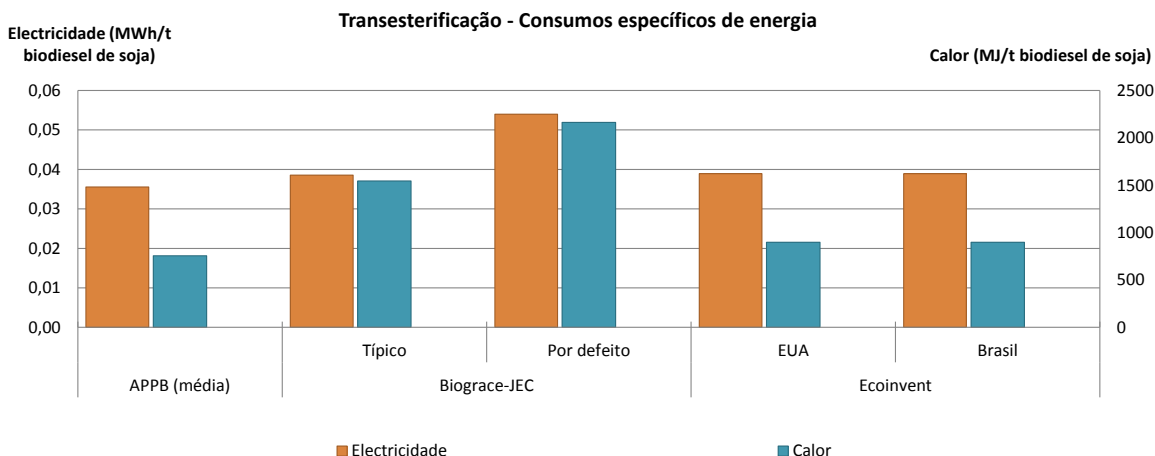
resultantes desta operação são condensados e neutralizados com soda cáustica (0,9 kg/tonelada biodiesel), 50% em água, sendo que o metanol da mistura recuperado é reincorporado no processo de transesterificação. Após a evaporação da água de glicerina esta é armazenada para expedição e comercialização.

Os consumos específicos de produtos químicos na transesterificação do óleo de soja em Portugal são apresentados na **Figura 3.7**, sendo comparados com os consumos apresentados no Biograce-JEC e no Ecoinvent. Pela análise da **Figura 3.7** verifica-se que o consumo de hidróxido de sódio (soda cáustica) em Portugal é bastante inferior aos valores do Biograce-JEC. No Biograce-JEC e Ecoinvent não são apresentados consumos de metilato de sódio e ácido cítrico, sendo descritos consumos de ácido fosfórico e carbonato de sódio, que não se verificam para Portugal. Relativamente ao consumo de metanol, verifica-se que o valor médio em Portugal é muito semelhante aos valores do Biograce-JEC (típico) e do Ecoinvent. Em relação ao consumo de ácido clorídrico, Portugal apresenta valores inferiores aos do Biograce-JEC e Ecoinvent.



**Figura 3.7 Consumo de produtos químicos na transesterificação em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**

Em termos de consumos de energia, considerou-se que o vapor consumido em Portugal é produzido num “mix” que inclui caldeiras a gás natural e fuelóleo assim como numa unidade de co-geração. De modo análogo, a electricidade consumida é proveniente da rede eléctrica nacional e de uma instalação de co-geração. Os consumos específicos médios de electricidade e calor na transesterificação do óleo de soja em Portugal são apresentados na **Figura 3.8** e comparados com os valores do Biograce-JEC e do Ecoinvent. Os consumos de electricidade em Portugal são muito idênticos aos valores considerados pelo Biograce-JEC (típico) e pelo Ecoinvent. Por outro lado, o consumo de energia térmica (calor) é significativamente inferior em Portugal. O Biograce-JEC apresenta um consumo de vapor de aproximadamente o dobro do consumo de Portugal e o Ecoinvent cerca de 19% superior.



**Figura 3.8 Consumos específicos médios de energia na transesterificação do óleo de soja em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**

## 3.2 Transporte e distribuição

As emissões de GEE associadas ao transporte e distribuição ( $e_{td}$ ) incluem as emissões provenientes do transporte de matérias-primas e subsidiárias e da distribuição de materiais acabados. O cálculo das  $e_{td}$  baseia-se nas emissões de GEE específicas de cada tipo de transporte (**Anexo 1**), em g CO<sub>2</sub>eq por tkm (toneladas x quilómetro), e em informações enviadas pelas empresas APPB em resposta ao inquérito realizado, nomeadamente:

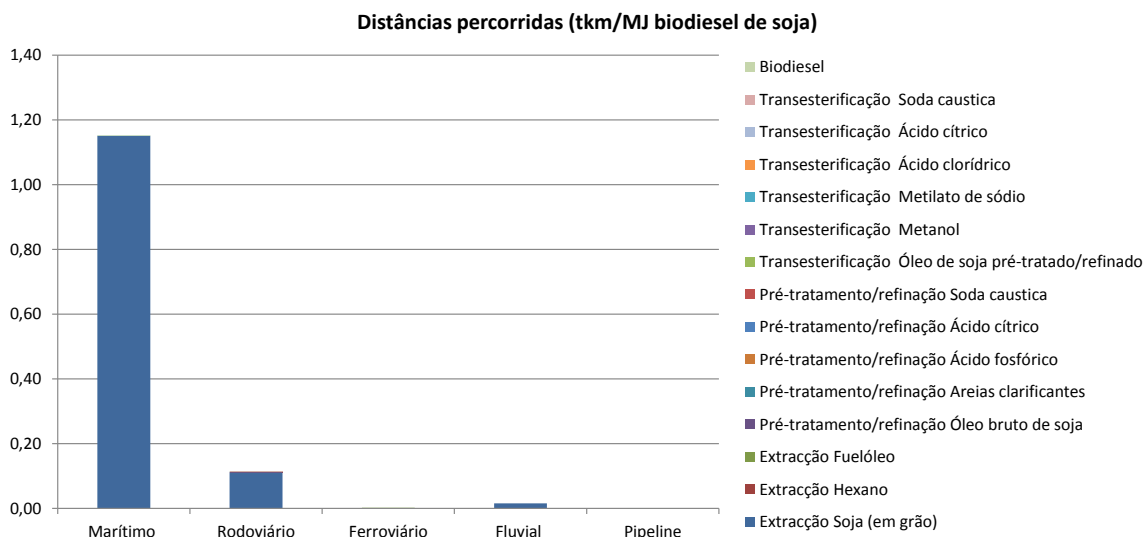
- o tipo de transporte utilizado;
- o consumo/produção específica(o) do material transportado (t/MJ): soja em grão, óleo bruto e pré-tratado/refinado de soja, biodiesel e matérias subsidiárias (ver **subsecção 3.1**);
- as distâncias médias percorridas (km).

A **Tabela 3.1** apresenta o tipo de transporte utilizado, bem como as distâncias médias percorridas no transporte de soja em grão, óleo bruto de soja, matérias subsidiárias (produtos químicos) e biodiesel, calculadas com base nos inventários específicos de cada empresa. O transporte de óleo de soja pré-tratado/refinado para a unidade de transesterificação é contabilizado embora não seja apresentado na **Tabela 3.1** por ser exclusivo de uma empresa. Na **Figura 3.9** apresentam-se as distâncias médias percorridas no transporte de matérias-primas e subsidiárias da cadeia de produção de biodiesel de soja, bem como da sua distribuição, em tkm por MJ de biodiesel de soja.

**Tabela 3.1. Distâncias médias adoptadas para o transporte de matérias-primas e subsidiárias utilizadas em cada fase do processamento e distribuição do produto acabado (biodiesel de soja).**

		Distância média percorrida (km)					TOTAL
		Marítimo (Navio de carga transoceânico)	Rodoviário (Camião > 16t)	Ferroviário	Fluvial (batelão)	Pipeline	
<b>Extracção</b>	<i>Soja em grão<sup>3</sup></i>	8023	816	285	322	-	<b>9447</b>
	<i>Hexano</i>	-	271	-	-	-	<b>271</b>
<b>Pré-tratamento/refinação</b>	<i>Óleo bruto de soja</i>	-	95	89	-	-	<b>184</b>
	<i>Areias clarificantes</i>	-	80	-	-	-	<b>80</b>
	<i>Ácido fosfórico</i>	-	364	-	-	-	<b>364</b>
	<i>Ácido cítrico</i>	-	46	-	-	-	<b>46</b>
	<i>Soda cáustica</i>	-	38	-	-	-	<b>38</b>
<b>Transesterificação</b>	<i>Óleo de soja pré-tratado/refinado</i>	-	-	-	-	-	<b>-</b>
	<i>Metanol</i>	-	182	-	-	-	<b>182</b>
	<i>Metilato de sódio</i>	1553	717	-	-	-	<b>2270</b>
	<i>Ácido clorídrico</i>	-	61	-	-	-	<b>61</b>
	<i>Ácido cítrico</i>	-	101	-	-	-	<b>101</b>
	<i>Soda cáustica</i>	-	40	-	-	-	<b>40</b>
<b>Distribuição</b>	<i>Biodiesel de soja</i>	60	117	135	-	18	<b>330</b>
<b>TOTAL</b>		<b>9637</b>	<b>2965</b>	<b>224</b>	<b>322</b>	<b>18</b>	<b>13414</b>

<sup>3</sup> 100% da soja em grão é transportada por via marítima. No que respeita ao transporte de soja entre as plantações e os portos de exportação considera-se que 70% é realizado por via rodoviária, 19% por via ferroviária e 11% por via fluvial.



**Figura 3.9 Transporte dos produtos e matérias subsidiárias da cadeia de produção de biodiesel de soja em Portugal (tkm/MJ).**

No que respeita ao transporte dos grãos de soja, a distância percorrida considerada neste estudo resulta da distância média ponderada das diversas proveniências, de acordo com as respostas dadas no inquérito pelas empresas Iberol e Sovena e ponderado pela percentagem de soja (em grão) proveniente de cada origem. Na **Tabela 3.2** são apresentadas as distâncias médias adoptadas para o transporte de soja em grão desde a plantação até aos portos de exportação.

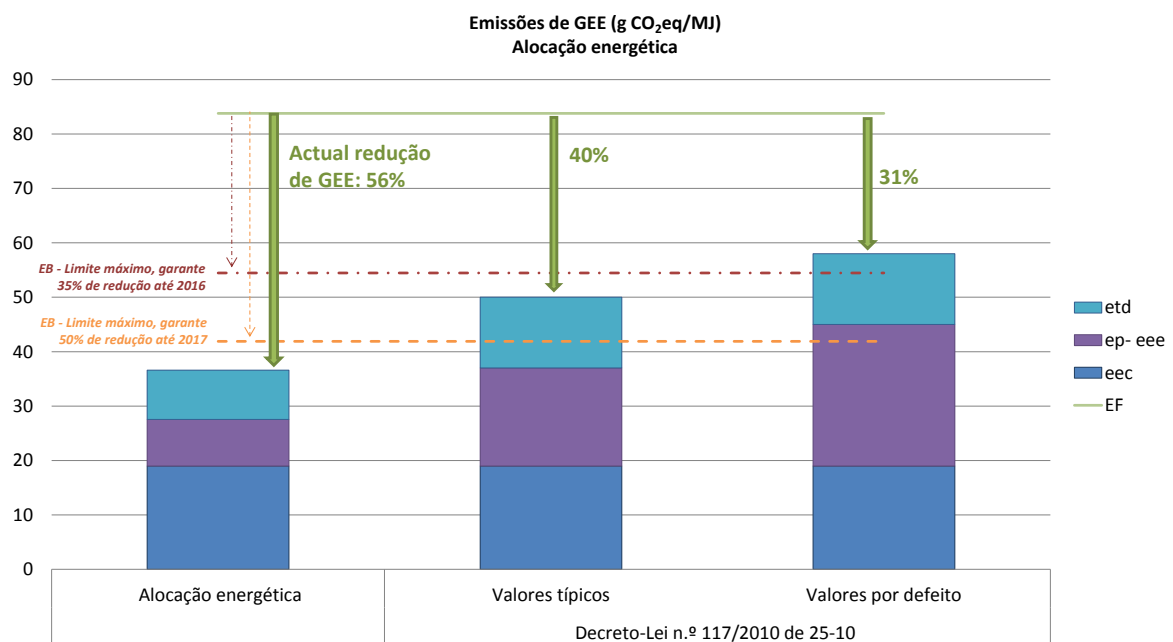
**Tabela 3.2. Transporte de soja em grão desde a plantação até aos portos.**

Origem	Porto de exportação	Tipo de transporte	Distância média percorrida (km)	Comentários
Brasil	Brasil	Rodoviário	850	Distância média adoptada de acordo com as principais regiões produtoras de soja no Brasil e os seus principais portos. A base de dados Ecoinvent considera que o biodiesel de soja brasileiro que é exportado para a Europa percorre 650 km entre a fábrica e o porto.
Paraguai	Uruguai	Fluvial	1050	Distância média adoptada para o transporte da soja em grão produzida no Paraguai (Assuncion) até ao porto de exportação no Uruguai (Nueva Palmira), através da Hidrovia Paraguai-Paraná.
Canadá	Canadá	Rodoviário	485	Distância média Toronto - Quebec e Montreal – Quebec, sendo no Quebec o porto de exportação.
EUA	EUA	Ferroviário	1500	Adopta-se a distância média considerada pela base de dados Ecoinvent. O Ecoinvent considera que o biodiesel de soja produzido nos EUA que é exportado para a Europa percorre 1400 km por via ferroviária e 100 km em via rodoviária, entre a unidade de processamento e o porto de exportação (Nova Orleães).
Argentina	Argentina	Rodoviário	395	Distância média entre Buenos Aires (porto de exportação) e várias cidades das regiões de Buenos Aires, Cordoba e Santa Fé (principais regiões produtoras de soja).

## 4 Resultados: Emissões de GEE de biodiesel de soja em Portugal

### 4.1 Redução de emissões de GEE do biodiesel

Na Figura 4.1 são apresentadas as emissões de GEE do Biodiesel de Soja com base no cálculo de “valores reais” de processamento e transporte de referência para Portugal ( $E_B = 36,6 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$ ) e a redução das emissões de GEE relativamente ao combustível de referência ( $E_F$ ), a qual foi quantificada em 56%. Estes valores são comparados na Figura 4.1 com as emissões e reduções (típicas e por defeito) apresentadas no supracitado Decreto-Lei. As emissões de GEE consideradas incluem as emissões decorrentes do cultivo da soja ( $e_{ec}$ ), do processamento (extracção, pré-tratamento/refinação e transesterificação), incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$ ) e do transporte da soja, do óleo e biodiesel e matérias subsidiárias ( $e_{td}$ ). Os cálculos foram efectuados de acordo com as regras de cálculo de “valores reais” das emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biodiesel de soja com base nos inventários e nos cálculos das emissões de GEE específicas de cada empresa ( $e_p-e_{ee}$  e  $e_{td}$ ) em Portugal. Os valores específicos de cada empresa foram utilizados para quantificar valores médios de referência para Portugal associados às diversas fases do ciclo de vida do biodiesel de soja.



