



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Análise ambiental e económica da afectação de área agrícola à produção de milho para bioetanol

Tatiana Raquel Alves Valada

Dissertação para obtenção do grau de mestre em

Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente: Prof. Tiago Morais Delgado Domingos,

Orientação: Prof. Tiago Morais Delgado Domingos

Eng. Ricardo Filipe de Melo Teixeira

Vogais: Prof. Tiago Alexandre Abranches Teixeira Lopes Farias

Novembro, 2007

Índice

Agradecimentos	VII
Resumo	IX
Abstract	XI
1 Introdução	1
1.1 Objectivo e motivação	1
1.2 Estado da arte	1
1.3 Definição de conceitos	2
1.4 Importância da utilização dos biocombustíveis	3
1.5 Vantagens associadas à produção e utilização de biocombustíveis	5
1.6 Problemáticas associadas à produção e utilização de biocombustíveis	6
1.7 Situação mundial	8
1.8 Situação em Portugal	9
2 Método	11
2.1 Análise ambiental	11
2.1.1 Introdução à Avaliação de Ciclo de Vida e ao SimaPro 6.0	11
2.2 Análise económica	18
3 Descrição do sistema e análise parcial	19
3.1 Actividades agrícolas	23
3.1.1 Produção de milho	23
3.1.2 Pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas	31
3.1.3 Produção animal confinada (durante a fase de engorda)	35
3.1.4 Produção animal em pastagens	36
3.1.5 Subprodutos da produção de bioetanol (DDG)	37
3.1.6 Análise ambiental, energética e económica da actividade agrícola	37
3.2 Produção de combustível	44
3.2.1 Produção de bioetanol	44
3.2.2 Produção de gasolina	49
3.2.3 Comparação ambiental, energética e económica da produção de combustível	49
3.3 Queima de combustível	52
3.3.1 Comparação ambiental da queima de combustível	55
4 Resultados finais e discussão	57
4.1 Análise ambiental e energética	57
4.2 Análise económica	64
5 Conclusões e Críticas	67
Referências	69
Anexo	73

Índice de tabelas

Tabela 1 – Tipo de biocombustíveis considerados pelo Decreto-Lei n.º 62/2006.	3
Tabela 2 – Evolução da produção de biocombustíveis, entre 2002 e 2004, para vários países.	9
Tabela 3 – Dados necessários para o cálculo da área de terreno necessária para a produção de 1 tonelada de bioetanol assim como da quantidade de gasolina que substitui 1 tonelada de bioetanol.	21
Tabela 4 – Características do bioetanol <i>versus</i> gasolina.	22
Tabela 5 – Classificação da gravidade dos impactes ambientais provenientes da cultura de milho. ...	24
Tabela 6 – Operações que têm lugar aquando do cultivo de milho para a prática de sementeira convencional <i>vs.</i> sementeira directa.	26
Tabela 7 – Descrição das operações que têm lugar no cultivo de milho e que exigem <i>inputs</i> de materiais para além de maquinaria.	27
Tabela 8 – Factores de emissão utilizados para as emissões associadas ao cultivo de milho.	28
Tabela 9 – Valores de emissão obtidos de acordo com o tipo de sementeira praticados.	28
Tabela 10 – Descrição dos custos associados ao cultivo de milho.	29
Tabela 11 – Descrição e quantificação dos parâmetros constituintes da Equação 2.	30
Tabela 12 – Valores considerados para o parâmetro M_i	30
Tabela 13 – Valor da ajuda monetária ao cultivo de milho, de acordo com a área de terreno cultivada e com o tipo de operações.	31
Tabela 14 – Tipo de vegetação e distribuição da mesma ($\text{kg. ton bioetanol}^{-1}$).	32
Tabela 15 – Quantidade de nutrientes adicionados ao solo durante as operações de instalação e manutenção.	33
Tabela 16 – Quantidade de adubo adicionada nas operações de instalação e manutenção.	33
Tabela 17 – Emissões provocadas pela afectação do terreno a pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas.	34
Tabela 18 – Custos associados à instalação e manutenção das PPRSRL.	34
Tabela 19 – Valores considerados para o parâmetro M_i	35
Tabela 20 – Ajudas monetárias associadas às PPRSRL.	35
Tabela 21 – Principais emissões devido à produção animal.	36
Tabela 22 – Emissões provenientes das pastagens, dos fertilizantes nela aplicados e dos animais nas pastagens.	36
Tabela 23 – Impactes ambientais da actividade agrícola correspondente ao cenário do bioetanol. ...	39
Tabela 24 – Impactes ambientais da actividade agrícola correspondente ao cenário da gasolina.	40
Tabela 25 – Comparação dos impactes ambientais entre o cultivo de milho e as PPRSRL.	41
Tabela 26 – Resultados totais da análise ambiental correspondente à actividade agrícola considerando a prática de sementeira convencional no cultivo de milho.	42
Tabela 27 – Resultados totais da análise ambiental correspondente à actividade agrícola considerando a prática de sementeira directa no cultivo de milho.	43
Tabela 28 - Resultados da análise económica para as actividades agrícolas.	44
Tabela 29 – Fontes de informação e de comparação de resultados para a ACV da produção de bioetanol.	45
Tabela 30 – <i>Inputs</i> para a produção de 1 tonelada de bioetanol com um grau de pureza de 95%.	45
Tabela 31 – <i>Inputs</i> para a produção de 1 tonelada de bioetanol.	46
Tabela 32 – Custos associados à produção de bioetanol.	46
Tabela 33 – Quantificação dos parâmetros da Equação 3.	47
Tabela 34 – Dados obtidos para a comparação ambiental entre a produção de bioetanol e de gasolina.	50
Tabela 35 – Dados obtidos para a comparação ambiental entre a produção de bioetanol (sem o cultivo do milho) e de gasolina.	51
Tabela 36 – Custo total da produção de bioetanol <i>vs.</i> produção de gasolina.	51
Tabela 37 – Dados base para a análise das emissões com origem na queima de bioetanol e gasolina.	54
Tabela 38 – Resultados obtidos para as emissões resultantes da queima de bioetanol anidro e gasolina em unidades de $\text{kg. ton bioetanol}^{-1}$	55
Tabela 39 – Resultados obtidos para os impactes ambientais resultantes da queima de bioetanol <i>vs.</i> queima de gasolina.	56
Tabela 40 – Resumo dos <i>itens</i> considerados em cada um dos cenários analisados.	57

Tabela 41 – Resultados finais da comparação ambiental dos dois cenários com e sem sequestro de carbono para a prática de sementeira convencional.....	59
Tabela 42 – Resultados finais da comparação ambiental dos dois cenários com e sem sequestro de carbono para a prática de sementeira directa.	60
Tabela 43 – Contribuição dos vários <i>itens</i> constituintes dos cenários para diversas categorias de impacte correspondentes ao cenário do bioetanol e “Ecoindicator 95”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).....	61
Tabela 44 – Contribuição dos vários itens constituintes dos cenários para diversas categorias de impacte correspondentes ao cenário da gasolina e “Ecoindicator 95”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).....	61
Tabela 45 – Contribuição dos vários itens constituintes dos cenários para diversas categorias de impacte correspondentes ao cenário do bioetanol e “Ecoindicator 99”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).....	62
Tabela 46 – Contribuição dos vários <i>itens</i> constituintes dos cenários para diversas categorias de impacte correspondentes ao cenário da gasolina e “Ecoindicator 99”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).....	63
Tabela 47 – Resultados obtidos para a análise ambiental, considerando apenas a produção e combustão de cada um dos combustíveis, incluindo o milho como matéria-prima da produção de bioetanol e os impactos evitados pelo DDG. O cultivo de milho é efectuado considerando a prática de sementeira convencional e para o DDG é considerada a equivalência dada por Pimentel (2003).....	64
Tabela 48 – Resultados finais da análise económica.	65

Índice de figuras

Figura 1 – Evolução do preço do petróleo (crude).....	4
Figura 2 – Percentagens mínimas de incorporação de biocombustível segunda a Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.	5
Figura 3 – Evolução da produção de milho e da área afecta à mesma entre 1989 e 2005.	10
Figura 4 – Representação esquemática do modo de avaliação em ciclo de vida considerado pelo “Ecoindicator 95”.....	14
Figura 5 – Representação esquemática do modo de avaliação em ciclo de vida considerado pelo “Ecoindicator 99”.....	18
Figura 6 – Ilustração da zona em estudo.	19
Figura 7 – Esquema ilustrativo das implicações e conseqüências da produção e utilização de bioetanol como combustível.	20
Figura 8 - Esquema ilustrativo das implicações e conseqüências da produção e utilização de gasolina como combustível.	21
Figura 9 – Inputs necessários para a afectação do terreno ao cultivo de milho.....	25
Figura 10 – Análise dos efeitos da utilização de pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas.	31
Figura 11 – Descrição do processo de produção de bioetanol a partir de milho.....	44
Figura 12 – Evolução do preço do milho versus combustível fóssil.	47

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem a excelente orientação do professor Tiago Domingos e do Eng. Ricardo Teixeira. Para o enriquecer contei ainda com a amizade, paciência e motivação dadas por Ricardo Teixeira, Ana Simões, Cristina Marta-Pedroso, João Rodrigues, Rosa Trancoso e Rui Mota.

Ajudando com dados essenciais quero agradecer à Eng. Maria de São Luís Centeno, professor Luís Ribeiro, Eng. Carlos Carmona Belo, Professor Tiago Farias e Eng. Joana Portugal.

Gostaria ainda de agradecer aos meus pais e ao Pedro pela paciência e carinho.

Este trabalho encontra-se integrado no projecto Extensivity - Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura, financiado pelo programa Life da Comissão Europeia através do projecto LIFE03 ENV/P/000505.

Resumo

A presente dissertação tem como objectivo realizar uma análise da viabilidade ambiental, energética e económica da produção e uso de bioetanol como substituto da gasolina. A inovação consiste na análise, em ciclo de vida, da implicação em termos de afectação de área produtiva. Para o cenário do bioetanol é analisado o cultivo de milho, enquanto para o cenário da gasolina é considerada a existência de pastagens permanentes de regadio, semeadas e ricas em leguminosas (PPRSRL) na mesma área. De modo a tornar os dois cenários comparáveis, e uma vez que as PPRSRL são pastoreadas pelos animais, no cenário do bioetanol existe um efectivo pecuário equivalente que requer estabulação.

Os cenários são analisados com e sem sequestro de carbono. De forma a garantir a comparabilidade dos resultados obtidos com outros estudos, é efectuada a análise dos dois cenários sem a consideração do custo de oportunidade associado ao terreno. Os resultados mostram que o cenário da gasolina é aquele que possui uma menor emissão de gases de efeito estufa, excepto para o caso em que apenas é considerada a produção e queima de combustível. Para a utilização de recursos energéticos, o cenário que conduz a um menor gasto de energia é o do bioetanol. Este é ainda favorável para a categoria de impacte ambiental que contabiliza a emissão de substâncias que provocam a degradação da camada de ozono podendo também o ser para a emissão de acidificantes. Do ponto de vista económico, ao cenário da gasolina encontra-se associado um menor gasto total.

Palavras-chave: bioetanol, gasolina, ambiente, economia, pastagens semeadas, milho.

Abstract

In this paper we discuss the environmental and economic viability of the production and use of ethanol as a substitute for gasoline. Our main innovation is the fact that our study does not just compare the production and emissions of the two fuels by themselves, but also the consequences regarding land use, in a life cycle assessment context. For the ethanol scenario we study the maize crops and for the gasoline one we consider sown irrigated and rich in legumes pastures (SIRLP) in the same area. In order to make the two scenarios comparable and because the SIRLP are grazed by cattle, in the ethanol scenario we consider that these cattle are stabled.