**Figura 4.1 Emissões de GEE do Biodiesel de Soja com base no cálculo de “valores reais” de processamento e transporte de referência para Portugal.**

Analisando a **Figura 4.1** no que respeita à contribuição de cada uma das fases do ciclo de vida para as emissões totais de GEE do biodiesel de soja ( $E_B = 36,6 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$ ), verifica-se que em Portugal as emissões decorrentes do processamento ( $e_p-e_{ee}$ ) e do transporte ( $e_{td}$ ) representam cerca de 23% (8,6 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) e 25% (9,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) do total das emissões ( $E_B$ ).

Caso fossem adoptados valores de  $e_p-e_{ee}$  por defeito do Diploma Legal, esta fase do ciclo de vida representaria 45% das emissões totais. Note-se que os valores por defeito são cerca de 3 vezes superiores aos “valores reais” de  $e_p-e_{ee}$  calculados para Portugal e os “valores típicos” cerca de 2 vezes. Deve salientar-se ainda que as emissões decorrentes do cultivo ( $e_{ec}$ ), obtidas directamente do diploma legal (19 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de biodiesel de soja), representam cerca de 52% das emissões totais médias para Portugal. Os resultados das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja e da redução das emissões de GEE considerando diversos cenários alternativos de AUS são apresentados na **secção 6**.

A redução de emissões de GEE decorrente da utilização de biodiesel de soja produzido em Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência é de cerca de 56%, valor superior às reduções típicas (40%) e por defeito (31%) referidas no Diploma Legal. Deste modo, a redução mínima de 35% de emissões de GEE totais do biodiesel de soja (a que corresponde um máximo de 54,5 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de emissões) em comparação com o combustível de referência é garantida até ao final de 2016 assim como, depois de 1 de Janeiro de 2017, em que passa a ser exigida uma redução mínima de 50% das emissões de GEE (máximo de 41,9 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de emissões).

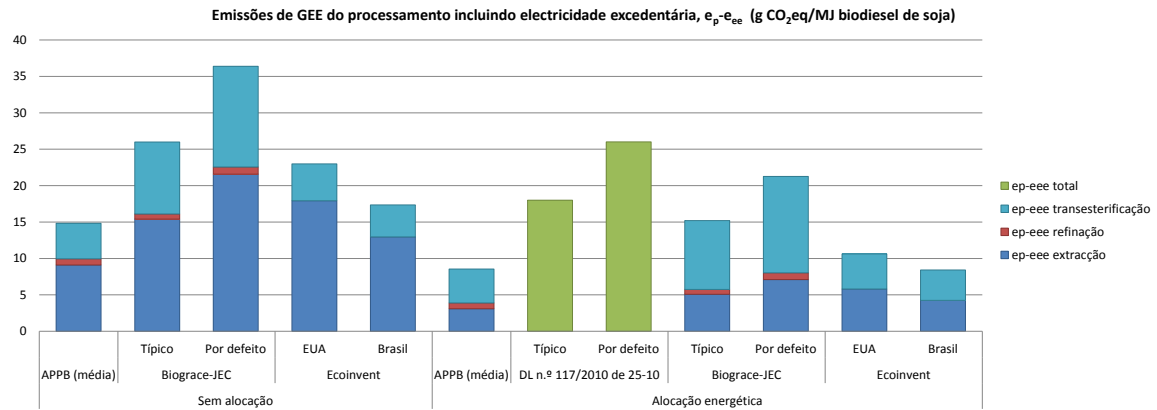
Na subsecção seguinte são apresentadas em pormenor as emissões médias de referência para Portugal associadas às diferentes fases do processamento, incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$ ), e ao transporte ( $e_{td}$ ), considerando alocação energética entre co-produtos, conforme estabelecido no diploma legal.

## 4.2 Emissões do processamento, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$

Na **Figura 4.2** são apresentadas as emissões reais de GEE decorrentes das diferentes fases do processamento do biodiesel de soja, incluindo a electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$ ), calculadas com base nos inventários de referência para Portugal (APPB média) na **Secção 3**. A Figura 4.2 apresenta valores com e sem alocação energética de modo a evidenciar o efeito da alocação nas emissões calculadas para as diversas fases do processamento. São ainda apresentadas, a título comparativo, as emissões calculadas com base nos inventários Biograce-JEC e Ecoinvent.

A análise da **Figura 4.2** para emissões sem alocação permite identificar que as emissões da extracção ( $e_p-e_{ee}$  **extracção**) são as que mais contribuem (61%) para as  $e_p-e_{ee}$  **totais**. Porém, considerando emissões com alocação energética, verifica-se que as emissões da transesterificação ( $e_p-e_{ee}$  **transesterificação**) representam 54% das  $e_p-e_{ee}$  **totais**, enquanto que as da **extracção** ( $e_p-e_{ee}$  **extracção**) representam apenas 36%. As emissões da refinação ou pré-tratamento ( $e_p-e_{ee}$  **refinação**) representam apenas 6% e 9% do **total**  $e_p-e_{ee}$ , sem e com alocação energética, respectivamente. Este efeito -- a diferença entre emissões, com e sem alocação energética, para as diversas fases do processamento --, que ocorre também nos apresentados do Biograce-JEC e Ecoinvent, deve-se ao facto de, na extracção, 65% das emissões serem alocadas ao bagaço de soja e apenas 35% ao óleo bruto. É de referir que embora na extracção, o

bagaço de soja represente cerca de 80% da produção total em termos mássicos, como o bagaço de soja tem um PCI bastante inferior ao óleo bruto de soja (ver **secção 2.4**), a alocação energética aumenta consideravelmente as emissões atribuídas ao biodiesel de soja, relativamente a uma alocação mássica, o que será analisado e discutido em detalhe na **secção 5** deste relatório.



**Figura 4.2 Emissões de GEE (por fase do processamento do biodiesel) em Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**

Comparando os valores reais de  $e_p-e_{ee}$ , calculados para Portugal e os apresentados pelo Biograce-JEC, verifica-se que existem diferenças significativas. Os valores  $e_p-e_{ee}$  para Portugal, calculados após alocação energética, são de 8,6 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, enquanto que as emissões típicas e por defeito calculadas com base no inventário Biograce-JEC são de 15,2 e 21,3 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, ou seja, mais do dobro das emissões calculadas para Portugal. Esta variação deve-se fundamentalmente às emissões calculadas na extracção ( $e_p-e_{ee}$  **extracção**) e na transesterificação ( $e_p-e_{ee}$  **transesterificação**), que em Portugal são cerca de 3,1 e 4,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ respectivamente, enquanto que os valores por defeito calculados segundo o inventário Biograce-JEC apresentam 7,1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ na extracção e 13,2 g CO<sub>2</sub>eq/MJ na transesterificação. As principais razões que explicam estas diferenças são:

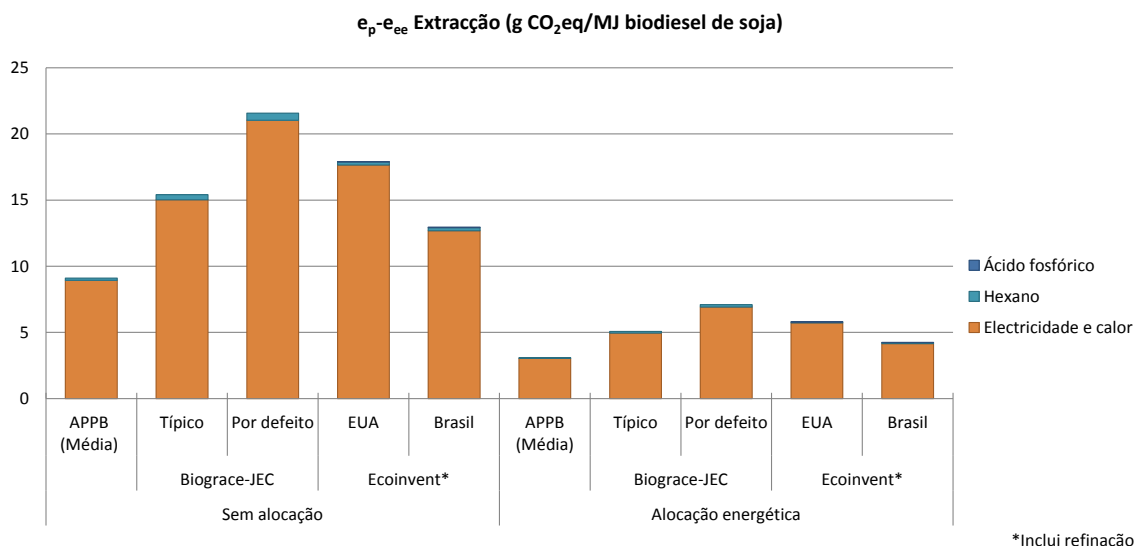
- i) os elevados consumos de energia (electricidade e vapor) considerados pelo Biograce-JEC na extracção e transesterificação (ver **Secção 3**) e
- ii) os factores de emissão relativos à produção de químicos utilizados pelo Biograce-JEC, que são mais elevados do que os valores utilizados neste estudo, os quais são com baseados no Ecoinvent (ambos apresentados no **Anexo 1**).

Pelo contrário, as emissões  $e_p-e_{ee}$  calculadas com base no inventário Ecoinvent são bastante próximas das  $e_p-e_{ee}$  para Portugal: 10,6 e 8,4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ nos Estados Unidos da América e Brasil, respectivamente.

Mais pormenores sobre as razões que explicam as diferenças apresentadas, relativamente às emissões de cada uma das fases do processamento calculadas para Portugal e calculadas com base nos inventários Biograce-JEC e Ecoinvent, são discutidas nas subsecções seguintes.

#### 4.2.1 Emissões da extracção, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ extracção

A **Figura 4.3** apresenta as emissões reais, com e sem alocação energética, decorrentes da extracção de óleo bruto de soja em Portugal, incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$  **extracção**). As emissões da extracção com alocação energética são 3,1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ do que as emissões típicas e por defeito calculadas pelo Biograce-JEC e menos 2,7 e 4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ das emissões calculadas pelo Ecoinvent para os EUA e Brasil, respectivamente. No que respeita à comparação com os valores do Biograce-JEC, estas diferenças prendem-se com o facto do consumo médio de electricidade e calor ser inferior em Portugal. De facto, o consumo médio de electricidade em Portugal é cerca de metade do valor típico do Biograce-JEC (e um terço do valor por defeito), enquanto que o consumo médio de calor é cerca de metade do valor por defeito do Biograce-JEC. No caso da comparação entre as  $e_p-e_{ee}$  **extracção** em Portugal e no Ecoinvent deve salientar-se que a diferença se deve essencialmente ao facto das emissões do pré-tratamento/refinação ( $e_p-e_{ee}$  **refinação**) no Ecoinvent estarem agregadas à **extracção** ( $e_p-e_{ee}$  **extracção**).

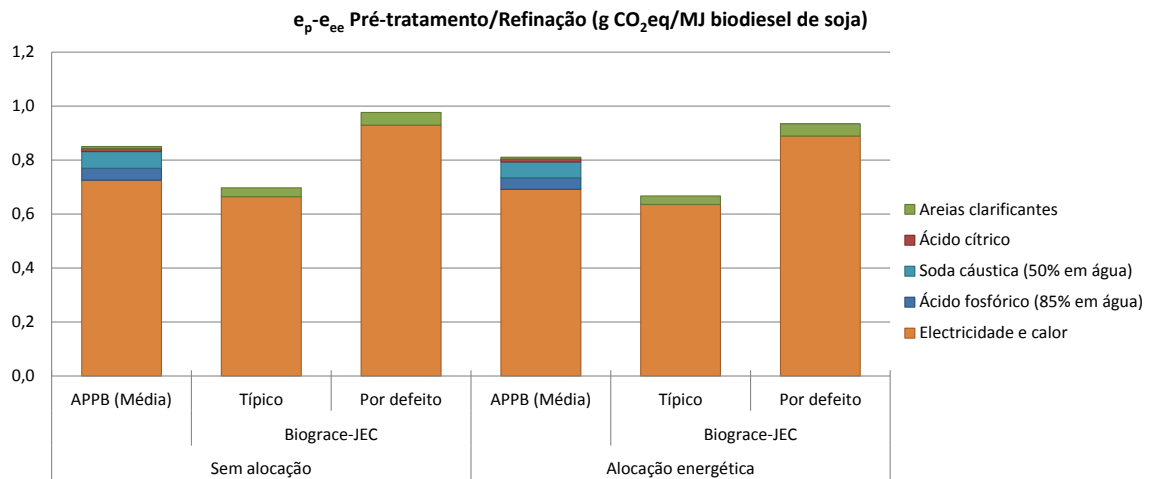


**Figura 4.3 Emissões de GEE: processo de extracção de óleo de soja, calculadas para Portugal, Biograce-JEC e Ecoinvent.**

As emissões devido à produção de electricidade e calor contribuem mais de 97% para o total das emissões  $e_p-e_{ee}$  **extracção**, tanto nos valores calculados para Portugal como nos resultados do Biograce-JEC e Ecoinvent (**Figura 4.3**). Embora as emissões relativas à produção de hexano representem apenas 1-3% das  $e_p-e_{ee}$  **extracção**, tanto em Portugal como no Biograce-JEC e Ecoinvent, é de salientar que os consumos de hexano são muito inferiores no Biograce-JEC. No entanto, como o factor de emissão considerado (3,6 kg CO<sub>2</sub>eq/kg hexano) é bastante superior ao valor considerado neste estudo (1,6 kg CO<sub>2</sub>eq/kg hexano) essa diferença não se reflecte nas emissões.

#### 4.2.2 Emissões do pré-tratamento/refinação, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ refinação

As emissões reais, com e sem alocação energética, do pré-tratamento/refinação, incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$  refinação) calculadas para Portugal são apresentadas na **Figura 4.4**. Apresentam-se também nesta figura os valores das emissões típicas e por defeito segundo o Biograce-JEC. As emissões calculadas para Portugal (0,81 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) estão no intervalo dos valores típicos e por defeito apresentados pelo Biograce-JEC (0,67 e 0,93 g CO<sub>2</sub>eq/MJ). As emissões decorrentes da produção de electricidade e calor contribuem entre 85 a 95% para as emissões do pré-tratamento-refinação ( $e_p-e_{ee}$  refinação). Ao contrário do que acontece na extracção, e tal como já foi referido, o efeito da alocação nas  $e_p-e_{ee}$  refinação é pouco significativo.

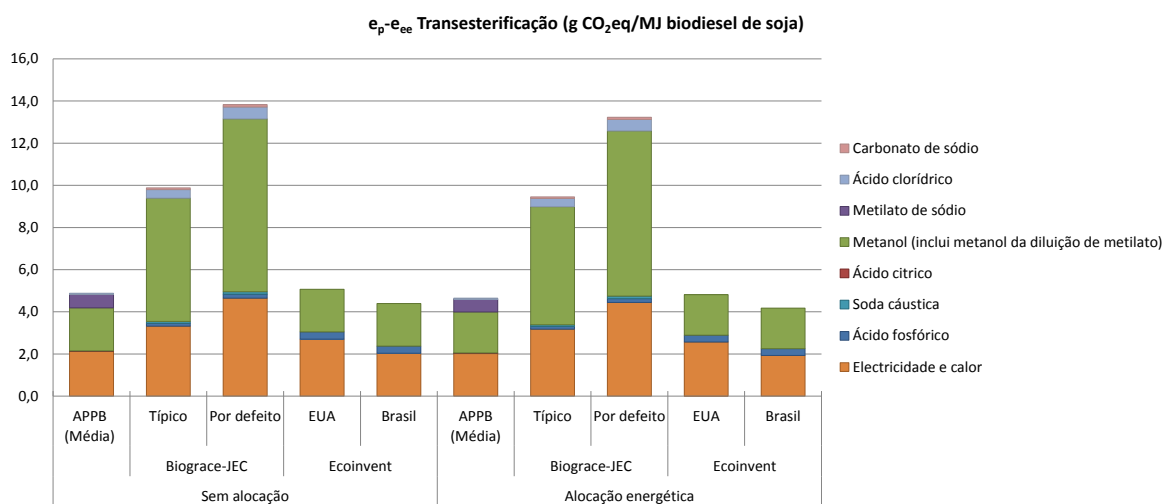


**Figura 4.4** Emissões de GEE\_ pré-tratamento/refinação de óleo bruto de soja em Portugal, no Biograce-JEC.

Em Portugal, as emissões decorrentes da utilização de produtos químicos são devidas essencialmente ao consumo de soda cáustica (7%) e ácido fosfórico (5%). As emissões devido ao consumo de ácido cítrico e areias clarificantes representam em conjunto menos de 2,5% das  $e_p-e_{ee}$  refinação. Por sua vez, o Biograce-JEC apenas considera o consumo de areias clarificantes (idêntico ao consumo em Portugal), e as emissões decorrentes da sua produção representam cerca de 5% do total de  $e_p-e_{ee}$  refinação.

### 4.2.3 Emissões da transesterificação, incluindo electricidade excedentária: $e_p-e_{ee}$ transesterificação

As emissões reais, com e sem alocação energética, decorrentes da transesterificação, incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$  transesterificação) em Portugal equivalem a 4,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ e são apresentadas de forma discriminada na **Figura 4.5**. Os valores típicos e por defeito apresentados pelo Biograce-JEC (9,5-13,2 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) e o valor das emissões calculadas com base nos inventários disponíveis no Ecoinvent (4,2-4,8 g CO<sub>2</sub>eq/MJ) são também apresentados na figura. Verifica-se que, tal como acontece com a pré-tratamento/refinação, a alocação não afecta de forma significativa os resultados.



**Figura 4.5 Emissões médias de GEE decorrentes da transesterificação, incluindo electricidade excedentária ( $e_p-e_{ee}$  transesterificação) em Portugal – comparação com os valores do Biograce-JEC e Ecoinvent.**

As  $e_p-e_{ee}$  transesterificação médias obtidas para Portugal são idênticas às emissões obtidas com base nos inventários do Ecoinvent (EUA e Brasil). Pelo contrário, os valores típicos e por defeito apresentados pelo Biograce-JEC são significativamente superiores aos valores obtidos para Portugal. Existem três razões que podem justificar este facto:

- i) os consumos de electricidade e calor considerados no Biograce-JEC são bastante superiores comparativamente aos consumos em Portugal;
- ii) o factor de emissão utilizado no Biograce-JEC para o cálculo das emissões relativas ao consumo de metanol é aproximadamente o triplo do valor utilizado neste estudo (Anexo 1) e;
- iii) tal como acontece no Ecoinvent, as emissões associadas ao consumo de metilato de sódio não são incluídas.

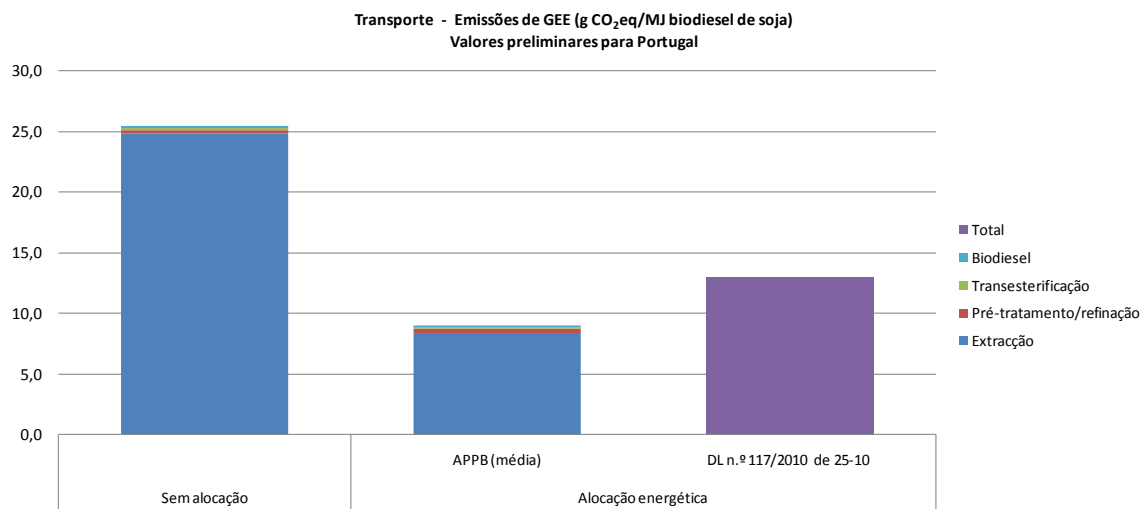
As emissões associadas aos consumos de metanol e de electricidade e calor representam cerca de 42% e 43% das  $e_p-e_{ee}$  transesterificação médias obtidas para Portugal, respectivamente. No Biograce-JEC e no Ecoinvent as emissões relativas ao consumo de metanol representam entre 40

a 56% dos valores de emissões totais apresentados, sendo que as emissões associadas ao consumo de energia são cerca de 34-53% das emissões totais.

### 4.3 Emissões decorrentes do transporte e distribuição: $e_{td}$

As emissões de GEE associadas ao transporte e distribuição ( $e_{td}$ ) incluem as emissões provenientes do transporte de matérias-primas (soja em grão, óleo bruto e pré-tratado/refinado de soja) e subsidiárias (produtos químicos) e da distribuição de materiais acabados (biodiesel). Destacam-se as emissões do transporte do grão de soja, que representam cerca de 93% das emissões totais associadas ao transporte e distribuição

Na **Figura 4.6** são apresentadas as  $e_{td}$ , 9 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, incluindo as emissões referentes à distribuição do biodiesel de soja e as emissões do transporte em cada fase do processamento: extracção (transporte de soja em grão e hexano), pré-tratamento/refinação (transporte de óleo bruto de soja, areias clarificantes, soda cáustica e ácido fosfórico e cítrico) e transesterificação (transporte de óleo pré-tratado/refinado de soja, metanol, metilato de sódio, soda cáustica e ácido clorídrico e cítrico). O Decreto-lei n.º 117/2010 de 25-10 considera que as  $e_{td}$  (valor típico e por defeito) de ciclo de vida do biodiesel de soja são de 13 g CO<sub>2</sub>eq/MJ.

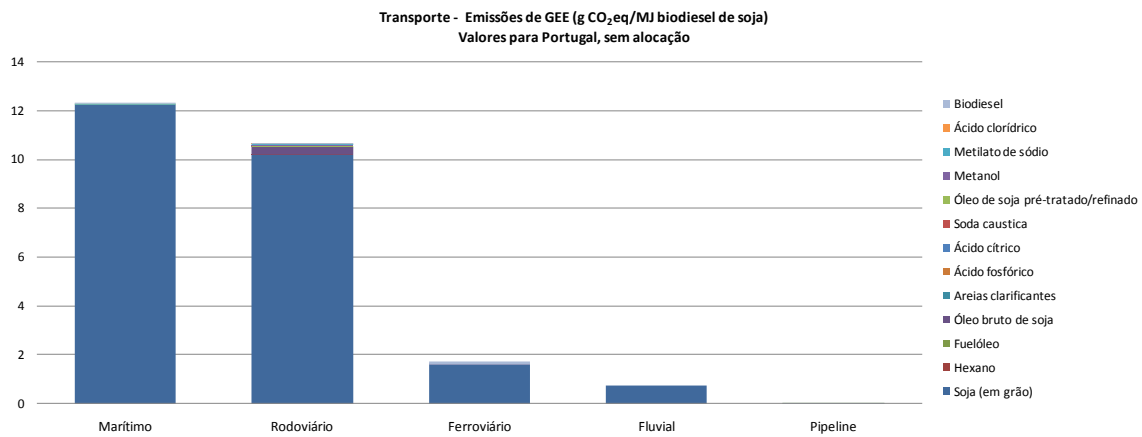


**Figura 4.6 Emissões de GEE: transporte de produtos, matérias-primas e subsidiárias em Portugal e no Diploma-Legal.**

As emissões que decorrem do transporte de matérias-primas e subsidiárias para o processo de extracção do óleo de soja representam cerca de 93% das  $e_{td}$  totais (99,9% devido à soja em grão). O transporte de matérias-primas e subsidiárias para os processos de pré-tratamento/refinação e transesterificação representam cerca de 4% e 1%, respectivamente, das  $e_{td}$  totais, sendo que a distribuição do biodiesel representa 2% das  $e_{td}$  totais. Pela análise da **Figura 4.6** é ainda possível verificar que o efeito da alocação é mais pronunciado nas  $e_{td}$  que se referem ao transporte de matérias-primas e subsidiárias para o processo de extracção do óleo

de soja, o que motivou um cálculo corrigindo a atribuição das emissões devidas ao transporte de soja (ver subsecção 2.33).

A **Figura 4.7** apresenta as  $e_{td}$  decorrentes do transporte de matérias-primas, subsidiárias e biodiesel, por tipo de transporte utilizado. As emissões decorrentes do transporte marítimo e rodoviário representam 48% e 42% para as  $e_{td}$  **totais**, sendo que 99,8% e 95,3% das emissões que decorrem do transporte marítimo e rodoviário devem-se ao transporte de soja em grão. As emissões decorrentes do transporte ferroviário e fluvial representam apenas 7% e 3% das  $e_{td}$  **totais**, respectivamente.

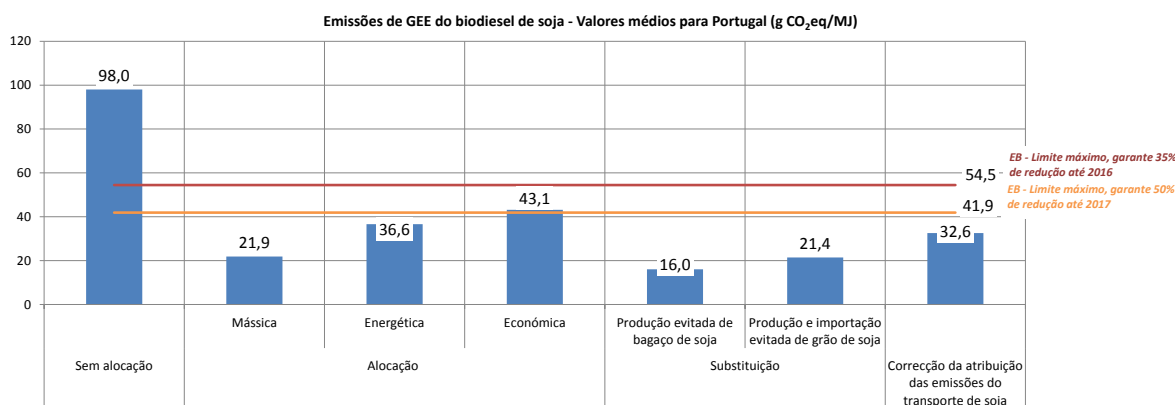


**Figura 4.7 Emissões de GEE, por tipo de transporte, para os produtos, matérias-primas e subsidiárias.**

## 5 Análise de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento dos co-produtos

Esta secção complementa os resultados apresentados na **Secção 4** com um estudo de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento de co-produtos no cálculo das emissões de GEE reais do biodiesel de soja para Portugal, assim como a redução das emissões relativamente ao combustível fóssil de referência.

Na **Figura 5.1** são apresentadas as emissões de GEE do biodiesel de soja produzido em Portugal ( $E_B$ ), utilizando diferentes métodos de alocação (mássica, energética e económica) e substituição (grão de soja e bagaço de soja), assim como recorrendo a uma correcção na atribuição das emissões do transporte de soja, tal como descrito em detalhe na subsecção 2.3. Na **Figura 5.1** são ainda apresentados os limites de emissão máximos de GEE que garantem o cumprimento de 35% e 50% redução relativamente ao combustível de referência. As emissões de GEE consideradas incluem as emissões decorrentes do cultivo da soja ( $e_{ec}$ ), do processamento, incluindo electricidade excedentária ( $e_p - e_{ee}$ ), e do transporte ( $e_{td}$ ).

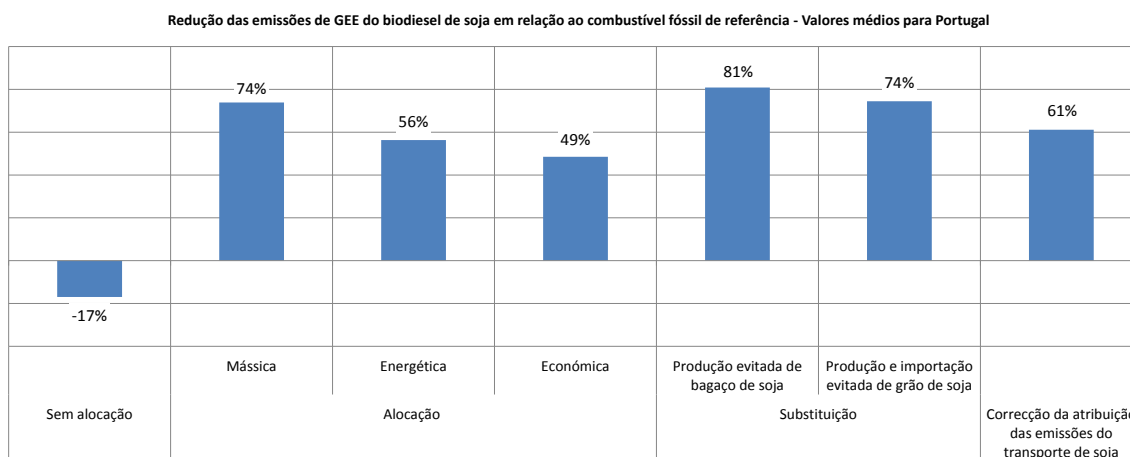


**Figura 5.1 Emissões “reais” de GEE do Biodiesel de Soja para Portugal – comparação entre métodos de alocação e substituição.**

Os resultados da **Figura 5.1** demonstram que o método de tratamento dos co-produtos seleccionado tem um efeito muito importante no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja. Verifica-se que as emissões de GEE calculadas com base numa alocação mássica, nos dois cenários de substituição e com a correcção da atribuição das emissões do transporte de soja são inferiores às calculadas com base numa alocação energética, como é definido no supracitado Decreto-Lei. Em particular, destaca-se uma diferença muito significativa entre os resultados obtidos para alocação energética e os obtidos com alocação mássica (-40%) e utilizando o método da substituição (-41%, -56%), o que contraria o pressuposto na directiva 2009/28/CE que refere no ponto 81 (L 140/25) que o método da atribuição de energia produz “resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição”.