We analyze these two scenarios considering carbon sequestration and without sequestration. The difference between them is the impact in greenhouse gas emissions. Besides that we also consider the production and use of ethanol, without land opportunity cost, which is the usual scenario analyzed in literature e.g. by Pimentel (2003).

Regarding the emission of greenhouse gases the most favourable scenario is the gasoline one except when the land opportunity is not considered. Regarding the use of energy resources, in all cases, it is possible to conclude that the ethanol scenario is favourable. This scenario is also favourable considering the depletion of the ozone layer and can also be favourable considering the acidification impact. For the economic analysis, the most favourable scenario is the gasoline one.

Keywords: bioethanol, gasoline, environment, economy, sown pastures, maize

1 Introdução

1.1 Objectivo e motivação

A presente tese tem por objectivo a realização de uma comparação ambiental, energética e económica da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, considerando o custo de oportunidade de uso de área produtiva. Tendo em conta a sua importância na estratégia política portuguesa, o biocombustível sujeito a análise é o bioetanol. A matéria-prima que muita expectativa tem alimentado é o milho, sendo portanto este o objecto de estudo. É então objectivo proceder à análise em ciclo de vida de dois cenários: a utilização de bioetanol como combustível *versus* a utilização de gasolina.

A motivação adicional para a realização do estudo proposto pode ser encontrada na existência de outros estudos que apontam resultados interessantes. Tais são os casos dos resultados apresentados por Pimentel (2003) e Peplow (2005), que afirmam que a utilização de bioetanol como substituto da gasolina encontra-se associada a desvantagens ambientais e económicas. Outro exemplo é o estudo de Righelato (2007), que chama a atenção para o uso do solo como um parâmetro digno de interesse.

1.2 Estado da arte

No que diz respeito à temática dos biocombustíveis, muito tem sido dito tanto quanto à necessidade como quanto às desvantagens da sua utilização. Relatórios como aquele realizado pela CCE (2006), Domingos *et al.* (2006), MADRP (2005), IEA (2004), Khokhotva (2004) e a CE (2001) efectuam uma avaliação global da situação actual e necessidade de implementação de biocombustíveis. Estes documentos chamam a atenção para a problemática da dependência de combustíveis fósseis, assim como para a necessidade de diminuição das emissões de gases com efeito de estufa resultantes da sua combustão. Ao longo destes documentos é ainda possível encontrar uma descrição dos vários tipos de biocombustíveis, principais vantagens da sua utilização e problemas associados a esta. É de salientar o documento elaborado pela EEA (2006) e o documento elaborado pela ONU (2007), os quais efectuam uma análise das consequências da utilização de biocombustíveis em termos ambientais, económicos e sociais. Estes tratam questões como a segurança alimentar, necessidade de subsídios e consequências ao nível do uso do solo, concluindo que tais constituem problemáticas a ter em conta.

Outro tipo de documentos foca a sua análise na avaliação na viabilidade ambiental, económica e/ou energética da utilização de alguns tipos de biocombustível, nomeadamente de bioetanol, tendo como matéria-prima o milho. Alguns exemplos desses estudos são aqueles elaborados por Shapouri *et al.* (1995), Pimentel (2003), Ulgiati (2001), Peplow (2005), Marshall *et al.* (2006) Hill *et al.* (2007) e Farrel *et al.* (2006). Seguidamente é apresentada uma síntese do contexto de cada um destes estudos.

Shapouri *et al.* (1995) efectua um balanço energético à produção de bioetanol, concluindo que este é positivo, sendo portanto a sua produção e utilização favorável. Pimentel (2003) efectua

uma avaliação ambiental, económica e energética da produção de milho e de bioetanol, afirmando que o cenário em estudo não é favorável. Contudo, não considera o custo de oportunidade da área produtiva. Ulgiati (2001) analisa a produção de bioetanol considerando uma escala local e uma escala global, e admitindo a produção de milho, de bioetanol e DDG. Conclui que, a larga escala, a produção de bioetanol não representa uma alternativa viável. Peplow (2005) e Marshall *et al.* (2006) fazem uma avaliação, mais aprofundada para o segundo documento, dos problemas ambientais associados ao cultivo de milho. O segundo analisa ainda as implicações económicas. Ambos concluem que o bioetanol tem associado um conjunto de problemas sérios que devem ser levados em conta aquando da escolha do combustível. Hill *et al* (2007) efectua uma análise comparada entre a produção de bioetanol a partir de milho e de biodiesel a partir de soja. Os resultados indicam como favorável a produção de biodiesel. Por último, Farrel *et al.* (2006) analisam 6 estudos que dizem respeito à produção de bioetanol, concluindo que, para todos os estudos, a utilização de bioetanol como combustível representa uma adequada política energética em termos de consumo de combustíveis fósseis.

Contudo, em nenhum deles é considerada a comparação entre um biocombustível e o combustível fóssil por ele substituído, contabilizando o custo de oportunidade da área produtiva. Na verdade a discussão entre a redução de emissões de gases de efeito estufa via utilização de biocombustíveis ou usos favoráveis do terreno tem sido muito pouco aprofundada, tal como atesta o artigo de Righelato *et al.* (2007).

1.3 Definição de conceitos

Verifica-se necessário, nesta fase prévia da análise, a definição de alguns conceitos essenciais à compreensão do trabalho desenvolvido. Para tal recorre-se ao Decreto-Lei n.º 62/2006, de 21 de Março, o qual transpõe a Directiva n.º 2003/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio, relativa à utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes. Esta última insere-se na estratégia da União Europeia de, até ao ano de 2020, substituir 20% dos combustíveis derivados do petróleo usados no transporte rodoviário por biocombustíveis ou combustíveis alternativos.

Dois dos conceitos essenciais são:

- ✓ Biomassa: a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos;
- ✓ Biocombustível: o combustível líquido ou gasoso para transportes, produzido a partir de biomassa.

Segundo o mesmo documento são considerados biocombustíveis aqueles constantes da Tabela 1:

Tabela 1 – Tipo de biocombustíveis considerados pelo Decreto-Lei n.º 62/2006.

Fonte: Decreto-Lei n.º 62/2006

Matéria-prima	Tipo de biocombustível
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Bioetanol
Óleos vegetais ou animais	Biodiesel (éster metílico)
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Biogás
Biomassa	Biometanol
Biomassa	Bioéter dimetílico
Etanol	Bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico)
Biometanol	Bio-MTBE (bioéter metil-ter-butílico)
Biomassa	Biocombustíveis sintéticos (hidrocarbonetos sintéticos ou mistura de hidrocarbonetos sintéticos)
Biomassa e/ou fracção biodegradável de resíduos	Biohidrogénio
Plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado	Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas

1.4 Importância da utilização dos biocombustíveis

Na União Europeia o sector dos transportes é responsável por cerca de 30% do consumo final de energia e apresenta um grau de dependência quase exclusivo de combustíveis derivados do petróleo, levantando, portanto, problemas de sustentabilidade a longo prazo (Freire *et al*, 2004). Adicionalmente, as reservas conhecidas de petróleo são em quantidade limitada e encontram-se em apenas algumas regiões do mundo. Foram, no entanto, localizadas novas reservas, mas na sua maioria de exploração mais difícil. Para garantir o abastecimento energético no futuro há, portanto, que reduzir a dependência das importações de petróleo e desenvolver uma vasta gama de iniciativas políticas, incluindo a diversificação das fontes e da tecnologia (CCE, 2006). Contudo, é de notar que os problemas associados à utilização de combustíveis fósseis não se limitam à sua escassez, sendo de extrema importância o problema da poluição do ar que provém da sua utilização, especialmente no que diz respeito à libertação de gases com efeito de estufa. A utilização de combustíveis fósseis no sector automóvel faz deste responsável por 21% das emissões totais de gases com efeito de estufa a nível da EU-15 (excluindo o sector da aviação e transporte marítimo), encontrando-se esta percentagem a aumentar (EEA, 2007). Para respeitar as metas de sustentabilidade, nomeadamente a redução das emissões de gases com efeito de estufa acordadas no âmbito do protocolo de Quioto, é, portanto, essencial encontrar maneiras de reduzir as emissões produzidas neste sector. Contudo, é ainda de salientar que, segundo Steinfeld *et al.* (2006), o sector pecuário é responsável por uma maior emissão de gases com efeito de estufa do que o sector dos transportes.

Como meio de combate às problemáticas anteriormente descritas, os construtores de veículos estão a desenvolver novos modelos, mais limpos e mais eficientes na utilização dos combustíveis e estão a trabalhar em novos conceitos (CCE, 2006). São, porém, necessárias outras medidas para mudar o rumo do consumo de combustíveis no sector dos transportes. Segundo a Comissão Europeia (2001), a utilização de biocombustíveis é apresentada como uma importante alternativa para o sector dos transportes. Obtidos a partir da biomassa, constituindo assim um recurso renovável, podem substituir directamente os combustíveis fósseis e ser facilmente integrados nos circuitos de

distribuição dos combustíveis. Permitem ainda abrir caminho à utilização de outras tecnologias mais avançadas como o hidrogénio (CCE, 2006).

Todavia, mesmo utilizando as tecnologias mais modernas, os custos dos biocombustíveis produzidos na União Europeia dificultam a concorrência com os combustíveis fósseis. Tendo em conta as tecnologias disponíveis em 2006, o biodiesel produzido na UE torna-se rentável para preços de petróleo próximos dos 60 euros por barril, enquanto o bioetanol se torna competitivo para preços de petróleo de cerca de 90 euros por barril (CCE, 2006). Estes valores foram já ultrapassados pelo que, a produção de biocombustíveis seria já competitiva. A utilização de biocombustíveis está a aumentar em vários países no mundo. Encorajada por decisões políticas, a produção de biocombustíveis a nível mundial é actualmente estimada em mais de 35 mil milhões de litros (CCE, 2006). É de notar que embora a incerteza seja uma característica indiscutível da evolução do preço do petróleo, não é tomado como provável no curto/médio prazo um desagravamento significativo da oscilação de preços actual. Tal fenómeno encontra-se descrito na Figura 1, sendo de salientar que entre Julho de 2007 e Novembro de 2007 os preços mantiveram a tendência ascendente. A referida incerteza não propicia o ambiente necessário ao crescimento económico pretendido a nível nacional e internacional, pelo que o objectivo de redução da dependência energética desta fonte se mantém como prioritário (MADRP, 2005).

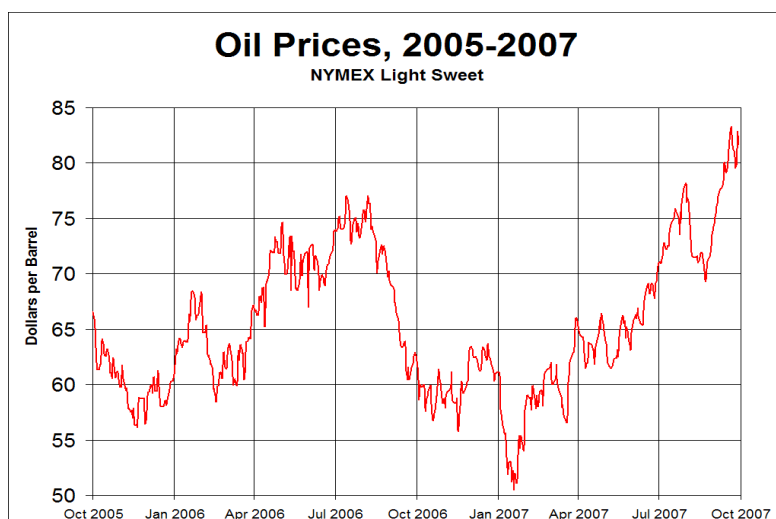


Figura 1 – Evolução do preço do petróleo (crude).