Relativamente às emissões de GEE calculadas com base na correcção da atribuição das emissões do transporte de soja verifica-se que são um pouco inferiores às emissões calculadas com base em alocação energética. No entanto, quando se adopta alocação económica (preços médios), as emissões de GEE são mais elevadas, sendo 18% superiores às emissões calculadas com alocação energética. Verifica-se ainda, para qualquer dos cenários considerados no tratamento dos co-produtos, uma redução superior a 35% e a 50% (excepto para alocação económica) das emissões de GEE relativamente ao combustível de referência.

Na **Figura 5.2** é apresentada a redução das emissões de GEE do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal, utilizando os diferentes métodos de alocação e substituição e recorrendo a uma correcção na atribuição das emissões do transporte de soja. Pela análise dos resultados apresentados na **Figura 5.2 o biodiesel de soja produzido em Portugal garante o cumprimento da redução de 35% das emissões de GEE em relação ao combustível fóssil de referência em todos os cenários de tratamento de co-produtos**, sendo que o cumprimento de 60% de redução das emissões obrigatório a partir de 2018 não é garantido apenas nos cenários em que a alocação energética e económica é adoptada.



**Figura 5.2 Redução das emissões de GEE do Biodiesel de Soja para Portugal em relação ao combustível fóssil de referência – comparação entre métodos de alocação e substituição.**

## 6 Emissões decorrentes da alteração do uso do solo - Análise de cenários

Nesta secção apresenta-se o cálculo das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo (“e<sub>l</sub>”) com base numa análise de cenários alternativos, a qual alarga o âmbito deste projecto.

### 6.1 Apresentação dos cenários de alteração do uso do solo

Na **Tabela 6.1** são apresentados os 14 cenários de alteração do uso do solo (AUS), os quais caracterizam diferentes tipos e usos do solo anteriores à plantação da soja. A definição destes cenários tem por base 3 regiões climáticas no Brasil e na Argentina, dos quais o grão de soja é importado maioritariamente para Portugal (informação da Iberol e da Sovena, apresentado nas respostas aos inquéritos de inventário). As regiões brasileiras onde ocorrem os cenários definidos são aquelas que correspondem a áreas que nos últimos anos têm sido cultivadas com soja: a Região Centro-Oeste, que inclui os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (51% da soja produzida no Brasil em 2009 provem desta região) e a Região Sul que inclui os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (32% da soja produzida no Brasil em 2009 provem desta região). A região de Las Pampas, que inclui as províncias nas quais se regista a maior produção de soja na Argentina (Buenos Aires, Cordoba e Santa Fé) foi considerada para a definição dos cenários de AUS na Argentina.

A contabilização anual das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo é definida na **Secção 2 (Fórmula de cálculo 2.3)** e é calculada com base no carbono armazenado associado ao uso de referência do solo ( $CS_R$ ) e ao uso efectivo do solo ( $CS_A$ ). Segundo a Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010 (relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE), o cálculo de  $CS_R$  (o carbono armazenado nos 14 cenários de referência considerados,  $CS_{R1}$  a  $CS_{R14}$ ) e  $CS_A$  (o carbono armazenado na plantação de soja, nas três regiões consideradas nesta análise) resulta da soma entre o carbono orgânico do solo (SOC) e o carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea ( $C_{VEG}$ ). Os valores calculados e adoptados no cálculo de cada um destes parâmetros são apresentados na **Tabelas 6.1 e 6.2**. Para efeitos de cálculo considera-se a plantação da soja é feita com mobilização primária e/ou secundária, mas reduzida perturbação do solo e apresenta uma produtividade média de 2798 kg/ha.ano (Biograce, 2010), ou seja, 19523 MJ biodiesel/ha.ano (0,143 kg soja/MJ biodiesel).

Tabela 6.1 Cenários de AUS e factores utilizados no cálculo do CS<sub>R</sub> e das emissões provenientes de alterações do uso do solo (e<sub>i</sub>).

Ref.	Descrição dos cenários		SOC <sub>ST</sub> [t C/ha]	F <sub>LU</sub>	F <sub>MG</sub>	F <sub>I</sub>	SOC <sub>i</sub> <sup>4</sup> [t C/ha]	C <sub>VEGi</sub> <sup>5</sup> [t C/ha]	CS <sub>i</sub> <sup>6</sup> [t C/ha]	e <sub>B</sub> <sup>7</sup> tCO <sub>2</sub> /MJ		
CS <sub>R0</sub>	<i>Não se verificam alterações do uso do solo decorrente do cultivo de soja.</i>		-	-	-	-	-	-	0	-		
CS <sub>R1</sub>	<b>Solos com argila de baixa actividade</b>	<b>Região tropical semi-húmida (Centro-Oeste do Brasil)</b>	<i>Floresta gerida</i>	47	1	1	1	47	58	105	-	
CS <sub>R2</sub>		<i>Savanas (terras com coberto vegetal composto em grande parte por plantas lenhosas com menos de 5 metros de altura)</i>	Gestão melhorada, aporte elevado	47	1	1,17	1,11	61	53	114	-	
CS <sub>R3</sub>			Degradação moderada, aporte médio	47	1	0,97	1	46	53	99	-	
CS <sub>R4</sub>			Grande degradação, aporte médio	47	1	0,7	1	33	53	86	29	
CS <sub>R5</sub>		<b>Região temperada quente e húmida (Sul do Brasil)</b>	<i>Floresta gerida</i>	63	1	1	1	63	31	94	-	
CS <sub>R6</sub>			<i>Cultura perene</i>	Mobilização reduzida, aporte médio	63	1	1,08	1	68	43	111	-
CS <sub>R7</sub>			<i>Prados</i>	Gestão melhorada, aporte elevado	63	1	1,14	1,11	80	7	87	-
CS <sub>R8</sub>				Degradação moderada, aporte médio	63	1	0,95	1	60	7	67	-
CS <sub>R9</sub>				Grande degradação, aporte médio	63	1	0,7	1	44	7	52	29
CS <sub>R10</sub>	<b>Solos com argila de alta actividade</b>	<b>Região temperada quente e seca (Argentina - Las Pampas)</b>	<i>Floresta gerida</i>	38	1	1	1	38	31	69	-	
CS <sub>R11</sub>			<i>Cultura perene</i>	Mobilização reduzida, aporte médio	38	1	1,02	1	39	43	82	-
CS <sub>R12</sub>		<i>Prados</i>	Gestão melhorada, aporte elevado	38	1	1,14	1,11	48	3	51	-	
CS <sub>R13</sub>			Degradação moderada, aporte médio	38	1	0,95	1	36	3	39	-	
CS <sub>R14</sub>			Grande degradação, aporte médio	38	1	0,7	1	27	3	30	29	

<sup>4</sup>  $SOC_i = SOC_{ST} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$ ; SOC: carbono orgânico do solo (t C/ha); SOC<sub>ST</sub>: carbono orgânico normal do solo na camada superior do solo até aos 30 centímetros de profundidade (t C/ha); F<sub>LU</sub>: factor de uso do solo que reflecte a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente do tipo de uso do solo, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo; F<sub>MG</sub>: factor de gestão que reflecte a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente da principal prática de gestão, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo; F<sub>I</sub>: factor de aporte que reflecte a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente de aportes diferentes de carbono ao solo, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo. Os valores de SOC<sub>ST</sub>, F<sub>LU</sub>, F<sub>MG</sub> e F<sub>I</sub> adoptados em cada um dos cenários constam do ponto 6 e 7 Anexo da Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010, relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE.

<sup>5</sup> Os valores de C<sub>VEGi</sub> adoptados para cada cenário, referentes ao carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea (t C/ha), constam do ponto 8 do Anexo da Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010, relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE.

<sup>6</sup>  $CS_i = (SOC + C_{VEGi}) \times A$ ; CS<sub>i</sub>: carbono armazenado por unidade de superfície associado ao uso i do solo (t C/ha, incluindo solo e vegetação); A: factor de conversão da superfície em causa (expresso em hectares por unidade de superfície) (ponto 3 do Anexo da Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010, relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE).

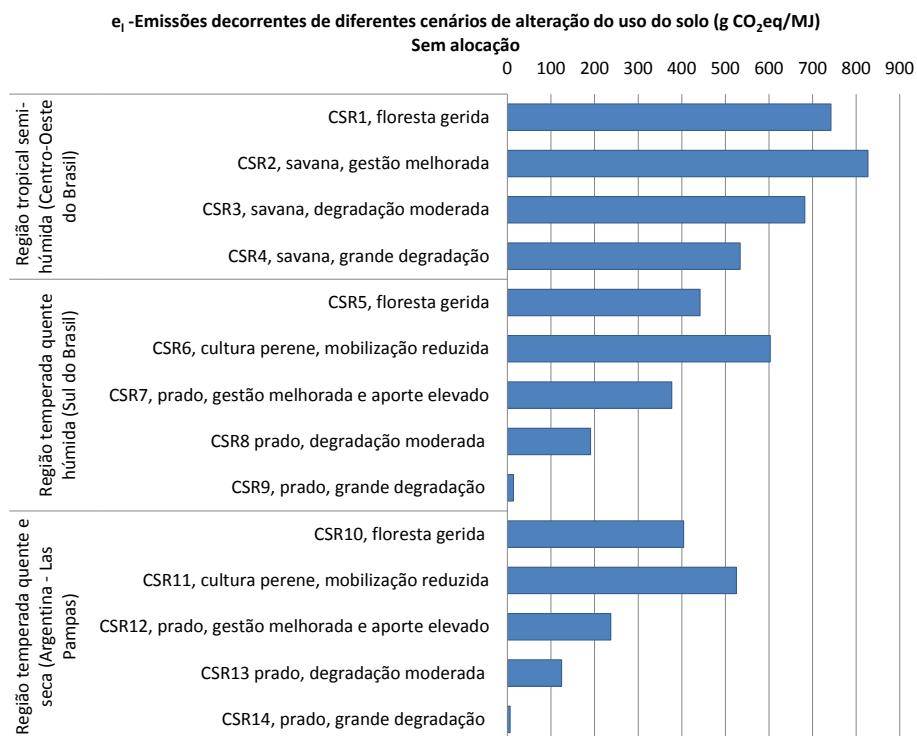
<sup>7</sup> e<sub>B</sub>: bonificação de 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ para os biocombustíveis cuja biomassa é obtida a partir de solos degradados reconstituídos. A bonificação é atribuída se existirem elementos que atestem que o terreno em questão: não era explorado para fins agrícolas ou outros em Janeiro de 2008; e se inclui numa das seguintes categorias: terreno gravemente degradado, incluindo terrenos anteriormente explorados para fins agrícolas; e terreno fortemente contaminado.

**Tabela 6.2** Factores utilizados no cálculo de  $CS_A$  e das emissões provenientes de alterações do uso do solo ( $e_i$ ).

Plantação de soja - Região	$SOC_{ST}$ [t C/ha]	$F_{LU}$	$F_{MG}$	$F_I$	$SOC_i$ [t C/ha]	$C_{VEGI}$ [t C/ha]	$CS_i$ [t C/ha]
<i>Região tropical semi-húmida (Centro-Oeste do Brasil)</i>	47	0,48	1,15	1	26	0	26
<i>Região temperada quente húmida (Sul do Brasil)</i>	63	0,69	1,08	1	47	0	47
<i>Região temperada quente e seca (Argentina - Las Pampas)</i>	38	0,8	1,02	1	31	0	31

## 6.2 Resultados - Emissões decorrentes das AUS ( $e_i$ )

As emissões de GEE decorrentes dos 14 cenários de AUS considerados neste estudo são apresentadas na **Figura 6.1**. Os resultados são apresentados para os diferentes usos do solo anteriores à plantação da soja e para cada uma das regiões consideradas neste estudo.



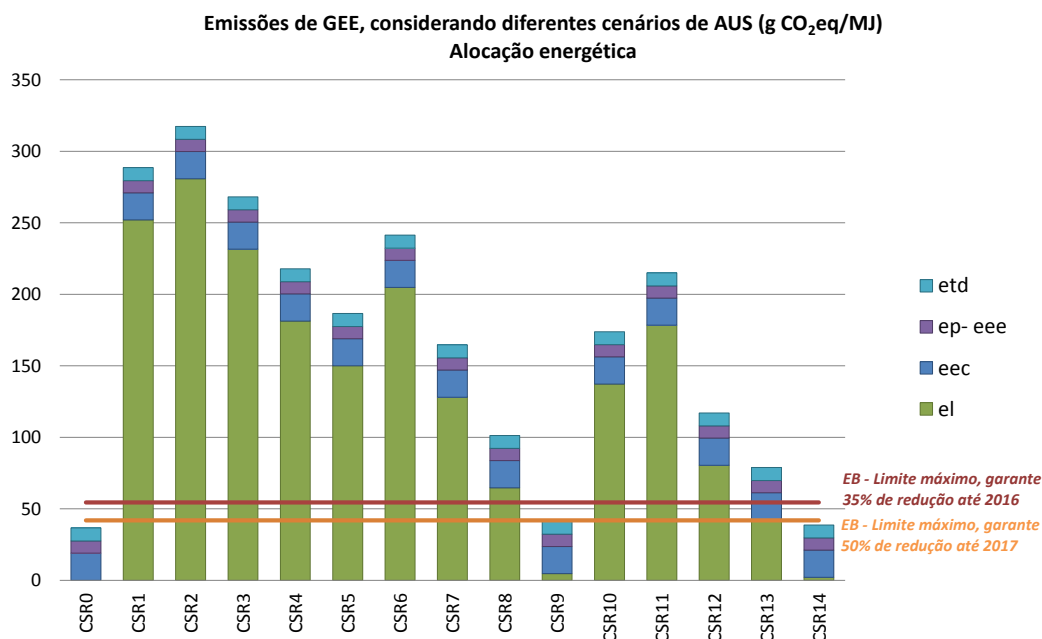
**Figura 6.1** Emissões de GEE: cenários de alteração do uso do solo para cultivo de soja.

A análise da **Figura 6.1** permite identificar os cenários mais desfavoráveis, ou seja, aqueles onde as  $e_i$  são mais elevadas: áreas de savana com gestão melhorada ( $CSR_2$ ) ou com degradação moderada ( $CSR_3$ ) e florestas geridas ( $CSR_1$ ) que são convertidas em plantações de soja na Região tropical semi-húmida (682-742 g CO<sub>2</sub>eq/MJ). Nas Regiões temperadas quentes, húmida e seca, os cenários mais desfavoráveis ocorrem quando plantações de culturas perenes ( $CSR_6$  e  $CSR_{11}$ ) ou

florestas geridas ( $CS_{R5}$  e  $CS_{R10}$ ) são convertidas em plantações de soja (404-603 g  $CO_2eq/MJ$ ). No entanto, analisando de uma forma geral os cenários de cada região é perceptível que os cenários nas regiões temperadas são significativamente mais favoráveis do que os cenários considerados na região tropical húmida. Este facto ocorre essencialmente devido ao carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea ( $C_{VEG}$ ) ser bastante inferior nas regiões temperadas.

Nos cenários  $CS_{R9}$  e  $CS_{R14}$ , em que um prado com elevada degradação é convertido numa plantação de soja, as emissões decorrentes da alteração do uso do solo são afectadas por uma bonificação ( $e_B$ ) de 29 g  $CO_2eq/MJ$ , de acordo com o Diploma Legal assumindo que existem elementos que atestam que o prado em questão se encontra gravemente degradado ou anteriormente explorado para fins agrícolas.

Na **Figura 6.2** são apresentadas as emissões de GEE, com alocação energética, de ciclo de vida do biodiesel de soja produzido em Portugal ( $E_B$ ) para os diferentes cenários de alteração do uso do solo ( $e_i$ ). Verifica-se que os cenários  $CR_{S9}$  ( $E_B = 41$  g  $CO_2eq/MJ$ ) e  $CR_{S14}$  ( $E_B = 39$  g  $CO_2eq/MJ$ ) são os únicos que garantem uma redução mínima de 50% de emissões de GEE do biodiesel em comparação com o combustível fóssil de referência. Deste modo, a soja deve ser proveniente de plantações onde não ocorram AUS ( $CS_{R0}$ ) ou de prados de degradação elevada de regiões temperadas ( $CS_{R9}$  e  $CS_{R14}$ ). Nos restantes cenários verifica-se que as  $e_i$  são as que mais contribuem para as  $E_B$  (54%-88%).



**Figura 6.2 Emissões de GEE: diferentes cenários de alteração do uso do solo para cultivo de soja.**

Por final, na **Figura 6.3** são apresentadas as emissões de GEE totais ( $E_B$ ), para os diferentes métodos de alocação e substituição considerados neste projecto, para os 14 cenários de alteração do uso do solo. Verifica-se que, com a utilização do método da substituição (cenário 2), há 8 cenários que garantem uma redução mínima de 35% e 5 cenários que garantem uma

redução mínima de 50%, de emissões de GEE do biodiesel em comparação com o combustível fóssil de referência.

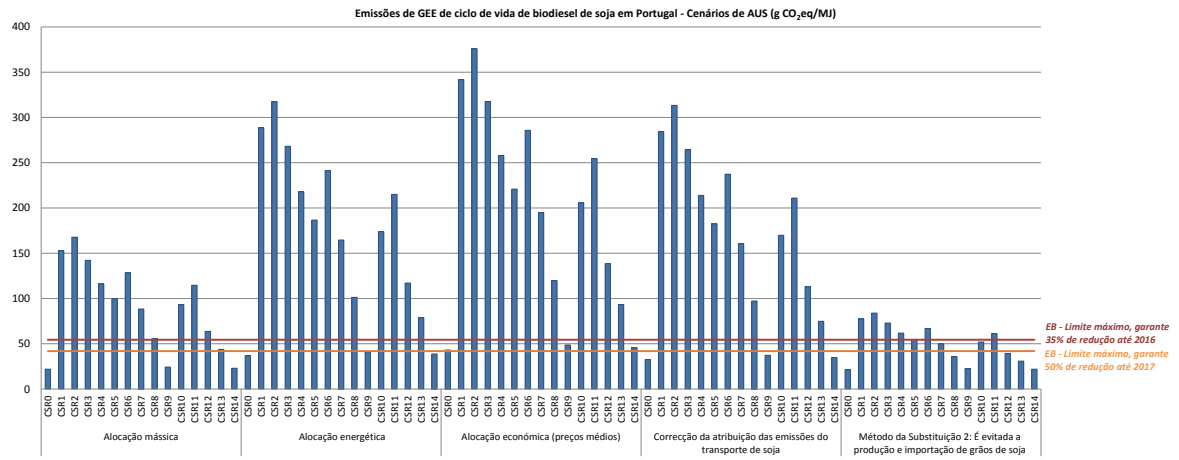


Figura 6.3 Emissões de GEE: métodos de alocação e substituição e diferentes cenários de AUS.



## 7 Conclusões

Neste relatório final do projecto “Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de Gases com Efeito de Estufa da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal” apresentam-se os resultados do cálculo da redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) decorrente da produção e utilização de biodiesel, com base na soja, para Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência. Neste relatório é também descrita e justificada a metodologia implementada e é apresentada uma análise de sensibilidade ao efeito da utilização de diferentes tipos de tratamento dos co-produtos no cálculo das emissões de GEE. Os resultados apresentados têm por base a metodologia definida nas normas ISO de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e são obtidos de acordo com as regras de cálculo de “valores reais” apresentadas no Decreto-Lei n.º 117/2010 de 25 de Outubro, tendo em conta várias decisões e comunicações da Comissão Europeia complementares à Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

O cálculo de “valores reais” das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja, de referência para Portugal, é realizado com base em modelos e inventários específicos determinados para os processos industriais, transporte e distribuição das empresas (APPB): Iberol e Sovena (extracção de óleo de soja) e Biovegetal, Iberol, Prio, Sovena e Torrejana (pré-tratamento/refinação e produção de biodiesel).

Calculou-se que a redução de emissões de GEE decorrente da utilização de biodiesel de soja produzido em Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência, é de cerca de 56%, valor que é superior às reduções típicas (40%) e por defeito (31%) estabelecidas no Diploma Legal. Deste modo, a redução mínima de 35% de emissões de GEE totais do biodiesel de soja em comparação com o combustível de referência é garantida até ao final de 2016, assim como depois de 1 de Janeiro de 2017, em que passa a ser exigida uma redução mínima de 50% das emissões de GEE. Estes resultados demonstram a importância de se calcular valores específicos de GEE, para Portugal, para a produção de biodiesel de soja.

Demonstrou-se ainda que o método de tratamento dos co-produtos seleccionado tem um efeito muito importante no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja. Verificou-se que as emissões de GEE calculadas com base numa alocação mássica, nos dois cenários de substituição e com a correcção da atribuição das emissões do transporte de soja são inferiores às calculadas com base numa alocação energética (definido no supracitado Decreto-Lei). Em particular, destaca-se uma diferença muito significativa entre os resultados obtidos para alocação energética e os obtidos com alocação mássica (-40%) e utilizando o método da substituição (-41%, -56%), o que contraria o pressuposto na directiva 2009/28/CE que refere no seu ponto 81 (L 140/25) que o método da atribuição de energia produz “*resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição*”. Isto justifica a importância de se calcular valores específicos de GEE, para Portugal, com base no método da substituição para os co-produtos, cuja possibilidade a Directiva 2009/28/CE estabelece, embora apenas para fins de análise política. No entanto, as diferenças muito significativas calculadas neste relatório devem ser objecto de análise cuidada para Portugal, particularmente tendo em

conta a multifuncionalidade do processo de extracção do óleo de soja, em que o co-produto bagaço de soja é o produto determinante, e a respectiva cadeia de valor.

Ainda no âmbito do parágrafo anterior, é importante salientar que o ponto 4 do artigo 23º da Directiva refere explicitamente: *“nos relatórios a apresentar sobre as reduções de emissões de gases com efeito de estufa resultantes da utilização de biocombustíveis, a Comissão utiliza os valores comunicados pelos Estados-Membros e avalia se, e de que forma, **a estimativa mudaria se fossem considerados os co-produtos utilizando o método de substituição**”*.

Relativamente ao cálculo das emissões provenientes de alterações do carbono armazenado devidas a alterações do uso do solo, com base numa análise de 14 cenários alternativos e considerando alocação energética, verifica-se que apenas dois cenários ( $CR_{S9}$  e  $CS_{R14}$ ) garantem uma redução mínima de 50% de emissões de GEE do biodiesel em comparação com o combustível fóssil de referência. Deste modo, a soja deve ser proveniente de plantações onde não ocorram AUS ( $CS_{R0}$ ) ou de prados de degradação elevada de regiões temperadas ( $CS_{R9}$  e  $CS_{R14}$ ). No entanto, é importante referir que, com a utilização do método da substituição (cenário 2), há 8 cenários de AUS que garantem uma redução mínima de 35% e 5 cenários que garantem uma redução mínima de 50%, de emissões de GEE do biodiesel em comparação com o combustível fóssil de referência.

## Referências Bibliográficas

- Althaus H.J., Chudacoff M., Hischer R., Jungbluth N., Osses M., Primas A. (2007). Life Cycle Inventories of Chemicals. Final report ecoinvent data v 2.0. Volume: 8. Swiss Centre for LCI, Empa - TSL. Dübendorf, CH.
- Castanheira É. and Freire F. (2011). GHG life-cycle assessment of soybean-based biodiesel: assessing the implications of alternative land use change scenarios. Workshop on land use impact of bioenergy - Quantifying and managing land use impacts of bioenergy. Organized by IEA Bioenergy (Tasks 38, 40 and 43). Campinas, Brazil, 19-21 September 2011.
- Beer T., *et al.* (2001). Comparison of transport fuels. Life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles. Prepared for the Australian Greenhouse Office, by CSIRO, in collaboration with the University of Melbourne and RMIT Center for Design.
- Biograce (2011a). BioGrace Project - Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas (GHG) emissions in Europe: Calculation rules (Version 14/04/2011). Disponível em: <http://www.biograce.net/>.
- Biograce (2011b). BioGrace Project - Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas (GHG) emissions in Europe: User Manual (Version 14/04/2011). Disponível em: <http://www.biograce.net/>.
- Biograce (2011c). Excel based biofuel GHG calculations. BioGrace Project - Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas (GHG) emissions in Europe – Version 4. Disponível em: <http://www.biograce.net/>.
- Biograce (2011d). BioGrace - Complete list of standard values, version 4 – Public. Disponível em: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>.
- BSi (2008). PAS 2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Disponível em: <http://www.bsigroup.com/en/>
- CEN/TC 383 Sustainably produced biomass for energy applications – Part 1, 2 and 3 (prEN 16214-1, prEN 16214-2 and prEN 16214-3).
- Comissão Europeia (2010a). Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010 relativa a diretrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva 2009/28/CE [notificada com o número C(2010) 3751] (2010/335/UE). Jornal Oficial da União Europeia, 17.6.2010.
- Comissão Europeia (2010b). Comunicação da Comissão sobre os regimes voluntários e os valores por defeito no regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos (2010/C 160/01). Jornal Oficial da União Europeia, 19.6.2010.
- Comissão Europeia (2010c). Comunicação da Comissão sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis (2010/C 160/02). Jornal Oficial da União Europeia, 19.6.2010.
- Comissão Europeia (2009). Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Jornal Oficial da União Europeia, 5.6.2009.

- Comissão Europeia (2007). Commission decision of 21/12/06 establishing harmonised efficiency reference values for separate production of electricity and heat in application of Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council (2007/74/EC). Jornal Oficial da União Europeia, 06.2.2007.
- Dalgaard R., Schmidt J., Halberg N., Christensen P., Thrane M., Pengue W. A. (2008). LCA of Soybean Meal. Int. J. Life Cycle Assess., Vol. 3, 2008, pp. 240-254.
- DGEG (2011). Preço máximo dos biocombustíveis. Dados obtidos no website da Direcção Geral de Energia e Geologia em 11.07.2011 (<http://www.dgge.pt/>).
- European Commission (2010). ILCD Handbook. General guide for life cycle assessment - Detailed guidance, Ispra: European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- Faist Emmenegger M., Heck T., Jungbluth N. (2007). Erdgas. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 ecoinvent data v2.0. Editors: Dones R.. Volume: 6. Swiss Centre for LCI, PSI. Dübendorf and Villigen, CH.
- Fehrenbach H., Giegrich J., Gärtner S., Reinhardt G., Rettenmaier N. (2007). Greenhouse Gas Balances for the German Biofuels Quota Legislation - Methodological Guidance and Default Values. Prepared for the Federal Environment Agency Germany by IFEU (Institut für Energie und Umweltforschung).
- Frischknecht R., Tuchschnid M., Faist Emmenegger M., Bauer C., Dones R. (2007) Strommix und Stromnetz. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 ecoinvent data v2.0. Editors: Dones R. Volume: 6. Swiss Centre for LCI, PSI. Dübendorf and Villigen, CH.
- Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hirsch R. and Martin A. (1996). Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Auflage No. 3. Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institute, Bern.
- Huo H., Wang M., Bloyd C., Putsche V. (2008). Life-Cycle Assessment of Energy and Greenhouse Gas Effects of Soybean-Derived Biodiesel and Renewable Fuels. Argonne National Laboratory. Work sponsored by the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Huo H., Wang M., Bloyd C., Putsche V. (2009). Life-Cycle Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Soybean-Derived Biodiesel and Renewable Fuels, Environ. Sci. Technol., Vol. 43, 2009, pp.750-756.
- Kim S., Dale B.E. (2005). Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. Biomass and Bioenergy, Vol. 29, 2005, pp. 426–439.
- IEA (2008). Electricity/Heat in Portugal in 2008. International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org>.
- International Monetary Fund (2011). Historical commodity prices. Dados obtidos no website do IndexMundi em 11.07.2011 (<http://www.indexmundi.com/commodities/>).
- IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

- ISO (2006). ISO 14040:2006, Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- ISO (2006). ISO 14044:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- JEC (2008a). Concawe JRC EUCAR Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-TO-TANK Report Version 3.0 November 2008 WTT.
- JEC (2008b). Biofuels Pathways RED method - Results and input data for biofuels pathways. Version 14/08/2008. Disponível em: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/jec-research-collaboration/downloads-jec.html>
- Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Spielmann M., Stettler C., Sutter J. (2007). Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report ecoinvent data v2.0. Volume: 17. Swiss Centre for LCI, ESU. Dübendorf and Uster, CH.
- Jungbluth, N. (2007). Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 ecoinvent data v2.0. Editors: Dones R. Volume: 6. Swiss Centre for LCI, PSI. Dübendorf and Villigen, CH.
- Malça, J., Freire, F. (2011). Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, nº1, 338–351.
- Malça, J. and Freire, F. (2010). Uncertainty Analysis in Biofuel Systems: An Application to the Life Cycle of Rapeseed Oil. Journal of Industrial Ecology, Vol 14(2).
- Malça, J and Freire, F (2006). Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): assessing the implications of allocation. ENERGY – The International Journal 31[15], pp. 3362-3380.
- Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (2010). Decreto-Lei n.º 117/2010 de 25 de Outubro. Diário da República, 1.ª série - N.º 207 - 25 de Outubro de 2010.
- Ministério da Economia, da Inovação (2008). Despacho n.º 17313/2008. Diário da República, 2.ª série - N.º 122 - 26 de Junho de 2008.
- Møller J., Thøgersen R., Kjeldsen A.M. (2003). Ajourføring af Fodermiddeltabel. Rapport 91. Disponível em: <http://www.lr.dk/kvaeg/informationsserier/lk-meddelelser/1128.htm>.
- Reinhard e Zah (2009). Global environmental consequences of increased biodiesel consumption in Switzerland: consequential life cycle assessment. Journal of Cleaner Production 17 (2009) S46–S56.
- Spielmann M., Dones R; Bauer C. (2007). Life Cycle Inventories of Transport Services. Final report ecoinvent Data v2.0. Volume: 14. Issue: 0. Swiss Centre for LCI, PSI. Dübendorf and Villigen, CH.
- S. Suh, B. Weidema, J. H. Schmidt, and R. Heijungs (2010). Generalized Make and Use Framework for Allocation in Life Cycle Assessment. Journal of Industrial Ecology, Volume 14, Issue 2, pages 335–353.