Fonte: www.wikipédia.com, visitada em 2/10/2007.

A promoção da utilização dos biocombustíveis nos transportes rodoviários constitui, assim, um dos objectivos centrais da estratégia comunitária. Neste contexto foram aprovadas metas mínimas que os Estados Membros deverão assegurar para substituição dos combustíveis convencionais (gasolina e gasóleo), utilizados no sector dos transportes, por biocombustíveis (Directiva 2003/ 30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho). As metas acordadas são as constantes da Figura 2. O governo português comprometeu-se, não só a respeitar os valores estipulados, como ainda a atingir uma incorporação de 10% em 2010.

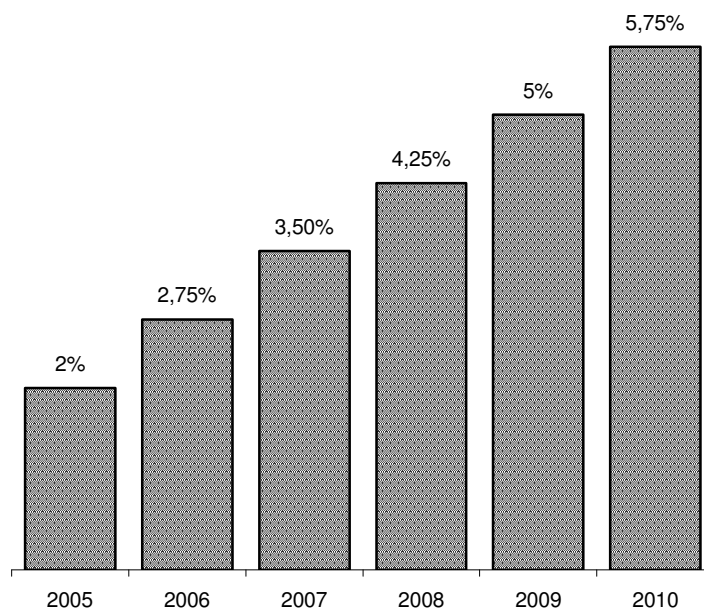


Figura 2 – Percentagens mínimas de incorporação de biocombustível segunda a Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.

1.5 Vantagens associadas à produção e utilização de biocombustíveis

A utilização de biocombustíveis apresenta um conjunto importante de vantagens de natureza social, ambiental e de política energética:

✓ Para a análise das vantagens de carácter social é de referir que “A promoção de culturas energéticas no respeito de práticas agrícolas e florestais sustentáveis está prevista na regulamentação que rege a política agrícola comum e pode criar novas oportunidades, tanto para o desenvolvimento rural sustentável como para a abertura de um novo mercado para produtos agrícolas (...)”. “A criação deste novo mercado para combustíveis (...) representa uma nova oportunidade, podendo resultar na criação de novos postos de trabalho e, conseqüentemente, na fixação de populações e na criação de riqueza em meios rurais. Este mercado permite, ainda, perspectivar a criação de postos de trabalho na indústria transformadora, produtora de biocombustíveis.” (Decreto-Lei n.º 62/2006, de 21 de Março);

✓ “No que diz respeito aos benefícios ambientais para a sociedade em geral, a utilização de biocombustíveis conduz a significativas reduções das emissões globais de dióxido de carbono para a atmosfera, que contribuem para o aumento antropogénico do efeito estufa. Efectivamente, na sua combustão apenas são repostas na atmosfera as quantidades que foram recentemente fixadas por via fotossintética a partir da própria atmosfera.” “Com efeito, em Portugal, a promoção da utilização de biocombustíveis nos transportes rodoviários insere-se no âmbito da estratégia da União Europeia de redução da emissão de gases com efeito de estufa decorrente dos compromissos

assumidos no Protocolo de Quioto, em especial para cumprimento do disposto no Programa Nacional para as Alterações Climáticas (...)” (Decreto-Lei n.º 62/2006, de 21 de Março);

✓ Para a política energética é de notar que “A promoção da produção e utilização de biocombustíveis (...) é uma importante medida para, no âmbito do desenvolvimento sustentável da Comunidade Europeia, reduzir a dependência das importações de energia e influenciar o mercado dos combustíveis no sector dos transportes e, deste modo, a segurança do abastecimento a médio e longo prazos” (Decreto-Lei n.º 62/2006, de 21 de Março).

1.6 Problemáticas associadas à produção e utilização de biocombustíveis

Investigação recente levantou algumas dúvidas quanto ao papel dos biocombustíveis na sustentabilidade da política energética, quando usados em larga escala. A Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2004) faz notar que a intensidade do uso de área agrícola que está na base das culturas energéticas tem necessariamente de ser contabilizada nos balanços ambientais. Associada à utilização de biocombustíveis encontra-se então o impacte das culturas dedicadas, nomeadamente (EEA, 2006):

- ✓ Erosão do solo;
- ✓ Compactação do solo;
- ✓ Lixiviação de nutrientes;
- ✓ Uso excessivo de água;
- ✓ Perda de biodiversidade.

De uma forma geral as culturas permanentes originam menor impacte ambiental do que as culturas anuais uma vez que as primeiras diminuem o risco de erosão e necessitam de menor tratamento de solo, o que significa um menor *input* de fertilizantes e pesticidas. Para além disso, as suas raízes mais profundas reduzem o risco de compactação do solo. Dependendo da cultura, as necessidades de águas das culturas permanentes podem ser bastantes reduzidas, quando comparadas com as culturas anuais.

A Agência Europeia do Ambiente sugere então um conjunto de critérios que permitem uma gestão sustentável dos impactes:

✓ Pelo menos 30% do terreno onde tem lugar a prática de agricultura, na maioria do Estados Membros (todos excepto Bélgica, Holanda, Luxemburgo e Malta), deverá ser dedicado à denominada “*environmentally-oriented farming*” até 2030 (EEA, 2006). Para Portugal o valor de 30% foi já ultrapassado e estima-se que assim continue (EEA, 2006);

✓ 3% das áreas actualmente dedicadas a práticas de agricultura intensiva devem ser reservadas para compensação ecológicas passando a fazer parte de áreas de prática de agricultura extensiva. Alguns estudos indicam que tal medida é favorável para a conservação da biodiversidade nas aves (EEA, 2006);

✓ As áreas onde tem lugar usos extensivos devem ser mantidas como tal (EEA, 2006). Uma vez que nestas não ocorre a prática agrícola, encontram-se livres para a produção de biomassa, sendo ambientalmente favorável a manutenção da sua cobertura vegetal inicial (EEA, 2006);

✓ Devem ser cultivadas, para efeitos de produção de biocombustível, as culturas que minimizem a erosão e compactação do solo, a lixiviação de nutrientes para o solo e cursos de água, uso excessivo de água, poluição por pesticidas e risco de incêndio (EEA, 2006). Idealmente as culturas escolhidas devem ainda exercer um impacto positivo no ecossistema.

Para além do anteriormente analisado é de salientar que a conversão de culturas energéticas para biocombustíveis tem um benefício energético e de poupança de emissões de dióxido de carbono menor do que o seu uso para outras formas de biomassa. Assim, a EEA (2004) conclui que a opção por biocombustíveis é até contraditória com outros objectivos comunitários, como aumentar a proporção de energias renováveis na produção de electricidade uma vez que a biomassa pode ser utilizada para a produção de electricidade (Domingos *et al.*, 2006).

A mesma fonte indica ainda que as culturas energéticas que ocupam menor área são uma combinação de beterraba e biomassa lenhosa (utilizada para bioetanol), enquanto as mais intensivas em necessidades de área são a colza e outras oleaginosas (utilizadas para biodiesel). No entanto, o biodiesel tem maior procura na Europa do que o bioetanol, e prevê-se que assim continue a ser pelo menos até 2010 (Domingos *et al.*, 2006). Assim, a EEA (2004) conclui que seria necessário dedicar de 11 a 28% da área agrícola da UE à produção de culturas energéticas para cumprir os objectivos comunitários (Domingos *et al.*, 2006). Essa conversão teria como primeiro efeito o aumento das emissões de dióxido de carbono mineralizado do solo, pois parte da conversão ocorreria em pastagens e incultos, e as culturas energéticas são geralmente feitas com mobilizações de solo significativas. Isto desviaria também a produção animal destes sistemas extensivos para sistemas intensivos, o que, conjuntamente com o aumento da área dedicada intensivamente à produção de culturas energéticas, causaria um declínio na biodiversidade (Domingos *et al.*, 2006). Não obstante o anteriormente dito, a EEA não desaconselha a utilização de biocombustível. Ao invés, recomenda soluções para exploração sustentável baseada em culturas menos intensivas, que sejam exploradas em sistemas integrados e com a finalidade mais correcta.

A existência de culturas dedicadas à produção de biocombustível que também desempenham um papel alimentar levanta problemas relacionados com a competição directa existente entre a produção de energia e a alimentação humana. De acordo com os relatórios da FAO para 2001-03, existem aproximadamente 854 milhões de pessoas subnutridas em todo o mundo. Destas, cerca de 820 milhões encontram-se em países em desenvolvimento, 25 milhões em países em transição e 9 milhões em países industrializados. A fome mata diariamente 25 000 pessoas, valor superior ao número de mortes devido a SIDA, malária e tuberculose, em conjunto. Neste contexto é clara a discussão existente entre a utilização de terreno para a produção de energia ou para a alimentação humana. Embora tal possa à partida não ser óbvio, o milho desempenha um papel muito importante na alimentação humana e animal sendo também componente de muitos outros produtos não alimentares (ONU, 2007; Manning, 2005; Plieninger, 2007). Nos Estados Unidos os campos de milho ocupam uma área total de 330 000 km² sendo que 1 em cada 4 produtos presentes no supermercado possuem milho (Plieninger, 2007). No que respeita à indústria, o milho pode ser transformado em vários produtos. O óleo pode ser utilizado directamente para consumo humano, podendo ainda ser transformado em produtos como margarina, maionese. No que diz respeito ao

amido, este pode ser transformado em dextrina, a qual é utilizada em produtos como adesivos e xaropes. Em alternativa, o amido pode ser transformado em dextrose, que poderá ser utilizada em enlatados, ou ainda em frutose, a qual constitui o principal adoçante da indústria de doces e bebidas. Além do seu uso para alimentação humana é de notar a importância do milho para a alimentação animal onde o seu grão é utilizado como um importante componente de rações de aves e suínos. No que diz respeito à bovinocultura o milho é utilizado na forma de silagem de grão húmido ou de planta inteira.

A utilização de milho para produção de biocombustível vem então introduzir fortes alterações no mercado de tal matéria-prima. Nomeadamente, havendo uma maior procura é de esperar um aumento do preço da mesma levando ao encarecimento dos produtos derivados de milho. Segundo o relatório da FAO (2007) sobre as perspectivas da agricultura mundial na próxima década, pode-se verificar uma alta de preços para alguns produtos, com destaque para os cereais (ONU, 2007).