- Sutter, J., O (2007). Life Cycle Inventories of Highly Pure Chemicals. Final reportecoinvent Data v 2.0. Editors: O. Volume: 19. Swiss Centre for LCI, ETHZ. Duebendorf and St. Gallen, CH.
- United Soybean Board (2002). US Soy Statistics. Dados obtidos no website do United Soybean Board em 13.05.2006 (<http://www.unitedsoybean.org/>).
- Weidema, B.P. (2001). Avoiding co-product allocation in life-cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology* 4(3): 11–33.
- Weidema, B.P. e Schmidt J.H. Avoiding Allocation in Life Cycle Assessment Revisited. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 14, Issue 2, pages 192–195, March/April 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1. Projecto: Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de Gases com Efeito de Estufa da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal

#### I –Tarefas e objectivos específicos

1. Cálculo da redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) decorrente da utilização de biodiesel, com base na soja, para Portugal, relativamente ao combustível fóssil de referência. Este cálculo terá por base a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), definida nas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, e será efectuado de acordo com as regras de cálculo de “valores reais” apresentadas no anexo V da Directiva 2009/28/CE (relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis). O cálculo de “valores reais” das emissões de GEE provenientes da produção e utilização de biodiesel de soja será realizado com base em valores específicos determinados no âmbito da tarefa descrita no ponto 5 desta secção, de modo a permitir determinar valores médios de referência para Portugal.
2. Realização de um estudo de sensibilidade do efeito da utilização de diferentes tipos de alocação (e.g. energética, mássica e económica) e, em particular, do método da substituição (expansão de sistema) no cálculo das emissões de GEE. A utilização do método da substituição permite realizar uma ACV do tipo consequencial, adequada a analisar e justificar a situação específica do biodiesel de soja em Portugal, tendo em conta a função “real” dos co-produtos e a devida contabilização dos créditos associados. Desta forma, verifica-se um maior rigor na representação da realidade e nos cálculos de GEE efectuados comparativamente à utilização da alocação energética (mais detalhes são apresentados na secção II.2). Adicionalmente, considerando a especificidade da multifuncionalidade do processo de extracção de óleo de soja, os valores de emissões de GEE calculados com base no método da substituição serão potencialmente inferiores aos valores obtidos com alocação energética, dependendo a magnitude dessa diferença dos cenários definidos para a expansão do sistema.

3. Como complemento aos pontos anteriores, será elaborado e apresentado um documento descrevendo o estado da arte da ACV para o cálculo das emissões de GEE de biodiesel de soja, com destaque para projectos e estudos de ACV que considerem diferentes métodos de contabilização dos co-produtos utilizados, avaliando o seu efeito no cálculo de valores de GEE.
4. Elaboração de um relatório intermédio e de um relatório final (cf. anexo 1) descrevendo a metodologia implementada e o modelo de ciclo de vida desenvolvido, assim como justificando os valores calculados. Desenvolvimento de ferramentas de cálculo (e.g. em excel) das emissões de GEE de biodiesel de soja com base no respectivo modelo de ACV.
5. Implementação de modelos e elaboração de inventários de ciclo de vida específicos dos processos de **extração de óleo de soja da Iberol e da Sovena e de produção de biodiesel de soja da Iberol; da Prio; da SGC Energia biovegetal; da Sovena e da Torrejana**. Com base nos inventários, será efectuado o cálculo das emissões de GEE associadas às várias fases dos processos referidos. Os relatórios com os inventários de cada unidade de produção e respectivos cálculos de emissões de GEE serão confidenciais e apresentados exclusivamente às respectivas empresas (cf. anexo 1). O inventário e respectivos cálculos serão elaborados com base em visitas a realizar às unidades industriais e nas suas respostas a inquéritos a dados genéricos da produção. Os valores específicos calculados para os diversos processos serão utilizados para quantificar valores médios, de referência para Portugal, referidos nos anteriores pontos 1, 2 e 4.

## II - Metodologia

### 1. Cálculo de emissões de gases com efeito de estufa

A metodologia genérica a utilizar na elaboração dos modelos e inventários de ciclo de vida será a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), de acordo com as normas ISO (International Standardization Organization) de Avaliação de Ciclo de Vida, incluindo:

- *ISO 14040:2006*, Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework,
- *ISO 14044:2006*, Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines,

mas tendo em conta as especificidades do método proposto na Directiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, que estabelece regras para o cálculo do impacto dos biocombustíveis na emissão de GEE, e dos seguintes documentos complementares publicados recentemente:

- *C 3751 (2010)*, Decisão da Comissão de 10 de Junho de 2010, relativa a directrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos (para efeitos do anexo V da referida Directiva 2009/28/CE).
- *2010/C 160/02*, Comunicação da Comissão de 19 de Junho de 2010, sobre a aplicação prática do regime de sustentabilidade da UE para os biocombustíveis e biolíquidos e sobre as regras de contabilização dos biocombustíveis

O cálculo da redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) relativamente ao combustível fóssil de referência será efectuado, sempre que os dados reais o permitam, com base em “valores reais” (vd sec 3.3 da Comunicação da Comissão 2010/C 160/02) das emissões de GEE de biodiesel de soja para as várias fases do ciclo de vida, segundo as regras e a fórmula de cálculo do anexo V da Directiva 2009/28/CE. A redução de emissões de GEE resultantes da utilização de biodiesel de soja será calculada segundo os termos das alíneas b) ou c) do nº 1 do artigo 19º, sendo proposto que, para o cálculo das emissões de GEE provenientes do “cultivo” e de acordo com a comunicação 2010/C 160/02, seja utilizado o valor apresentado no anexo V da Directiva 2009/28/CE (ver ponto 6 da secção C e valor “ $E_{ec}$ ” na secção D).

## **2. Multifuncionalidade e métodos de avaliação dos co-produtos**

O tópico da multifuncionalidade e contabilização da atribuição de impactes entre co-produtos é complexo e tem suscitado muita controvérsia na comunidade científica e na elaboração de regulamentos para os respectivos cálculos. Neste sentido, propõe-se a elaboração de um estudo de sensibilidade do efeito da utilização de diferentes tipos de alocação (e.g. energética, mássica e económica) e, em particular, do método da substituição (expansão de sistema) no cálculo das emissões de GEE.

O método da substituição é recomendado pelas normas ISO de Avaliação de Ciclo de Vida (14044:2006 e 14044:2006), sugerindo que, quando possível, a utilização de métodos de atribuição deve ser evitada através da utilização dos métodos da sub-divisão de processos ou da expansão de sistema (substituição). As normas recomendam, ainda, que, quando seja indicado a utilização de vários métodos, se efectue uma análise de sensibilidade dos diferentes métodos

para avaliar os efeitos no cálculo das emissões de GEE, o que constitui uma das tarefas deste projecto (ver ponto 2 dos objectivos).

De modo contrário, a Directiva 2009/28/CE recomenda a utilização da alocação energética (“método da atribuição de energia”) referindo a possibilidade de utilização do método da substituição apenas para fins de análise política, conforme descrito no ponto (81):

*“o método da atribuição de energia é o mais adequado (...) produzir resultados que são, em geral, comparáveis à gama de resultados fornecidos pelo método da substituição. Para fins de análise política, a Comissão deverá também, no seu relatório, indicar os resultados obtidos utilizando o método da substituição”.*

Neste contexto, se as emissões de GEE calculadas com o recurso ao método da substituição não forem comparáveis às calculadas com base no “método da atribuição de energia”, poderá haver argumentos para justificar o cálculo de valores de GEE recorrendo ao método da substituição. Deste modo, a justificação para a utilização do método da substituição para os co-produtos pode constituir uma importante oportunidade para calcular valores específicos de GEE para a produção de biodiesel de soja em Portugal. Ainda neste âmbito, é importante salientar que o ponto 4 do artigo 23º da Directiva refere explicitamente

*“nos relatórios a apresentar sobre as reduções de emissões de gases com efeito de estufa resultantes da utilização de biocombustíveis, a Comissão utiliza os valores comunicados pelos Estados-Membros e avalia se, e de que forma, **a estimativa mudaria se fossem considerados os co-produtos utilizando o método de substituição**”.*

### III - Equipa de Investigação

- Prof. Doutor Fausto Freire,
- Mestre Érica Castanheira,
- Mestre João Malça,
- Mestre Pedro Marques

Investigadores da ADAI-LAETA (Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, integrada no Laboratório Associado em Energia, Transportes e Aeronáutica), e do Centro para a Ecologia Industrial da Universidade de Coimbra. No Anexo 2 apresenta-se uma listagem de publicações recentes desta equipa, com relevo para o Projecto.

## Anexo 1

### ***Elaboração de Relatórios***

Ao fim de 10 semanas:

- 1 Relatório intermédio de progresso

Ao fim de 4 meses:

- 1 Relatório final com valores médios, de referência para Portugal

Ao fim de 5 meses:

- 1 Relatório (confidencial) da extracção de óleo de soja: Iberol.
- 1 Relatório (confidencial) da extracção de óleo de soja: Sovena
- 1 Relatório (confidencial) da produção de biodiesel de soja: Iberol
- 1 Relatório (confidencial) da produção de biodiesel de soja: Prio
- 1 Relatório (confidencial) da produção de biodiesel de soja: SGC
- 1 Relatório (confidencial) da produção de biodiesel de soja: Sovena
- 1 Relatório (confidencial) da produção de biodiesel de soja: Torrejana

## ANEXO 2

### **Publicações da equipa de investigação relevantes para a presente proposta**

#### ***Artigos Científicos em Revistas Internacionais***

Malça, J. and Freire, F. (2010). Biodiesel in Europe: review of life cycle studies and the importance of addressing uncertainty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (in press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.013>

Malça, J. and Freire, F. (2010). "Uncertainty Analysis in Biofuel Systems: An Application to the Life Cycle of Rapeseed Oil. *Journal of Industrial Ecology*, Vol 14(2). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00227.x>

Castanheira, É.G. and Silva P.P.; Governance of the emerging biofuel markets in European Union: the Portuguese context. *Global Business and Economics Review*, Vol. X, No. Y, 2010

Malça, J and Freire, F. (2009). Energy and Environmental Benefits of Rapeseed Oil Replacing Diesel. *International Journal of Green Energy*. 6(3):287-301. <http://dx.doi.org/10.1080/15435070902886551>

Malça, J and Freire, F (2006). "Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): assessing the implications of allocation". *ENERGY – The International Journal* 31[15], pp. 3362-3380. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.03.013>

### ***Artigos em actas de conferência***

Balafoutis, A., Freire, F. and Papadakis, G. (2010); Life Cycle Assessment of sunflower oil produced in Greece and used as fuel in tractor diesel engines. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING (AGENG2010), Clermont-Ferrand, 2010

Batterman, S Chin, J, Freire, F, Malça J (2007). Incorporating local scale impacts into LCAs: Comparing conventional and ethanol fuels. In: Proceedings of SETAC Europe 17th Annual Meeting - Multiple stressors for the environment and human health: Present and future challenges and perspectives, 20-24 May, Porto, Portugal, p.23.

Carvalho, A., Freire, F. and Antunes, C. (2010); An integrated assessment methodology applied to the Brazilian bioethanol case. In: PORTUGAL EM CONFERÊNCIA PARA UMA ECONOMIA ENERGETICAMENTE EFICIENTE, Lisboa, 2010. PCEEE: Comunicações painel 2 - Promoção da eficiência energética na Industria

Castanheira É.G. & Freire, F., 2010. GHG Emissions Assessment of Palm Oil: uncertainty and scenario analysis for increased production. 25th Mini-EURO Conference. Uncertainty and Robustness in Planning and Decision Making (URPDM 2010). Special Session: "Confronting Uncertainty in Life Cycle Assessment". Coimbra, Portugal, 15-17 April 2010

Castanheira, E. and; Freire, F.; CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from palm oil plantations: impacts of land use and land change. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT IN THE AGRI-FOOD SECTOR (LCAFOOD 2010), Bari, 2010. Book of Proceedings of 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCAFood 2010)

Freire, F Malça J (2007). Environmental and economic aspects of bioethanol and bioETBE replacing gasoline. In: Proceedings of SETAC Europe 17th Annual Meeting - Multiple stressors for the environment and human health: Present and future challenges and perspectives, 20-24 May, Porto, Portugal, p.356

Freire, F, Malça, J and Rozakis, S (2002). "Biofuel production systems in France: integrated economic and environmental life cycle optimization". II Int. Conf. on Mechanical Engineering, VI Conf. on Industrial Thermal Energy, Renewable Energy and the Environment Universidad Central de Las Villas, 13-15 Nov., 2002, Cuba

Freire, F, Malça, J and Rozakis, S (2004). "Integrated economic and environmental life cycle optimization: an application to biofuel production in France". In Multiple Criteria Decision Aiding (MCDA) (eds: Antunes, C., Figueira, J and Clímaco, J.) pp. 247-272

Malça J, Freire F (2008). Uncertainty analysis applied to the life cycle of biodiesel. In: Proceedings of the Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy, April 2008. Universidade do Minho, Guimarães.

Malça, J & Freire, F., 2010. A comprehensive framework for incorporating uncertainty in the Life Cycle Assessment of biofuels for transportation. 25th Mini-EURO Conference. Uncertainty and Robustness in Planning and Decision Making (URPDM 2010). Special Session: "Confronting Uncertainty in Life Cycle Assessment". Coimbra, Portugal, 15-17 April 2010

Malca, J and Freire, F (2009) "Assessing direct land use change in biodiesel GHG emissions: A life cycle model accounting for uncertainty". 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems", Sept 29 – Oct 3, Dubrovnik, Croatia

Malça, J, Rozakis, S and Freire, F (2003). “Análise Energética do Ciclo de Vida de Biocombustíveis: Aplicação à fileira do bioetanol em França”. 3as Jornadas Politécnicas de Engenharia. ISEC, Coimbra, November 19-20, 2003

Malça, J. and Freire, F. (2004) Carbon and energy balances for biodiesel: Life-cycle emissions and energy savings. Proceedings of the 2nd International Ukrainian Conference on Biomass for Energy. National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, Ukraine, September 20-22, 6 p.

Malça, J. and Freire, F. (2004). “Life cycle energy analysis for bioethanol: allocation methods and implications for energy efficiency and renewability”. In Energy-Efficient, Cost-effective, and Environmentally-Sustainable Systems and Processes. Rivero, R., Monroy, L., Pulido, R., and Tsatsaronis, G. (eds). Insituto Mexicano del Petróleo. México. Vol.3, pp. 997-1011

Malça, J. and Freire, F. (2009); How Uncertainty Issues Affect Life cycle Assessment, and Energy Efficiency of Biodiesel. In: 1ST INTERNATIONAL EXERGY, LIFE CYCLE ASSESSMENT, AND SUSTAINABILITY WORKSHOP & SYMPOSIUM (ELCAS), Nisyros, 2009. Proceedings of ELCAS

Malça, J., Freire, F. (2007). Energy and environmental benefits of rapeseed oil replacing diesel, 3rd International Energy, Exergy and Environment Symposium (IEEES-3). Évora, Portugal, July 1-5

Malça, J., Rozakis, S. and Freire, F. (2005) Bioethanol Replacing Gasoline: Greenhouse Gas Emissions Reduction, Life-Cycle Energy Savings and Economic Aspects. Proceedings of the Life Cycle Management Conference. Barcelona, Spain, September 5-7, 4 p.

Nelson, O., Malça J, Freire F (2008). Environmental life cycle assesment of biodiesel from rapeseed for portugal – comparison with fossil diesel. In: Proceedings of the Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy, April 2008. Universidade do Minho, Guimarães.