O aumento do preço do milho representa então um custo acrescido para os países em desenvolvimento, que são sobretudo importadores, para os criadores de gado e para a indústria agro-alimentar. Contudo o impacto deverá ser mais sentido pelas populações urbanas dos países pobres já que, nos países industrializados, o preço das matérias primas tem cada vez menos impacto no custo final. Segundo Loek Boonekamp, da OCDE, citado pela AFP, um aumento de 20 por cento nos produtos agrícolas de base traduzir-se-á numa subida de um por cento dos bens na prateleira do supermercado.

1.7 Situação mundial

O recurso a biocombustíveis como fonte de energia não constitui uma novidade. Durante a I Grande Guerra, assim como durante a II Grande Guerra, nos Estados Unidos, ao combustível utilizado nos veículos era adicionado álcool como modo de poupança energética. O Brasil, líder na produção de bioetanol, respondeu ao choque petrolífero de 1970 com a criação de regulamentação e incentivos da indústria de produção do bioetanol. A Suécia, depois de ser atingida pelo choque de 1970 definiu um plano alternativo à utilização de combustíveis fósseis até 2020 (Marshall *et al.*, 2006).

Presentemente os biocombustíveis mais utilizados são o biodiesel e bioetanol, tendo vindo a produção de cada um deles a aumentar de ano para ano, com especial importância para o biodiesel (Tabela 2). Os biocombustíveis passam assim a fazer parte de vários sectores tais como a agricultura, indústria petrolífera e transportes. No que diz respeito à agricultura é inevitável a necessidade de adaptação às necessidades de produção de culturas bioenergéticas. Para a indústria petrolífera é clara a procura de ajustamento às novas exigências do mercado, especialmente no que diz respeito à rivalidade entre combustíveis fósseis e biocombustíveis. No sector dos transportes, nomeadamente para a indústria automóvel é necessário o desenvolvimento tecnológico que permita uma utilização o mais eficiente possível dos biocombustíveis.

Tabela 2 – Evolução da produção de biocombustíveis, entre 2002 e 2004, para vários países.

Fonte: EurObservER, No. 167, Maio-Junho 2005.

País	Biodiesel			Bioetanol		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004
	Milhões de galões					
Alemanha	141	224	324	0	0	7
França	114	112	109	30	27	34
Itália	66	85	100	0	0	0
Espanha	0	2	4	59	53	65
Dinamarca	3	13	22	0	0	0
República Checa	22	22	19	2	0	0
Austria	8	10	18	0	0	0
Suécia	0	0	0	17	17	17
Polónia	0	0	0	22	20	12
Reino Unido	1	3	3	0	0	0
Lituânia	0	0	2	0	0	0

Dos países presentes na Tabela 2, aquele que apresenta uma maior produção de biodiesel é a Alemanha, seguida pela França e Itália. No que diz respeito ao bioetanol, segundo a Tabela 2 o maior produtor é a Espanha, seguida da França, Polónia e Suécia. É agora possível comprovar o anterior dito em relação à predominância da produção de biodiesel em comparação com o bioetanol.

Actualmente no Brasil toda a gasolina é misturada com 25% de bioetanol (proveniente maioritariamente de cana de açúcar). Nos Estados Unidos, um combustível de baixo preço, denominado por E85 (possui 85% de bioetanol) tem ganho popularidade (Peplow, 2005).

Existe ainda muito a fazer em matéria de produção de biocombustíveis. Em 2002, e para a União Europeia, o uso de biocombustíveis representava apenas 0,45% do total energético utilizado no sector dos transportes. Contudo, embora os valores absolutos sejam baixos, a taxa de crescimento é elevada. (EEA, 2004).

1.8 Situação em Portugal

Tendo em conta o dito anteriormente sobre a relação existente o uso de combustíveis fósseis e o seu impacte nas alterações climáticas, verifica-se necessário perceber o que tem sido feito em Portugal neste sentido. O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) constitui o instrumento de política do Governo Português que suporta o cumprimento por Portugal do Protocolo de Quioto (Seixas *et al.*, 2006). Seixas *et al.* (2006) avalia o estado do cumprimento do Protocolo de Quioto, com base na actualização das projecções de emissão de gases com efeito de estufa. No PNAC é considerada como medida de combate às alterações climáticas a introdução de biocombustíveis, de acordo com o previamente estabelecido na Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (Seixas *et al.*, 2006). Em 2006, quando foram publicados dados acerca da monitorização, era esperado o alcance das metas propostas, possibilitando estas uma redução de emissão de gases com efeito de estufa em 1 243 Gg de CO_{2eq} (Seixas *et al.*, 2006). Para Portugal, o potencial de produção ambientalmente compatível de bioenergia é de 3,6 Milhões de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP) em 2010, 3,9 MTEP em 2020 e 4,1 MTEP em 2030 (EEA, 2006).

Este potencial fica em larga escala a dever-se à utilização de “resíduos”¹, ficando uma percentagem bem menor a dever-se a culturas agrícolas e florestais. Isto prende-se com o facto de as condições edafo-climáticas nacionais favorecerem uma maior disponibilidade de culturas lenho-celulósicas. É de referir que em Portugal existe presentemente capacidade agrícola para satisfazer a procura estimada em 2010 da totalidade do bioetanol e de parte do biodiesel, através da produção dedicada. Apesar da capacidade agrícola, as culturas em causa não são, geralmente, competitivas, fruto da estrutura das explorações agrícolas ou das referidas condições edafo-climáticas (Domingos *et al.*, 2006). Algumas das culturas que podem ser analisadas como matérias-primas para a produção de bioetanol são os cereais (cevada, milho, trigo, centeio, sorgo) e tubérculos (beterraba sacarina, batata) (Khokhotva, 2004). No que respeita à produção de milho o grau de auto-aprovisionamento de milho, para 2006, era de 29,8% (www.ine.pt, visitado em 10/4/2997) sendo este o cereal mais importante de toda a estrutura de produção cerealífera (INE, 2007). Nos últimos anos tem existido uma diminuição da área dedicada à sua produção assim como da sua produção total (INE, 2006), tal como constante da Figura 3.

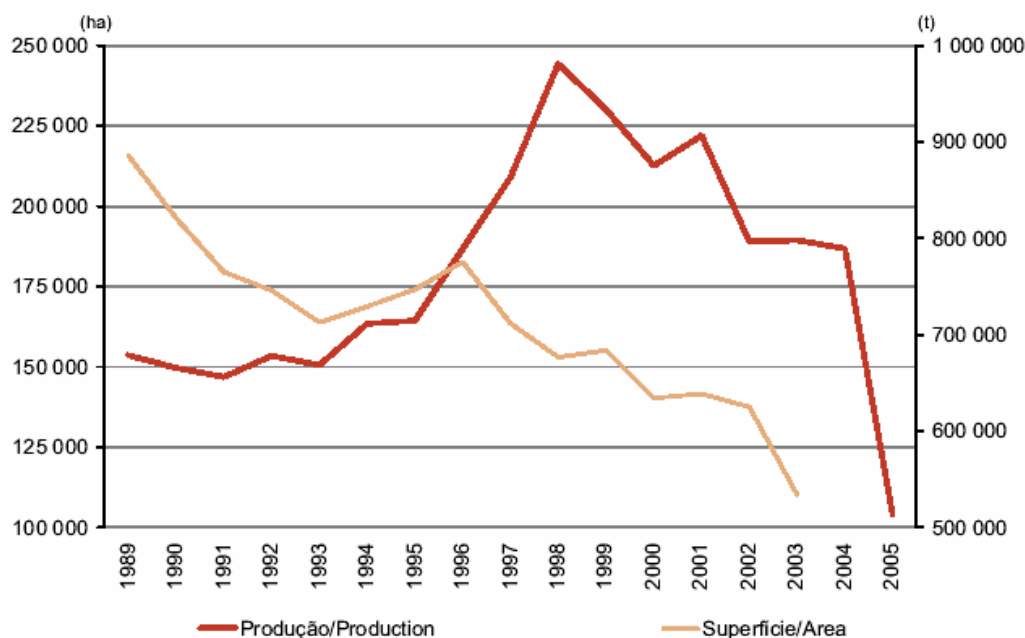


Figura 3 – Evolução da produção de milho e da área afectada à mesma entre 1989 e 2005.

Fonte: INE, 2006

¹ Todos os sub-produtos resultantes da actividade agrícola, resíduos sólidos urbanos, sub-produtos da indústria agro-alimentar, madeiras resultantes de demolições, embalagens ou mobiliário e lamas de ETAR (Definição segundo a EEA, 2006c).

2 Método

2.1 Análise ambiental

Para efectuar a análise ambiental é utilizada uma técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A ACV consiste na contabilização de todos os impactes ambientais que têm lugar desde a aquisição de matéria-prima, assim como produtos previamente manufacturados, até ao impacte de fim-de-vida.

2.1.1 Introdução à Avaliação de Ciclo de Vida e ao SimaPro 6.0

A ACV, conhecida internacionalmente por LCA (*Life Cycle Assessment*), é uma técnica de avaliação de impacte ambiental associado a um produto ou serviço, durante o seu ciclo de vida (Ferrão, 1998; Goedkoop, 1998).

A metodologia da técnica de ACV inclui, de acordo com a norma ISO 14040, quatro fases principais, que se inter-relacionam, nomeadamente:

- ✓ definição do objectivo e do âmbito da análise;
- ✓ inventário dos processos envolvidos, com enumeração das entradas e saídas do sistema;
- ✓ avaliação dos impactes ambientais associados às entradas e saídas do sistema;
- ✓ interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, tendo em conta os objectivos do estudo.

O primeiro passo de um estudo de ACV de um produto ou serviço consiste na definição do seu objectivo. Esta deve indicar qual o produto ou serviço em estudo, o porquê da sua realização e a quem se destina os resultados obtidos (Ferrão, 1998; Goedkoop, 1998).

Para a definição do âmbito da análise é necessária a descrição dos seguintes pontos (Ferrão, 1998):

- ✓ função do produto ou serviço;
- ✓ dados temporais e espaciais do sistema (no qual o produto se desenvolve durante a sua vida);
- ✓ dados necessários para a caracterização do sistema;
- ✓ hipóteses consideradas;
- ✓ limitações do estudo;
- ✓ tipo de avaliação de impacte a usar;
- ✓ qualidade dos resultados pretendidos;
- ✓ tipo de revisão crítica a realizar;
- ✓ tipo e estrutura do relatório final.

Neste primeiro *item* deve ainda ser definido um parâmetro denominado de unidade funcional. Esta responde à necessidade de quantificação do desempenho do produto ou serviço ao executar a função que lhe está associada, constituindo uma referência, em relação à qual se realizará o inventário, ou seja, se determinarão os dados de entrada e saída (Ferrão, 1998).

No que diz respeito à etapa de inventário, desta consta a consideração dos seguintes *itens* (Ferrão, 1998):

- ✓ definição das fronteiras do sistema;
- ✓ esquematização do diagrama de blocos representativo do sistema;
- ✓ recolha de informação;
- ✓ processamento dos dados;
- ✓ análise dos resultados e eventual redefinição das fronteiras do sistema.

Da fase de inventário resulta uma grande quantidade de dados cuja análise impõe a sua redução a um conjunto limitado de informação, o que constitui o principal objectivo da terceira fase da ACV, a da definição do impacte ambiental do produto ou serviço (Ferrão, 1998).

A classificação / caracterização dos impactes ambientais tem como principal objectivo a quantificação do contributo das diversas intervenções ambientais de um sistema para um conjunto de categorias de impacte ambiental (Ferrão, 1998).

A fase de classificação permite então estabelecer a correspondência entre um conjunto de intervenções ambientais listadas na tabela de inventário e um conjunto de categorias ambientais. Esta correspondência é efectuada através da atribuição de pesos que ponderam o contributo das diversas intervenções ambientais em cada categoria de impacte ambiental, mas não estabelece qualquer relação entre eles (Ferrão, 1998, Goedkoop, 1998).

Os factores de ponderação são, de uma forma geral, estabelecidos por comparação com o seu efeito relativamente a uma intervenção ambiental de referência. Estes são calculados com base em estudos sobre o contributo das intervenções ambientais relativamente a uma determinada categoria de impacte ambiental. No estudo efectuada são consideradas características associadas à interacção entre a emissão da substância em análise e o meio em que ela se dissemina, como a sua persistência, mobilidade ou dispersão (Ferrão, 1998).

No âmbito do trabalho em curso foi utilizado o programa SimaPro 6.0, desenvolvido pela empresa holandesa *Pré Consultants*, o qual permite uma realização expedita de ACV.

A informação no SimaPro encontra-se organizada em projectos, os quais podem incluir diversos ciclos de vida de um ou vários produtos e cujos processos podem ser extraídos das bases de dados do SimaPro. Estas últimas encontram-se organizadas em sete categorias (*software* SimaPro 6.0):

- ✓ materiais;
- ✓ energia;
- ✓ transportes;
- ✓ processos;
- ✓ utilizações;
- ✓ estratégias de condicionamento de resíduos;
- ✓ estratégias de processamento de resíduos.

A estruturação do Ciclo de Vida obedece a uma lógica própria, a qual implica a definição de duas componentes, nomeadamente (Ferrão, 1998):

✓ *Assembly principal*: Inclui o conjunto de processos que conduz ao fabrico, distribuição e utilização do produto em que se baseia a ACV.

✓ *Waste / Disposal scenario*: A situação de tratamento final descreve as operações a que o produto será sujeito após a sua utilização. Assim, inclui os processos de triagem (disassembly), reutilização e reciclagem.

Uma vez definido o Ciclo de Vida, o SimaPro calcula a soma das diversas intervenções ambientais associadas à unidade funcional definida na modelação.

Para proceder à avaliação de impacte ambiental foram considerados dois Eco – Indicadores:

- ✓ “*Ecoindicator 95*”;
- ✓ “*Ecoindicator 99*”.

2.1.1.1 “*Ecoindicator 95*”

O “*Ecoindicator 95*” permite efectuar uma classificação, caracterização e normalização dos impactes ambientais de acordo com os seus efeitos (Luo, 2001), tal como descrito na Figura 4.

Os impactes ambientais relacionados com dado produto ou serviço são primeiramente agregados em efeitos a eles associados. Estes são posteriormente caracterizados de acordo com o dano associado. Finalmente, os resultados daí provenientes são, baseados numa avaliação subjectiva, convertidos em um “*single score*” (Goedkoop, 1998).

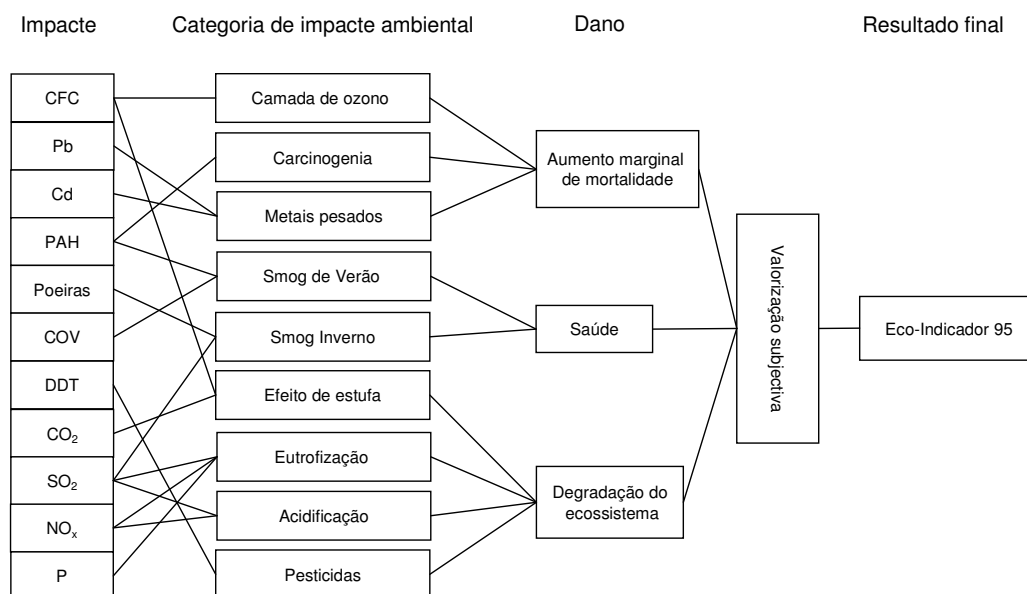


Figura 4 – Representação esquemática do modo de avaliação em ciclo de vida considerado pelo “Ecoindicador 95”.

Fonte: Goegkoop, 1998

A importância e quantificação de cada uma das categorias de impacte ambiental é resumidamente explicada nos parágrafos seguintes (Ferrão,1998 ; Goedkoop, 1998).

Camada de ozono

Algumas substâncias possuem a capacidade de destruir as moléculas de ozono, provocando uma diminuição da espessura da camada de ozono, a qual contribui para o aumento da quantidade de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre, fenómeno que se tem relacionado com o aumento de certas doenças humanas. O potencial de destruição do ozono de cada substância traduz o efeito que se lhe atribui na redução da camada de ozono estratosférica, sendo o CFC-11 adoptado como referência.

Carcinogenia

No contexto em que o desenvolvimento de muitos cancros é favorecido por diversas intervenções ambientais, tais como o amianto e poluentes químicos da água e do ar é aqui considerada a probabilidade que um indivíduo, exposto a uma concentração de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de uma determinada substância, tem de desenvolver cancro. Neste caso, a substância tomada como referência é o benzo[a]pireno (PAH), sendo a categoria medida em kg equivalentes ao PAH.

Metais pesados

Refere-se a elementos como o chumbo, cádmio, prata, arsénio e mercúrio, os quais são tóxicos em concentrações relativamente baixas desde que o tempo de exposição seja elevado. Estes

metais apresentam ainda a característica de persistirem no ambiente por tempo indefinido, podendo acabar por atingir níveis perigosos tanto para a saúde humana como para o equilíbrio dos ecossistemas. É de notar que o cromo e o níquel não são aqui considerados pois o seu efeito como carcinogénicos é superior. O valor referente ao efeito dos metais pesados é expresso em equivalência ao efeito do chumbo.

Smog de Verão

Este efeito surge quando emissões de hidrocarbonetos e de óxidos de azoto para a atmosfera, através de complexas reacções fotoquímicas, são transformados em poluentes secundários, dos quais se destacam o ozono e o nitrato de peroxiacetil. As emissões primárias têm usualmente origem em emissões automóveis ou industriais. O potencial fotoquímico de criação de ozono consiste numa medida da capacidade potencial apresentada por uma substância orgânica volátil para produzir ozono. O valor do etileno foi considerado unitário, sendo todos os restantes inferiores a eles.

Smog de Inverno

As fontes mais importantes são o dióxido de enxofre e as partículas de matéria em suspensão (SPM na literatura anglosaxónica). Esta última é utilizada como referência. Os óxidos de azoto, o monóxido de carbono e algumas substâncias orgânicas contribuem também para este processo.

Efeito de estufa

Neste contexto é utilizado para caracterizar o aumento de temperatura global do planeta que estará a acontecer devido às elevadas emissões antropogénicas dos gases de estufa para a atmosfera, das quais se destacam o dióxido de carbono, o vapor de água, o metano e os clorofluorcarbonetos. O potencial de aquecimento global de uma substância reflecte a sua contribuição para o efeito de estufa, sendo de 1 para o CO₂, o qual foi adoptado como referência.

Eutrofização

Ocorre quando uma excessiva concentração de nutrientes no meio aquático, em especial nitratos e fosfatos, promovem o crescimento de algas. À medida que as algas morrem e se dá a sua decomposição, os elevados níveis de matéria orgânica e de organismos em decomposição fazem baixar os níveis de oxigénio na água, causando a morte de outros organismos superiores, tais como os peixes. Esta sequência de fenómenos pode levar a alterações graves na quantidade e equilíbrio entre espécies do ecossistema, ameaçando a biodiversidade. Apesar de a eutrofização poder ser um processo natural, existem actividades humanas, tais como a utilização de fertilizantes agrícolas, que o podem acelerar.

O fosfato é então tomado como valor de referência.

Acidificação

Os dióxidos de enxofre e de azoto reagem com o vapor de água atmosférico, dando origem aos ácidos sulfúrico e nítrico, os principais responsáveis pelas chuvas ácidas e que, juntamente com

a queda de partículas contendo sais de azoto e enxofre, provocam a deposição ácida. Esta ocorre tanto no solo como na água e, dependendo do local, as alterações no grau de acidez terão intensidades distintas, bem como as alterações que se verificarão ao nível da fauna e da flora locais.

O potencial de acidificação é expresso relativamente ao efeito de acidificação do SO₂, para o qual se assume o valor 1.

Pesticidas

São diversos os efeitos que justificam que se considerem os pesticidas como um problema para o meio ambiente, podendo referir-se dois:

- ✓ A água dos lençóis freáticos pode tornar-se demasiado tóxica para consumo pela população humana (toxicidade humana);
- ✓ A actividade biológica no solo é perturbada, o que conduz a efeitos negativos na vegetação (ecotoxicidade).

Estes são medidos em kg de ingredientes activos.

Estes grupos podem ser subdivididos de acordo com o ingrediente activo que compõe cada um dos pesticidas em questão.

Embora não sejam considerados para a obtenção do valor do eco-indicador é de notar que o “Ecoindicator 95” permite ainda avaliar, em ciclo de vida, a utilização de recursos energéticos assim como a produção de resíduos sólidos. Os recursos energéticos utilizados ao longo de todo o ciclo de vida são medidos em MJ LHV² enquanto que os resíduos sólidos são medidos em kg produzidos (Ferrão, 1998; Goedkoop, 1998).

2.1.1.2 ”Ecoindicator 99”

Ao contrário do seu predecessor (“Ecoindicator 95”), o “Ecoindicator 99” usa uma abordagem “*top down*” no cálculo do impacte ambiental, na medida em que parte da definição dos indicadores de impacte finais (danos ambientais), e dos seus factores de ponderação, para posteriormente estabelecer modelos de dano que os relacionem com as intervenções ambientais (Goedkoop e Spriensma, 2001).

Assim, o método considera três tipos de indicadores de dano ambiental, cuja interpretação se pretende simples e intuitiva, e a partir dos quais se definem modelos que os relacionem com os resultados de inventário, provenientes da ACV. As categorias de dano consideradas são as seguintes (Goedkoop e Spriensma, 2001):

- ✓ Saúde Humana;
- ✓ Qualidade dos Ecossistemas;
- ✓ Recursos.

É de notar que os danos para a saúde humana são expressos em DALY's (*Disability Adjusted Life Years*), unidade que pretende estabelecer a relação causa-efeito entre a redução do número de

² Sigla inglesa para Poder Calorífico Inferior

anos de vida ou número de anos vividos com redução de capacidades físicas, e categorias de efeitos ambientais.