Nunes, J. and Freire, F. (2009); Life cycle energy and GHG emissions of biomass-to-electricity systems in Portugal. In: Life Cycle Assessment IX “toward the global life cycle economy”, Boston, USA, September 29-October 2

Santos, J. Pardo, R., Acevedo, H. and Freire, F. (2009); Modelo de Inventário e Análise Energética do Ciclo de Vida do Óleo de Palma na Colômbia. In: 5º ENCONTRO NACIONAL DO COLÉGIO DE ENGENHARIA MECÂNICA, Guimarães, 2009. Livro de Actas do 5º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica



## APÊNDICE 2. Inquérito Preliminar – Extração e Refinação

Protocolo APPB-ADAI

1º Inquérito do projecto ACV biodiesel de soja

Versão 6: 26 de Outubro de 2010

Nome da Unidade Industrial:

Responsável pelo preenchimento deste inquérito:

Data:

Notas para preenchimento:

1. Colocar os valores e informações nas células sombreadas a cinzento.
2. As células sombreadas a azul devem ser preenchidas caso exista informação disponível.
3. Não preencher as células sombreadas a preto.
4. Completar com a informação adequada as células escritas a vermelho. Se não aplicável, não preencher essas células.
5. Se necessário, use a expressão "n.a." para referir "não se aplica".

### 1. Aspectos globais da unidade industrial

Solicitamos o envio de uma descrição geral do processo de extração e refinação, incluindo um fluxograma geral assim como fluxogramas específicos dos principais processos. Previamente à realização da visita solicitamos também a vossa disponibilidade para uma reunião por videoconferência (e.g skype).

### 2. Características das matérias-primas, produtos e co-produtos

	Unidades	Extração			Refinação
		Soja	Óleo bruto de soja	Farinha de soja	Óleo de soja refinado
Densidade	kg/m <sup>3</sup>				
Teor de humidade (base seca)	%				
PCI	MJ/kg				
Teor de carbono	% M.S.				
Teor de proteína	% M.S.				

M.S. - matéria seca

**3. Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos.**

[Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]

Os valores a incluir nesta referem-se especificamente à extracção e refinação do óleo de soja.

	Mássico (ton)		Económico (€/ton)			Informações adicionais
	2009	2010	2009 - 2010			
			médio	máx.	min.	
Extracção de óleo de soja	Consumo (anual) de grãos de soja					
	Consumo (anual) de solvente					Confirme qual o solvente utilizado: hexano?
	Consumo (anual) de .....					
	Consumo (anual) de .....					
	Produção (anual) óleo bruto de soja					
	Produção (anual) de farinha de soja					
	Produção (anual) de cascas					
	Produção (anual) de .....					
Refinação de óleo de soja	Consumo (anual) óleo bruto de soja					
	Consumo (anual) de areias clarificantes (eg. Fueler's earth)					
	Consumo (anual) de ácido fosfórico					
	Consumo (anual) de .....					
	Produção (anual) óleo de soja refinado					
	Produção (anual) de gomas					
	Produção (anual) de sabões					
	Produção (anual) de .....					

**4. Energia**

4.1

	MWh		Consumo de energia eléctrica	Informações adicionais
	2009	2010		
	<b>Extracção de óleo de soja (total)</b>			
Recepção, Armazenamento e Preparação				
Extracção do Óleo Bruto de Soja				
Valorização dos sólidos extraídos (bagaço)				
Destilação da miscela e recuperação do solvente				
Outro:				
<b>Refinação de óleo de soja (total)</b>				

4.2	Consumo de gasóleo		
	Toneladas		Informações adicionais
	2009	2010	
<b>Extracção de óleo de soja (total)</b>			
<i>Recepção, Armazenamento e Preparação</i>			
<i>Extracção do Óleo Bruto de Soja</i>			
<i>Valorização dos sólidos extraídos (bagaço)</i>			
<i>Destilação da miscela e recuperação do solvente</i>			
<i>Outro:</i>			
<b>Refinação de óleo de soja (total)</b>			

4.3	Consumo de gás natural		
	m <sup>3</sup> (n)		Informações adicionais
	2009	2010	
<b>Extracção de óleo de soja (total)</b>			
<i>Recepção, Armazenamento e Preparação</i>			
<i>Extracção do Óleo Bruto de Soja</i>			
<i>Valorização dos sólidos extraídos (bagaço)</i>			
<i>Destilação da miscela e recuperação do solvente</i>			
<i>Outro:</i>			
<b>Refinação de óleo de soja (total)</b>			

4.4	Consumo de .....		
	Toneladas		Informações adicionais
	2009	2010	
<b>Extracção de óleo de soja (total)</b>			
<i>Recepção, Armazenamento e Preparação</i>			
<i>Extracção do Óleo Bruto de Soja</i>			
<i>Valorização dos sólidos extraídos (bagaço)</i>			
<i>Destilação da miscela e recuperação do solvente</i>			
<i>Outro:</i>			
<b>Refinação de óleo de soja (total)</b>			

Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de GEE da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal

4.5 Existe produção de electricidade na unidade? Se sim, preencha a tabela seguinte:

	MWh	Informações adicionais
2009		
2010		

4.6 Existe produção de electricidade ou calor na unidade (co-geração)? Se sim, preencha a tabela seguinte.

	Co-geração						
	2009			2010			
	Combustível utilizado		Produção de electricidade (MWh)	Produção de calor (GJ)	Combustível utilizado		Produção de electricidade (MWh)
Tipo	Toneladas	Tipo			Toneladas		
Total							

4.7 [Se necessário, introduza novas colunas nesta tabela]

	Características dos combustíveis				
	Unidades	Gasóleo	Gás natural	X...	Y...
Densidade	kg/m <sup>3</sup>				
PCI	kJ/kg    kJ/m <sup>3</sup>				
PCS	kJ/kg    kJ/m <sup>3</sup>				

5. Origem e transporte do grão de soja

[Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]

	Origem						Informações adicionais
	Quantidade		Local (Região/ Província/ Estado)	Transporte Principal (marítimo)			
	2009 (ano)	2010 (1ºSem.)		Distância percorrida (km)	Tipo	Capacidade (ton)	
Brasil 1							
Brasil 2							
Brasil.....							
Argentina 1							
Argentina...							
Outros							

**6. Transporte de matérias subsidiárias e combustíveis**  
 [Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]

	Local	Transporte/veículo				Origem		Informações adicionais
		Distância percorrida (km)	Tipo	Capacidade (ton)	Capacidade usada (ton)	Retorno sem carga		
						Sim/Não		
Extracção	Solvente							
	...							
	Combustível gasóleo							
	Combustível ...							
	Outros							
Refinação	Óleo bruto de soja							
	Areias clarificantes (p.e., Fueler's earth)							
	Ácido fosfórico							
	Combustível gasóleo							
	Combustível ...							
	Outros							



## APÊNDICE 3. Inquérito Preliminar – Pré-tratamento e Transesterificação

Protocolo APPB-ADAI

2º Inquérito do projecto ACV | Produção de biodiesel

Versão 5: 11 de Novembro de 2010

Nome da Unidade Industrial:

Responsável pelo preenchimento deste inquérito:

Data:

Seleccionar (X)	
Dados específicos da produção de biodiesel de óleo de soja	<input type="checkbox"/>
Dados relativos à produção total de biodiesel de óleos vegetais	<input type="checkbox"/>

Notas para preenchimento:

1. Colocar os valores e informações nas células sombreadas a cinzento.
2. As células sombreadas a azul devem ser preenchidas caso exista informação disponível.
3. Não preencher as células sombreadas a preto.
4. Completar com a informação adequada as células escritas a vermelho. Se não aplicável, não preencher essas células.
5. Se necessário, use a expressão "n.a." para referir "não se aplica".

### 1. Aspectos globais da unidade industrial

Solicitamos o envio de uma descrição geral do processo, incluindo um fluxograma dos principais processos.  
Previamente à realização da visita solicitamos também a vossa disponibilidade para uma reunião por videoconferência (e.g skype).

### 2. Características dos produtos e co-produtos

	Unidades	Produção de biodiesel				
		Biodiesel	Glicerina	Gorduras	.....	.....
Densidade	kg/m <sup>3</sup>					
Teor de humidade (base seca)	%					
PCI	MJ/kg					
Teor de carbono	% M.S.					

M.S. - matéria seca

Avaliação de Ciclo de Vida das Emissões de GEE da Produção de Biodiesel de Soja em Portugal

Protocolo APPB-ADAI

2º Inquérito do projecto ACV | Produção de biodiesel

Versão 5: 11 de Novembro de 2010

3. Matérias-primas e subsidiárias. Produtos e co-produtos.							
[Se não for efectuada a "Refinação" (neutralização) na unidade industrial, preencher apenas a Tabela 3.2.] [Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]							
3.1		Mássico (ton)		Económico (€/ton)			Informações adicionais
		2009	2010	2009 - 2010			
				médio	máx.	min.	
"Refinação" (neutralização)	Consumo de óleo de soja						
	Consumo total de óleos vegetais (incluindo óleo de soja)						
	Consumo de ácido fosfórico						
	Consumo de soda cáustica						
	Consumo de .....						
	Produção óleo de soja refinado e neutralizado						
	Produção total óleos vegetais refinados e neutralizados (incluindo óleo de soja)						
	Produção de gorduras/gomas						
Produção de .....							
3.2 Produção de biodiesel	Consumo de óleo de soja refinado e neutralizado						
	Consumo total de óleos vegetais refinados e neutralizados (incluindo óleo de soja)						
	Consumo de metanol						
	Consumo de metilato de sódio						
	Consumo de ácido clorídrico						
	Consumo de .....						
	Produção de biodiesel						
	Produção de glicerina						
Produção de .....							
4. Energia							
4.1		Consumo de energia eléctrica					Informações adicionais
		MWh					
		2009 (ano)	2010 (1ªSem.)				
	"Refinação" (neutralização)						
	Produção de biodiesel						
	Transesterificação, recuperação de metanol e secagem do ester metílico (biodiesel)						
	Pré-tratamento e evaporação da glicerina aquosa						
	Armazenamento do produto, co-produto, matérias-primas e subsidiárias						
	Serviços						
	Outro:						
	Valor total (contador geral)						

4.2

	Consumo de gás natural		
	m <sup>3</sup> (n)		Informações adicionais
	2009	2010	
<i>"Refinação" (neutralização)</i>			
<i>Produção de biodiesel</i>			
<i>Transesterificação, recuperação de metanol e secagem do ester metílico (biodiesel)</i>			
<i>Pré-tratamento e evaporação da glicerina aquosa</i>			
<i>Armazenamento do produto, co-produto, matérias-primas e subsidiárias</i>			
<i>Serviços</i>			
<i>Outro:</i>			
<i>Valor total (contador geral)</i>			

4.3

	Consumo de .....		
	Toneladas		Informações adicionais
	2009	2010	
<i>"Refinação" (neutralização)</i>			
<i>Produção de biodiesel</i>			
<i>Transesterificação, recuperação de metanol e secagem do ester metílico (biodiesel)</i>			
<i>Pré-tratamento e evaporação da glicerina aquosa</i>			
<i>Armazenamento do produto, co-produto, matérias-primas e subsidiárias</i>			
<i>Serviços</i>			
<i>Outro:</i>			
<i>Valor total</i>			

Existe produção de electricidade na unidade? Se sim, preencha a tabela seguinte:

4.4

	MWh	Informações adicionais
2009		
2010		

Existe produção de electricidade ou calor na unidade (co-geração)? Se sim, preencha a tabela seguinte.

4.5

	Co-geração							
	2009				2010			
	Combustível utilizado		Produção de electricidade (MWh)	Produção de calor (GJ)	Combustível utilizado		Produção de electricidade (MWh)	Produção de calor (GJ)
	Tipo	Toneladas			Tipo	Toneladas		
<i>Total</i>								

4.6 [Se necessário, introduza novas colunas nesta tabela]

	Características dos combustíveis				
	Unidades	Gás natural	X...	X...	Z...
Densidade	kg/m <sup>3</sup>				
PCI	MJ/kg ; MJ/m <sup>3</sup> (n)				
PCS	MJ/kg ; MJ/m <sup>3</sup> (n)				

5. Origem e transporte do óleo de soja

[Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]

	Origem								
	Quantidade		Local	Transporte Principal				Regresso sem carga	Informações adicionais
	2009	2010		Distância percorrida (km)	Tipo	Capacidade (ton)	Capacidade usada (ton)	Sim/Não	
Portugal ...									
Brasil ...									
Brasil.....									
Argentina ...									
Argentina...									
Outros									

6. Transporte de matérias subsidiárias e combustíveis

[Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]

	Origem							
	Local	Transporte/veículo				Regresso sem carga		Informações adicionais
		Distância percorrida (km)	Tipo	Capacidade (ton)	Capacidade usada (ton)	Sim/Não		
"Refinação" (neutraliza)	Ácido fosfórico							
	Soda caústica							
	.....							
	Combustível...							
	Outros							
Produção de biodiesel	Metanol							
	Metilato de sódio							
	Ácido clorídrico							
	Combustível...							

**7. Transporte de biodiesel**

*[Se necessário, introduza novas linhas nesta tabela]*

Destino (Estação de serviço/Refinaria/.....)	Destino								
	Quantidade		Local	Transporte Principal				Regresso sem carga	Informações adicionais
	2009	2010		Distância percorrida (km)	Tipo	Capacidade (ton)	Capacidade usada (ton)	Sim/Não	
...									
...									
...									
Outros									



## APÊNDICE 4. Calculating Greenhouse Gas Emissions for Biofuel chains: inconsistent results between standards

### Calculating Greenhouse Gas Emissions for Biofuel chains: inconsistent results between standards

Fausto Freire  
January 27, 2011

**Center for Industrial Ecology (CIE)**  
ADAI-LAETA, Universidade de Coimbra  
<http://www2.dem.uc.pt/CenterIndustrialEcology/>

1-

The renewable energy directive (RED) and the fuel quality directive (both from 2009) may have adopted the energy allocation approach because of concerns with uncertainties associated with the substitution method. Furthermore, the RED probably assumed that the various biofuel co-products, or at least the more important ones, are used mainly for energy purposes. However, as it is shown below, when the co-products, or at least the main co-product is not used for energy purposes (eg soya biodiesel), energy-based allocation should not be the preferred method. This is particularly important if significantly different GHG emissions are obtained with the substitution method and/or with other allocation approaches, since the RED has assumed (point 81) that the energy allocation approach has “*results that are generally comparable with those produced by the substitution method*”. Furthermore, the Commission also suggests that the substitution (also called displacement method) should be used for the purpose of policy analysis.

Relevant text from the RED Directive:

*(81) Co-products from the production and use of fuels should be taken into account in the calculation of greenhouse gas emissions. **The substitution method is appropriate for the purposes of policy analysis**, but not for the regulation of individual economic operators and individual consignments of transport fuels. In those cases the energy allocation method is the most appropriate method, as it is easy to apply, is predictable over time, **minimises counter-productive incentives and produces results that are generally comparable with those produced by the substitution method. For the purposes of policy analysis the Commission should also, in its reporting, present results using the substitution method.***

And article 23<sup>o</sup>, point 4, where it is stated that a comparison of results should be performed:

*"4. In reporting on greenhouse gas emission saving from the use of biofuels, the Commission shall use the values reported by Member States and shall evaluate whether and how the estimate would change if co-products were accounted for using the substitution approach"*

2-

It should be also emphasized that the draft standards **14067-1 concerning the Carbon footprint of products -- Part 1: Quantification** ([http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43278](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=43278)) (in preparation by ISO/TC 207/SC 7/WG 2) does not adopt any preferred allocation approach and propose to follow the hierarchy of solutions presented in the LCA ISO standards, **ISO 14044:2006**.