O modelo para a Saúde Humana considera quatro passos: a análise da relação entre a emissão de uma substância e a alteração da sua composição no meio receptor; a análise de exposição, que associa esta alteração da concentração a uma dose; a análise dos efeitos, que relaciona a dose com efeitos provocados na saúde humana, e, finalmente, a análise de dano, que reduz os efeitos verificados a DALY's (Goedkoop e Spriensma, 2001).

Os efeitos susceptíveis de causar dano na Saúde Humana são agrupados nas seguintes categorias ambientais (Goedkoop e Spriensma, 2001):

- ✓ Alterações Climáticas (que provocam doenças cardiovasculares, respiratórias e infecciosas);
- ✓ Destruição da Camada de Ozono (que leva à maior incidência de cancro e doenças oftalmológicas);
- ✓ Respiração de Substâncias Orgânicas e Inorgânicas (provocando doenças respiratórias);
- ✓ Radiação ionizante (provoca doenças cancerígenas);
- ✓ Substâncias cancerígenas.

O indicador de dano para a Qualidade dos Ecossistemas define-se como a percentagem de espécies que desapareceram numa certa área devido à carga ambiental. O cálculo deste dano baseia-se em categorias ambientais como Ecotoxicidade, Acidificação / Eutrofização, e Ocupação / Transformação de solo (Goedkoop e Spriensma, 2001).

A Ecotoxicidade é definida pela percentagem de espécies da área considerada que vivem sob stress toxicológico, expressa em PAF's (*Potentially Affected Fraction*). Esta percentagem é determinada com base nos dados toxicológicos para organismos terrestres e aquáticos (Goedkoop e Spriensma, 2001).

A categoria de impacte Acidificação / Eutrofização é obtida através da observação dos danos nas plantas e cálculo da probabilidade de ocorrência da espécie na área observada. O complementar desta probabilidade é a fracção em risco de desaparecimento (*Potentially Disappeared Fraction - PDF*), sendo portanto medida em $PDF \cdot m^2 \cdot \text{ano}$ (Goedkoop e Spriensma, 2001).

A Ocupação / Transformação de solo tem em conta o impacto nas espécies assim como a ocupação do solo. Trata-se de uma categoria ambiental muito importante uma vez que a ocupação do solo afecta não só a zona onde ocorre, mas também a sua vizinhança. Tem como unidade $PDF \cdot m^2 \cdot \text{ano}$ (Goedkoop e Spriensma, 2001).

O dano sobre o indicador Recursos é modelado pelo Consumo de Minerais e Consumo de Combustíveis Fósseis, sendo que a unidade utilizada MJ *surplus*. Esta representa a quantidade adicional de energia que é necessária no futuro para compensar a utilização presente do recurso (Goedkoop e Spriensma, 2001)

Por sua vez, estas categorias ambientais relacionam-se com as intervenções ambientais (emissões para o ar, a água e o solo) listadas na tabela de inventário. A fase de classificação/caracterização estabelece essa correspondência, através da atribuição de factores de conversão que ponderam o contributo das diversas intervenções em cada categoria de impacte.

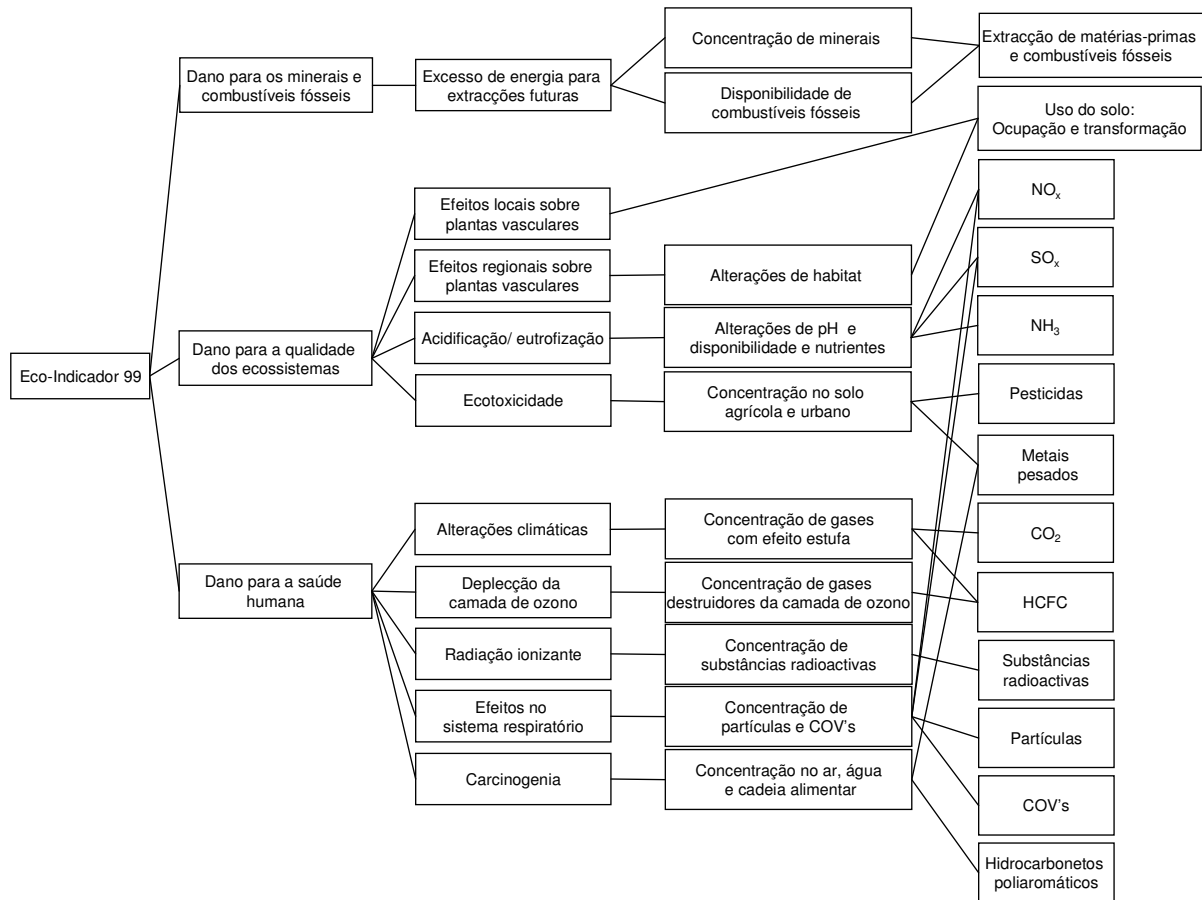


Figura 5 – Representação esquemática do modo de avaliação em ciclo de vida considerado pelo “Ecoindicador 99”.

2.2 Análise económica

Paralelamente à análise ambiental é efectuada uma análise económica que visa analisar qual das opções se apresenta como mais favorável. Esta análise possui dois momentos. Por um lado são analisados custos efectivos e por outro a existência de incentivos e subsídios.

3 Descrição do sistema e análise parcial

É considerada a existência de um terreno de regadio, o qual possui como equipamento de rega um *pivot* (ver Figura 6). Para este terreno são analisados dois cenários alternativos de utilização. O objectivo principal é então a análise comparada entre um cenário que permite a produção de bioetanol a partir de milho (cenário do bioetanol) *versus* uma utilização que foi considerada à partida como ambientalmente competitiva com a produção de biocombustível (cenário da gasolina). Esta utilização alternativa consiste na presença de pastagens permanentes de regadio, semeadas e ricas em leguminosas (PPRSRL), utilizadas para produção animal, nomeadamente bovinos. A escolha da utilização de PPRSRL tem como fundamento o facto de constituir uma alternativa considerada pelos agricultores num contexto real. Para além disso constitui uma alternativa ambientalmente competitiva uma vez que permite um elevado sequestro de carbono, contribuindo assim para a redução dos gases de estufa na atmosfera.

possuir a capacidade de sequestrar constituir uma cultura de regadio (condição necessária para a comparabilidade entre os dois cenários))

O estudo é aplicado a Portugal, nomeadamente à região do Ribatejo (ver Figura 6), uma vez que esta representa uma das áreas com maior produtividade de milho (<http://www.ine.pt>, visitado em 10/4/2007).



Figura 6 – Ilustração da zona em estudo.

Cenário do bioetanol

O terreno é afecto ao cultivo de milho, que é depois utilizado como matéria-prima para a produção de bioetanol. O bioetanol produzido é utilizado como combustível substituto da gasolina. Como subproduto da produção do bioetanol obtém-se um destilado de milho passível de ser utilizado para alimentação animal.

Uma vez que os terrenos cultivados por milho não podem ser pastados pelos animais, ao contrário das PPRSRL, torna-se necessário considerar que os mesmos têm de passar a fase de engorda em estábulo.

Cenário da gasolina

O combustível utilizado é a gasolina, sendo possível utilizar os terrenos para a implantação de PPRSRL, as quais são pastoreadas pelos animais.

Para concretizar a ACV a cada um dos cenários, são necessários, de um modo geral, *inputs* de recursos naturais, operações e mão-de-obra. Como resultantes de todo o processo é possível considerar a existência de impactes ambientais tais como a emissão de gases com efeito de estufa, degradação do solo e emissão de substâncias acidificantes, entre outros. Não é aqui considerada, em ACV, o destino fim de vida, uma vez que este apenas se aplicaria à maquinaria sendo o uso desta reservado a quantidades desprezáveis.

Os cenários 1 e 2 encontram-se esquematizados, respectivamente, na Figura 7 e na Figura 8.

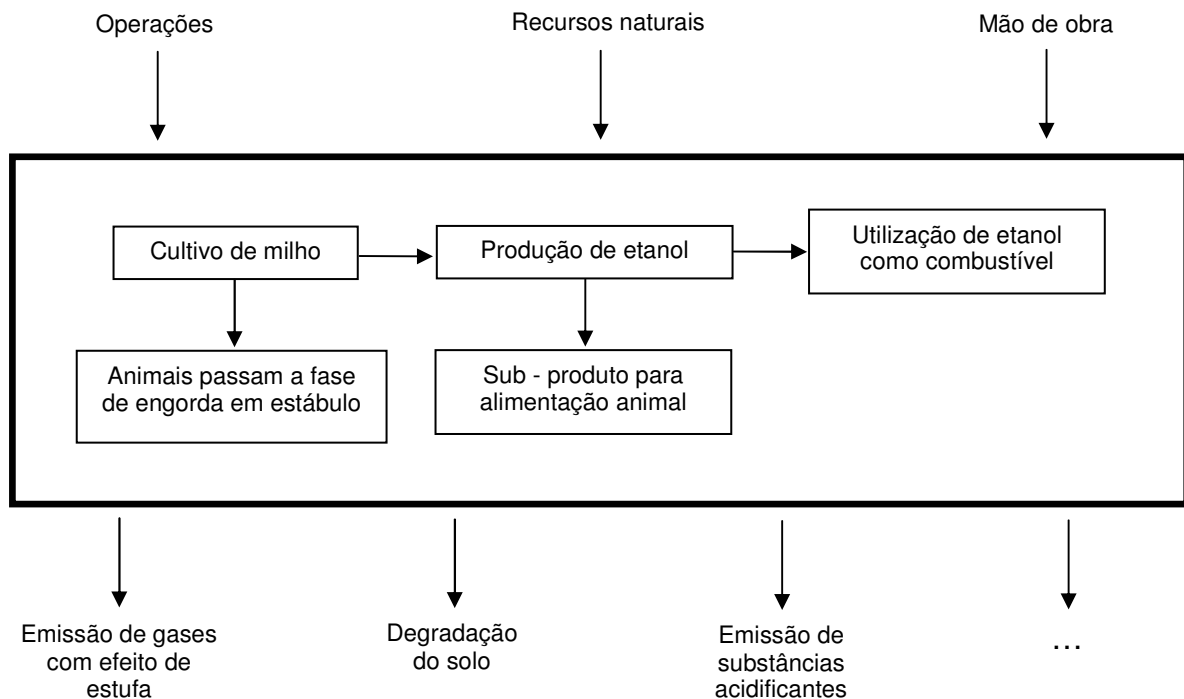


Figura 7 – Esquema ilustrativo das implicações e consequências da produção e utilização de bioetanol como combustível.

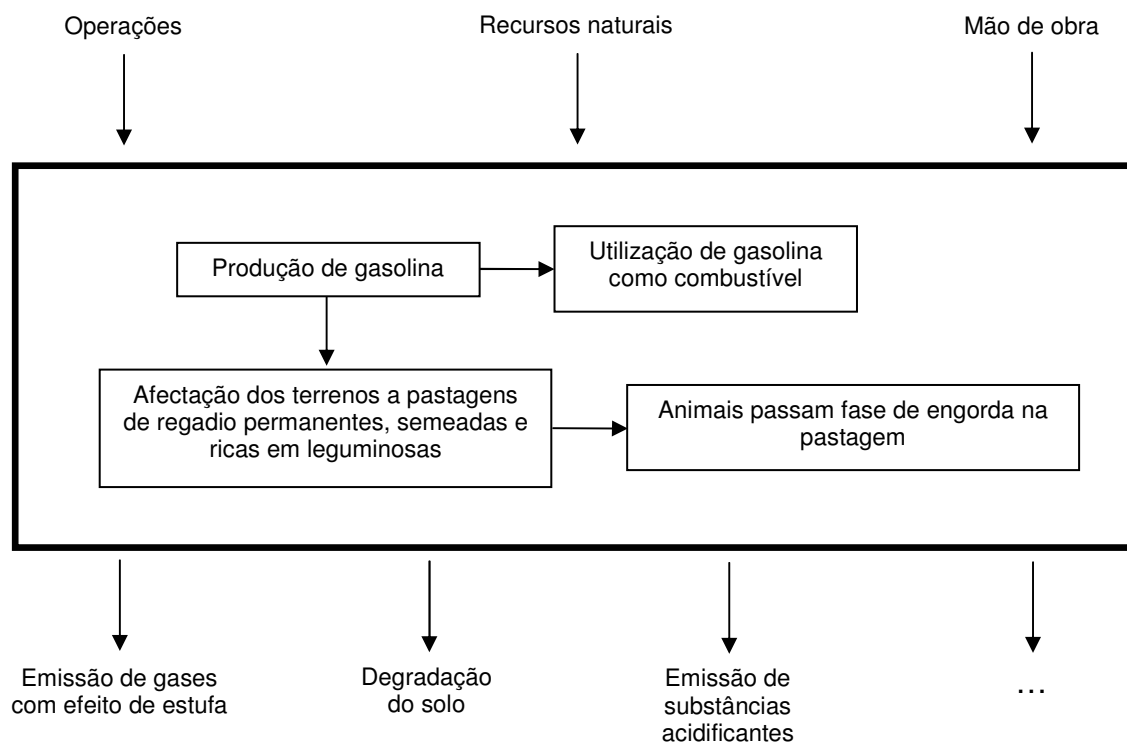


Figura 8 - Esquema ilustrativo das implicações e consequências da produção e utilização de gasolina como combustível.

A ACV é efectuada tendo como unidade funcional a produção de 1 tonelada de bioetanol. Assim sendo é útil, numa fase inicial, perceber quais as implicações em termos de afectação de área e de substituição de gasolina que provêm de tal consideração. Para tal são considerados os dados constantes da Tabela 3

Tabela 3 – Dados necessários para o cálculo da área de terreno necessária para a produção de 1 tonelada de bioetanol assim como da quantidade de gasolina que substitui 1 tonelada de bioetanol.

Produtividade da cultura de milho – sementeira convencional (Basílio, 2007)	13 ton milho/ha terreno
Produtividade da cultura de milho – sementeira directa (Basílio, 2007)	14 ton milho/ha terreno
Produtividade da produção de bioetanol (Pimentel, 2003)	3,4 ton milho/ton bioetanol
Consumo automóvel de gasolina (Portugal <i>et al.</i>, 2007)	5,18E-05 ton gasolina/km
Consumo automóvel de bioetanol (Portugal <i>et al.</i>, 2007)	7,18E-05 ton bioetanol/km

Como é possível constatar na Tabela 3, para a produção de uma tonelada de bioetanol são necessárias 3,4 toneladas de milho a que correspondem 0,27 ha de cultivo de milho, no caso da prática de sementeira convencional, e 0,25 ha para a prática de sementeira directa. Embora a presença de diferentes práticas de sementeira seja apenas aplicada ao cultivo de milho, a correspondente diferença de afectação de área é aplicada aos dois cenários. Desta forma é efectuada a comparação entre o cenário do bioetanol e o cenário da gasolina para um terreno de 0,25 ha paralelamente à análise considerando um terreno de 0,27 ha.

É de notar que, devido às diferentes características dos dois combustíveis (ver Tabela 4), a substituição de um pelo outro não ocorre na proporção de 1 para 1.

Tabela 4 – Características do bioetanol *versus* gasolina.

Fonte: Yüksel, 2004

Característica	Bioetanol	Gasolina
Poder calorífico (MJ/kg)	26,771	44,001
Número de octanas		
Teórico	108,6	88-100
Prático	89,7	80-90

Sendo o poder calorífico do bioetanol inferior àquele da gasolina, seria necessária a utilização de uma maior quantidade de bioetanol para a obtenção de igual energia (Al-Hassan, 2003). Neste caso seria então necessária a utilização de cerca de 0,61 ton de gasolina para a substituição de 1 ton de bioetanol ou 1,5 L de bioetanol para a substituição de 1 L de gasolina, valor concordante com aquele apontado por Freire *et al.* (2004).

Contudo, uma vez que a quantidade de combustível utilizada pelo automóvel não depende apenas do seu poder calorífico, mas também de outras características, tais como o número de octanas, são utilizados valores de consumo de combustível para o cálculo da razão de substituição. Diferindo o consumo típico de bioetanol em cerca de 30%, em unidades de L/km, do consumo de gasolina (Joana Portugal, comunicação pessoal), o quociente entre o consumo de gasolina e de bioetanol fornece o valor de 0,72 toneladas de gasolina como o equivalente a 1 tonelada de bioetanol. É de notar que a utilização desta situação, em detrimento da primeira resulta num aumento do impacto ambiental e económico associado ao cenário da gasolina, favorecendo portanto o cenário do bioetanol.

Para efeitos de análise serão consideradas três etapas distintas. A primeira diz respeito às actividades agrícolas, nomeadamente:

- ✓ Ocupação do solo;
- ✓ Produção animal;
- ✓ Substituição de bagaço de soja por DDG (Pimentel, 2003).

A segunda parte diz respeito à produção de bioetanol *versus* produção de gasolina. Da terceira e última parte consta a comparação entre as emissões provenientes da queima de bioetanol *versus* queima de gasolina.

Seguidamente são integrados todos os *itens* correspondentes a cada um dos cenários, sendo obtida a comparação final pretendida.

3.1 Actividades agrícolas

No que diz respeito à ocupação do solo, quer na situação em que o terreno se encontra afecto ao cultivo de milho quer a PPRSRL, são necessários diversos *inputs*. Contudo, dadas as características distintas de cada uma das alternativas estas vão dar origem a situações ambientais e económicas completamente distintas e de estudo relevante.

Para a produção animal são considerados os impactes da produção da ração, assim como as emissões de gases de origem animal. Para o cenário da gasolina, as PPRSRL são pastoreadas pelos animais. Desta forma, para tornar os dois cenários comparáveis, é considerado que aquando do cultivo de milho estes mesmos animais encontram-se estabulados. Existem portanto diferenças fundamentais no que respeita à alimentação e às emissões decorrentes destas duas alternativas. É aqui considerada apenas a fase de engorda, o que equivale a um período de tempo entre os 7,2 meses e os 12 meses (Fiúza *et al.*, 2007). No período anterior a este os animais encontram-se no pasto com as progenitoras, alimentando-se exclusivamente de leite materno. No período posterior ao referido os animais seguem para abate, fases comuns para as duas alternativas. Tratam-se de vitelões, representando cada um deles 0,6 CN/ha, sendo um animal adulto o equivalente a 1 CN/ha. Deste modo, tendo sido considerado um encabeçamento para as vacas de 3,3 CN/ha equivale, para os vitelões, a um encabeçamento de 5,5 CN/ha. É de notar que estes valores correspondem a médias para animais entre os 6 e 12 meses, o que não corresponde exactamente ao caso em estudo, sendo no entanto considerada uma boa aproximação.

Nesta secção é ainda considerada a utilização de DDG para alimentação animal, sendo assim evitados os impactes da produção agrícola de bagaço de soja (Pimentel, 2003).

3.1.1 Produção de milho

O cenário do bioetanol considera como ocupação do solo o cultivo de milho. O facto de determinada área estar sujeita ao cultivo intensivo de dada espécie, como é o caso do milho, faz com que nela tenha lugar um conjunto de pressões ecológicas relevantes. As pressões referidas resultam da acção conjunta de vários factores, sendo efectuada, na Tabela 5 um resumo das principais pressões e agentes envolvidos.

Tabela 5 – Classificação da gravidade dos impactes ambientais provenientes da cultura de milho.

Fonte: EEA, 2006

Milho		
	Classificação	Motivo
Erosão	Risco elevado	O solo encontra-se descoberto durante longos períodos de tempo, cultura em carreira.
Compactação solo	Risco médio	Sistema radicular pouco desenvolvido, uso médio de maquinaria.
Lixiviação de nutrientes	Risco elevado	Elevada necessidade de uso de fertilizantes.
Poluição por pesticidas	Risco elevado	Elevado uso de pesticidas (cultura sujeita a um número razoável de doenças).
Consumo de água	Risco baixo a médio	Elevada eficiência no consumo, no entanto é vulgar precisar de ser regada.
Biodiversidade	Risco elevado	Baixa diversidade de ervas daninhas, proporciona algum abrigo no Outono.
Diversidade de espécies vegetais	Risco médio a elevado	Em algumas regiões representa a cultura dominante.

De uma forma geral os factores envolvidos prendem-se com as características intrínsecas do solo, da cultura instalada e das operações sobre ela efectuadas.