**This is a very important argument that should be further explored.**

The draft standards **14067-1 state:**

*5.3.5 Allocation*

*For the treatment of co-products and recycling the provisions of ISO 14044 shall apply. Additional rules, as appropriate, shall be specified in the goal and scope definition phase."*

**and the ISO LCA standards, ISO 14044:2006:**

*4.3.4 Allocation*

*4.3.4.1 General*

*The inputs and outputs shall be allocated to the different products according to clearly stated procedures that shall be documented and explained together with the allocation procedure.*

***The sum of the allocated inputs and outputs of a unit process shall be equal to the inputs and outputs of the unit process before allocation.***

***Whenever several alternative allocation procedures seem applicable, a sensitivity analysis shall be conducted to illustrate the consequences of the departure from the selected approach.***

*4.3.4.2 Allocation procedure*

*The study shall identify the processes shared with other product systems and deal with them according to the*

*stepwise procedure 3) presented below.*

***a) Step 1: Wherever possible, allocation should be avoided by***

*1) dividing the unit process to be allocated into two or more sub-processes and collecting the input and output data related to these sub-processes, or*

***2) expanding the product system to include the additional functions related to the co-products, taking into account the requirements of 4.2.3.3.***

*b) Step 2: Where allocation cannot be avoided, the inputs and outputs of the system should be partitioned between its different products or functions in a way that reflects the underlying physical relationships between them; i.e. they should reflect the way in which the inputs and outputs are changed by quantitative changes in the products or functions delivered by the system.*

*c) Step 3: Where physical relationship alone cannot be established or used as the basis for allocation, the inputs should be allocated between the products and functions in a way that reflects other relationships between them. For example, input and output data might be allocated between co-products in proportion to the economic value of the products. Some outputs may be partly co-products and partly waste. In such cases, it is necessary to identify the ratio between co-products and waste since the inputs and outputs shall be allocated to the co-products part only.*

*Allocation procedures shall be uniformly applied to similar inputs and outputs of the system under consideration. For example, if allocation is made to usable products (e.g. intermediate or discarded products) leaving the system, then the allocation procedure shall be similar to the allocation procedure used for such products entering the system. The inventory is based on material balances between input and output. Allocation procedures should therefore approximate as much as possible such fundamental input/output relationships and characteristics.*

**3- Additional arguments and operational suggestions:**

The energy allocation method seems to be appropriate where all the co-products, most of the co-products or, at least, the main co-product is used for energy purposes. When there is production of co-products in which the main product will not be used for energy purposes, the substitution method should be employed and/or an allocation approach that reflects the function of the main product. It is very important that the results are robust and ***sensitivity analysis should be conducted to illustrate the consequences of using different approaches.***

In particular, **the energy allocation method clearly fails and is problematic when the co-products have distinctly different uses, such as when one co-product is used for energy**

**purposes and another co-product is used for human food or animal feed.** In fact, even though human food and animal feeds have energy content, their function/use is related to nutritional properties and not to the product energy content.

This line of reasoning could be used together with a practical example related with the soya oil extraction process: **the processing of soybean yields after processing 18% of soybean oil and 79% of soybean meal. Its market is mostly driven by the livestock feed industry and the adoption of the energy allocation is, thus, not appropriate at all.** A practical example brought from the Soya-based biodiesel chain could be prepared, to demonstrate the explanations presented in this note, namely that:

The GHG emission calculations using energy allocation, **mass allocation** and the **substitution method lead to significantly different GHG results and violates what is assumed in the point 81 (page L140/25) of the RED, demonstrating the importance of considering other approaches to deal with multifunctionality in biofuel chains where the biofuel feedstock is not the main product, or other important co-products are not used for energy purposes.**

#### **4- Last but not least: A paradox!**

##### **Important inconsistent results between standards for GHG emission calculations**

Concerning the soya oil chain, consider the total GHG emission (not partitioned) for **soybean meal and soybean oil production and compare them with the sum of two separate GHG emission calculations for the two main co-products, as follows:**

- **soybean meal:** GHG emission calculation following the ISO 14044:2006 or the draft N16214 -4:2010 (*Carbon footprint of products -- Part 1: Quantification*), using the substitution approach, mass allocation, or a more complex allocation parameter addressing both protein and energy content.
- **soybean oil:** GHG emission calculation following the RED (2009) GHG methodology or the draft EN16214-4:2010,CEN (*Sustainably produced biomass for energy applications — Principles, criteria, indicators and verifiers for biofuels and bioliquids — Part 4: Calculation methods of the greenhouse gas emission balance using a life cycle analysis*)

**Conclusions:** It can be expected that significantly different results are obtained. This is a paradox and demonstrates how the use of two different standards for two (co-)products leads to **inconsistent** GHG emission calculation. Therefore, it is extremely important that **both the RED (2009) GHG methodology and the EN16214-4:2010,CEN consider the specific situation of co-production, where the main product or an important co-product is not used for energy purposes, permitting the adoption of the substitution method or other allocation approaches, as proposed by the ISO 14044:2006 standards.**



## APÊNDICE 5. Factores de alocação considerados noutros estudos

Tabela A.1. Factores de alocação mássica.

		Biograce (Biograce, 2011c)	Jungbluth <i>et al.</i> , 2007 (Ecoinvent)	
			EUA	Brasil
Extracção	<i>Bagaço de soja</i>	81,2%	80,8%	80,6%
	<i>Óleo bruto de soja</i>	18,8%	19,2%	19,4%
Transesterificação	<i>Biodiesel</i>	90,6%	90,6%	90,4%
	<i>Glicerina</i>	9,4%	9,4%	9,6%

Tabela A.2. Preços dos produtos e factores de alocação económica considerados (Jungbluth *et al.*, 2007).

		US dolares/t*	Factores de alocação económica
Extracção	<i>Bagaço de soja</i>	214	80,6%
	<i>Óleo bruto de soja</i>	477	19,4%
Transesterificação	<i>Biodiesel</i>	833	90,4%
	<i>Glicerina</i>	660	9,6%

\*Preços dados pela United Soybean Board (2002) e Beer *et al.* (2001)



## ANEXOS

## ANEXO 1. Factores de emissão de GEE

## A. Produção de químicos:

Substância química	Factor de emissão (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)	Considerações	Fonte
<b>Hexano</b>	0,75*	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Jungbluth <i>et al.</i> , 2007)
	3,6		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Ácido Fosfórico</b>	Substância pura = 1,21	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
	Solução aquosa concentrada a 85% = 1,03*		
	3,0		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Metanol</b>	0,72*	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
	2,1		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Ácido clorídrico</b>	Substância pura = 0,73	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
	Solução aquosa concentrada a 30% = 0,22*		
	0,8		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Ácido cítrico</b>	1,08*	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
<b>Hidróxido de sódio (soda cáustica)</b>	Substância pura = 1,01	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
	Solução aquosa concentrada a 50% = 0,50*		
	0,5		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Metilato de sódio</b>	4,54*	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Sutter, 2007)
<b>Areias clarificantes</b>	0,20*		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Carbonato de sódio</b>	2,6		
<b>Hidroxido de potássio</b>	1,74	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Althaus <i>et al.</i> , 2007)

\*Valor utilizado no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal.

## B. Produção de electricidade (média tensão):

Electricidade	Factores de emissão (kg CO <sub>2</sub> eq/MJ)	Fonte
<b>Mix Português<sup>#</sup></b>	0,154*	Base de dados Ecoinvent (Frischknecht <i>et al.</i> , 2007)
<b>Mix Europeu</b>	0,128	Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Mix Brasileiro</b>	0,028	Base de dados Ecoinvent (Frischknecht <i>et al.</i> , 2007)
<b>Mix EUA</b>	0,213	

\*Valor utilizado no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal.

# As emissões decorrentes da produção de electricidade em Portugal foram calculadas considerando o seguinte mix eléctrico (IEA, 2008):

Produção de electricidade, por origem, em Portugal*	%
<i>Carvão (hard coal)</i>	24,4
<i>Petróleo</i>	9,0
<i>Gás natural</i>	33,1
<i>Hidro</i>	15,9
<i>Eólica</i>	12,5
<i>Fotovoltaica</i>	0,08
<i>Co-geração (biomassa florestal), alocação exergética</i>	3,4
<i>Co-geração (resíduos, biogas), alocação exergética</i>	1,2

\*Não foi considerada importação de electricidade.

### C. Produção de energia térmica:

Produção de calor	Factores de emissão (kg CO <sub>2</sub> eq/MJ)	Considerações	Fonte
<b>Caldeira a gás natural</b>	0,071*	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Faist Emmenegger, 2007)
	0,068		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Caldeira a fuelóleo (pesado)</b>	0,095	As infra-estruturas não são incluídas.	Base de dados Ecoinvent (Jungbluth, 2007)
<b>Caldeira a carvão</b>	0,130		Base de dados Ecoinvent

\*Valor utilizado no cálculo das emissões de GEE de ciclo de vida do biodiesel de soja em Portugal.

### D. Transporte:

Tipo de transporte	Factores de emissão (kg CO <sub>2</sub> -eq/tkm)	Considerações	Fonte
<b>Marítimo</b>	0,011	Batelão, com capacidade média de 50000	Base de dados Ecoinvent (Spielmann <i>et al.</i> , 2007)
	0,011		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Ferroviário</b>	0,039	Capacidade: > 16 toneladas	Base de dados Ecoinvent (Spielmann <i>et al.</i> , 2007)
<b>Rodoviário</b>	0,124		Biograce-JEC (Biograce, 2011d)
<b>Fluvial</b>	0,046		Base de dados Ecoinvent (Spielmann <i>et al.</i> , 2007)
<b>Pipeline (gás natural)</b>	0,060		Base de dados Ecoinvent (Faist Emmenegger, 2007)
<b>Pipeline (óleo)</b>	0,016		Base de dados Ecoinvent (Jungbluth, 2007)

## ANEXO 2. “Biograce-JEC” e “Ecoinvent”: Inventários

### A. Biograce-JEC:

Extracção (JEC, 2008b)	
Dados de entrada	
<i>Grãos de soja</i>	5319,1 kg/t óleo bruto
<i>Hexano</i>	3,7 kg/t óleo bruto
<i>Electricidade (mix EU)</i>	348,7 kWh/t óleo bruto
<i>Calor (caldeira gás natural)</i>	5319,1 MJ/t óleo bruto
Produção	
<i>Óleo bruto de soja</i>	1000 kg/t óleo bruto
<i>Bagaço de soja</i>	4319,1 kg/t óleo bruto

Refinação (JEC, 2008b)	
Dados de entrada	
<i>Óleo bruto de soja</i>	1024,62 kg/t óleo refinado
<i>Areias clarificantes</i>	6 kg/t óleo refinado
<i>Electricidade (mix EU)</i>	7,6 kWh/t óleo refinado
<i>Calor (caldeira gás natural)</i>	296 MJ/t óleo refinado
Produção	
<i>Óleo de soja refinado</i>	1000 kg/t óleo bruto

Transesterificação (JEC, 2008b)	
Dados de entrada	
<i>Óleo de soja refinado</i>	1040 kg/t biodiesel
<i>Ácido fosfórico</i>	1,7kg/ t biodiesel
<i>Ácido clorídrico</i>	20 kg/t biodiesel
<i>Metanol</i>	109 kg/t biodiesel
<i>Carbonato de sódio</i>	2,5 kg/t biodiesel
<i>Hidróxido de sódio (soda cáustica)</i>	6,72 kg/t biodiesel
<i>Electricidade (mix EU)</i>	38,6 kWh/t biodiesel
<i>Calor (caldeira gás natural)</i>	1545 MJ/ t biodiesel
Produção	
<i>Biodiesel de soja</i>	1000 kg/t óleo bruto
<i>Glicerina</i>	104,16 kg/t óleo bruto

## B. Ecoinvent:

<b>Extracção e Refinação (Jungbluth <i>et al.</i>, 2007)</b>		
<b>Dados de entrada</b>		
	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>
<i>Grãos de soja</i>	5316,3 kg/t óleo refinado	5482,5 kg/t óleo refinado
<i>Hexano</i>	11,4 kg/t óleo refinado	11,7 kg/t óleo refinado
<i>Ácido fosfórico</i>	0,9 kg/t óleo refinado	0,9 kg/t óleo refinado
<i>Electricidade (mix EU)</i>	298,8 kWh/t óleo refinado	308,1 kWh/t óleo refinado
<i>Calor (total)</i>	5199,4 MJ/t óleo refinado	5361,8 MJ/t óleo refinado
<i>caldeira gás natural</i>	4380,5 MJ/t óleo refinado	4391,3 MJ/t óleo refinado
<i>caldeira fuelóleo</i>	228,8 MJ/t óleo refinado	289,5 MJ/t óleo refinado
<i>caldeira carvão</i>	590,1 MJ/t óleo refinado	681,0 MJ/t óleo refinado
<b>Produção</b>		
<i>Óleo de soja refinado</i>	1000 kg/t óleo refinado	1000 kg/t óleo refinado
<i>Bagaço de soja</i>	4221,2 kg/t óleo refinado	4156,8 kg/t óleo refinado

<b>Transesterificação (Jungbluth <i>et al.</i>, 2007)</b>		
<b>Dados de entrada</b>		
	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>
<i>Óleo de soja refinado</i>	1028,1 kg/t biodiesel	1028,1 kg/t biodiesel
<i>Methanol</i>	104,56 kg/t biodiesel	104,56 kg/t biodiesel
<i>Ácido fosfórico</i>	10,45 kg/t biodiesel	10,45 kg/t biodiesel
<i>Ácido clorídrico</i>	4,24 kg/t biodiesel	4,24 kg/t biodiesel
<i>Electricidade (mix EU)</i>	38,93 kWh/t biodiesel	38,93 kWh/t biodiesel
<i>Calor (total)</i>	898,60 MJ/t biodiesel	898,60 MJ/t biodiesel
<i>caldeira gás natural</i>	757,5 MJ/t biodiesel	736,0 MJ/t biodiesel
<i>caldeira fuelóleo</i>	39,5 MJ/t biodiesel	48,5 MJ/t biodiesel
<i>caldeira carvão</i>	101,5 MJ/t biodiesel	114,1 MJ/t biodiesel
<b>Produção</b>		
<i>Biodiesel de soja</i>	1000 kg/t biodiesel	1000 kg/t biodiesel
<i>Glicerina</i>	106,10 kg/t biodiesel	106,10 kg/t biodiesel

### ANEXO 3. Poderes caloríficos Inferiores para Combustíveis

	PCI	Fonte
<i>Diesel</i> <sup>8</sup>	43,0 MJ/kg	Despacho n.º 17313/2008
<i>Gás natural</i> <sup>9</sup>	37,9 MJ/m <sup>3</sup> (n)	
	45,1 MJ/kg	
	0,91 tep/1000m <sup>3</sup> (n)	
<i>Fuelóleo</i>	40,00 MJ/kg	
	0,955 tep/ton	

<sup>8</sup> Densidade = 0,837 kg/L

<sup>9</sup> Densidade = 0,8404 kg/m<sup>3</sup> (n)