No que diz respeito ao tipo de cultura instalada, o cultivo de milho, proporciona um descoberto do solo por longos períodos de tempo, sendo o solo nu mais sensível a fenómenos de erosão. Exige ainda uma utilização considerável de fertilizantes e água. Associado à utilização de fertilizantes encontra-se o fenómeno de lixiviação de nutrientes, nomeadamente de nitratos e fosfatos, que são lixiviados para o solo e para as águas superficiais (EEA, 2006). Este fenómeno assume particular importância quando o solo fica descoberto. A chuva danifica as camadas superficiais de solo e transporta os nutrientes para as camadas mais abaixo, originando uma contaminação da água subterrânea e em última instância, dos rios (Teixeira, *et al.*, 2007). Os fertilizantes, tal como os pesticidas, são ainda responsáveis pela emissão de compostos responsáveis por fenómenos de acidificação assim como por alterações nas estruturas biológicas do solo (EC, 2000). Para além disso, a fertilização pode ainda originar fenómenos de eutrofização assim como estar na origem de alterações climáticas (Pluimers *et al.*, 2000). No que diz respeito à utilização de água, constitui um problema a ter em conta, especialmente no sul da Europa, onde a disponibilidade de água é reduzida e com variações anuais. O aumento das áreas regadas tem contribuído para a escassez de água, traduzida numa diminuição de água subterrânea e do nível de água em rios e lagos e consequente salinização, perda de terras húmidas e outros habitats. De uma forma geral tem havido um aumento da competição por água entre a agricultura, utilizações urbanas, turismo e conservação da natureza, com especial incidência em regiões mais secas da Europa (EEA, 2006). A agricultura utiliza cerca de 7% e 50% do total de água utilizado para o norte e sul da Europa, respectivamente (EEA, 2006). Embora as culturas de milho possuam uma elevada eficiência no consumo de água (EEA, 2006), é de notar a necessidade de, na maioria dos casos se proceder à rega dos campos. É ainda de referir que, no caso de uma irrigação excessiva a lixiviação de nitratos também ocorre durante a fase de crescimento do milho.

O tipo de cultivo praticado leva ainda à perda de práticas de rotação de culturas, assim como à simplificação dos sistemas de cultura e práticas de monocultura, o que conduz a uma perda de biodiversidade. Este fenómeno encontra-se ainda relacionado com a diminuição de áreas não cultivadas, tais como pastos. A biodiversidade sofre também pressões indirectas, tais como a erosão e compactação do solo, lixiviação de nutrientes e pesticidas para reservas de água subterrânea e superficial, e uso excessivo de água. A introdução de diversidade do tipo de culturas apresenta-se então como favorável para a presença de uma biodiversidade considerável uma vez que gera uma maior diversidade de habitats (EEA, 2006).

O tipo de operações efectuadas, nomeadamente a lavoura (da qual faz parte a gradagem), estão relacionadas com a deterioração da camada superficial do solo (Burle *et al.*, 1997). De modo a contrariar tal impacte a lavoura deve então ser reduzida ao mínimo, deve ser adicionada matéria orgânica ao solo e este último deve ainda encontrar-se coberto (Burle *et al.*, 1997). A utilização de arado associado a um solo com uma cobertura insuficiente tem como resultado uma perda das características físicas, químicas e biológicas do solo. A diminuição da quantidade de matéria orgânica presente no solo é um indicador deste processo e afecta outras características importantes do solo tal como a capacidade de troca catiónica. (Burle *et al.*, 1997). É possível considerar que uma não prática de lavoura tem um impacte adicional no sequestro de carbono uma vez que potencia a presença de matéria orgânica no solo. Trata-se de um impacte não permanente, mas ainda assim, positivo (Teixeira *et al.*, 2007). Para além do acima referido, a utilização de maquinaria provoca ainda a compactação do solo.

Uma cultura de milho necessita, de modo geral, dos *inputs* constantes da Figura 9.

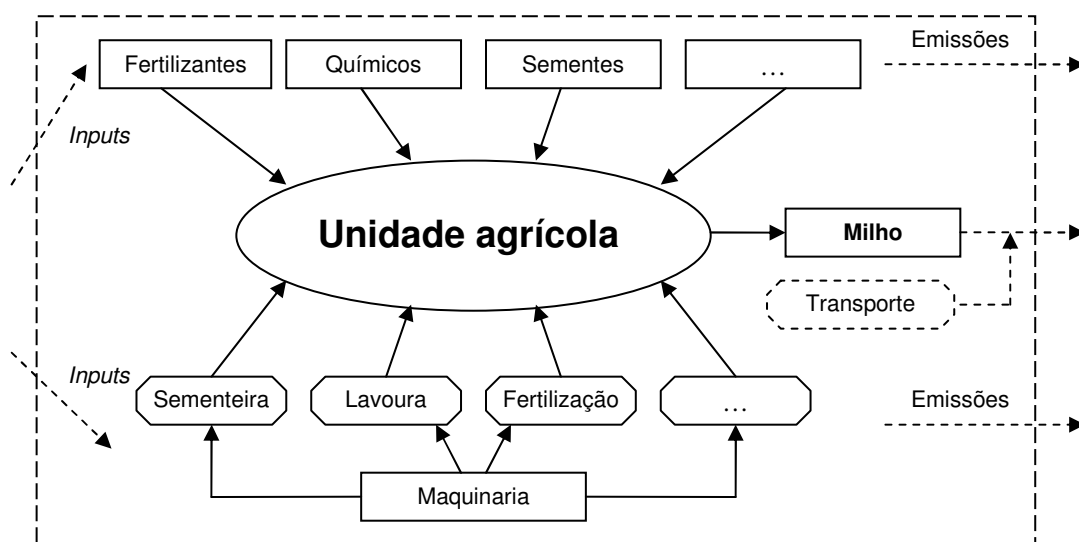


Figura 9 – Inputs necessários para a afectação do terreno ao cultivo de milho.

Adaptado de Teixeira *et al.*, 2007

No que diz respeito à operação de sementeira é possível considerar duas alternativas:

- ✓ Sementeira convencional;
- ✓ Sementeira directa.

Por sementeira directa entende-se o sistema em que não existe mobilização do solo previamente ao acto de sementeira. É o próprio semeador, e apenas na linha de sementeira, que provoca a mobilização do solo mínima necessária para a introdução e o enterramento da semente. Assim, estes sistemas exigem, normalmente, não só a aplicação de herbicidas de pré-sementeira, como também a utilização de semeadores especiais, designados por semeadores de sementeira directa (<http://www.aposolo.pt>, visitado em 8/7/2007). Embora a prática de sementeira directa possua vantagens imediatas são necessários alguns anos (2 a 4 anos) para que se verifique um aumento do teor de matéria orgânica do solo e o conseqüente aumento da estabilidade da estrutura, assim como o estabelecimento de uma rede intensa e contínua de porosidade biológica, resultante da actividade das raízes das diferentes culturas que se vão sucedendo (www.min-agricultura.pt, visitado em 8/7/2007).

Torna-se então pertinente o conhecimento das operações que têm lugar no cultivo de milho, por ordem cronológica, quer seja considerada a existência de sementeira directa ou de técnicas convencionais de sementeira (Tabela 6). A concretização das operações descritas inclui a utilização de maquinaria diversa assim como a adição de sementes, fertilizantes e pesticidas.

Tabela 6 – Operações que têm lugar aquando do cultivo de milho para a prática de sementeira convencional vs. sementeira directa.

Fonte: Basílio, 2007

Operações	Sementeira convencional	Sementeira directa
Destroçamento de resíduos	✓	✓
Gradagem (1ª)	✓	X
Lavoura	✓	X
Monda Química (Pré-Sementeira)	X	✓
Fertilização (Adubação de Fundo)	✓	✓
Gradagem (2ª)	✓	X
Sementeira e Fertilização	✓	X
Sementeira Directa e Fertilização	X	✓
Monda Química (Pré-Emergência)	✓	✓
Sacha (Abertura de Regos) e Fertilização (Adubação de Cobertura)	✓	X
Fertirrigação (Adubação de Cobertura)	✓	✓
Colheita (Ceifa e Debulha)	✓	✓
Transporte do grão	✓	✓
Secagem do grão	✓	✓
Rega por pivot	✓	✓

✓ - significa que tem lugar dada operação para o tipo de sementeira em análise.

x - significa que para o tipo de sementeira em análise, a operação não tem lugar.

Seguidamente ao destroçamento de resíduos é aqui considerado que a superfície do terreno permanece coberta por resíduos (tais como restos da cultura anterior e infestantes mortas). Deste

modo o solo é protegido contra a erosão e permite um aumento do teor de matéria orgânica no mesmo. É de notar a importância que a diminuição da perda de solo por erosão, juntamente com a redução da perda de água por escoamento superficial, assumem no contexto de contaminação das águas superficiais uma vez que os carreiros transportados durante a erosão do solo são a principal contribuição do sector agrícola para a poluição destas águas.

As quantidades necessárias de fertilizantes e pesticidas encontram-se descritas na Tabela 7. É de notar que a fertirrigação consiste na adição de fertilizantes à água de rega. No que diz respeito ao transporte é considerada uma distância ao assento de lavoura de 1km.

Tabela 7 – Descrição das operações que têm lugar no cultivo de milho e que exigem *inputs* de materiais para além de maquinaria.

Fonte: Basílio (2007)

Operação	Descrição		Unidades	Quantidade por hectare		Quantidade por ton de bioetanol	
				SC	SD	SC	SD
Moda Química (Pré-Sementeira)	Herbicida	Montana	L	-	3,5	-	0,9
		Rumbo Vallés	L	-	1,5	-	0,4
Fertilização (Adubação de Fundo)	Fertilizante	Foskamónio	kg	501,5	501,2	133,7	124,4
Sementeira Convencional, Sementeira Directa e Fertilização	Sementes	Híbrido Pioneer PR 34 N 43	kg	2,5	2,6	0,7	0,7
	Fertilizante	Fosfato de Amónio Ferti "DAP"	kg	150,5	158,1	40,1	39,2
Monda Química (Pré-Emergência)	Herbicida	Primextra S Gold	L	3	3	0,8	0,7
Sacha e Fertilização	Fertilizante	Ureia 46%	kg	400,9	-	106,9	-
Fertirrigação	Fertilizante	Nitro Magnésio	kg	-	167,1	-	41,5
		Nitromais	m ³	167,1	668,2	44,5	165,9
Rega	Pivot	Água	m ³	3840	3840	1023,5	953,4

SC – sementeira convencional

SD – sementeira directa

Como emissões, são tidas em conta aquelas que provêm da adubação, assim como a lixiviação de NO₃⁻ e sequestro de carbono. Os factores de emissão considerados constam da Tabela 8 e os valores de emissão por tonelada de bioetanol encontram-se na Tabela 9, à excepção do sequestro de carbono. Este último apenas é considerado aquando da prática de sementeira directa e na quantidade de 3 tonCO₂.ano⁻¹.ha⁻¹ (ECCP, 2003) tendo como origem a permanência no solo de matéria orgânica, juntamente com a reduzida mobilização do solo, Para o caso em que é utilizada a sementeira convencional não é considerada qualquer capacidade de sequestro de carbono por parte do terreno, visto que a realização de lavoura implica que a matéria orgânica eventualmente acrescida até então é novamente mineralizada.

Tabela 8 – Factores de emissão utilizados para as emissões associadas ao cultivo de milho.

Fonte: van der Werf *et al.*, 2005

Emissão	Valor utilizado	Unidade
Lixiviação de NO ₃ ⁻	40	kg NO ₃ /ha
Emissão de NH ₃ devido ao uso de fertilizantes azotados	0,020	kg NH ₃ /kg N aplicado
Emissão de N ₂ O devido ao uso de fertilizantes azotados e fixação biológica de azoto	0,013	kg N ₂ O/kg N aplicado
Emissão de N ₂ O originada pela deposição atmosférica de NH ₃	0,010	kg N ₂ O/kg N aplicado
Emissão de N ₂ O devido à lixiviação e escorrência de NO ₃	0,025	kg N ₂ O/kg NO ₃
Escorrência de PO ₄ para as águas superficiais	0,010	kg PO ₄ /kg P aplicado

Tabela 9 – Valores de emissão obtidos de acordo com o tipo de sementeira praticados.

Emissão	Quantidade Sementeira Convencional	Quantidade Sementeira Directa	Unidade
Lixiviação de NO ₃ ⁻	10,66	9,93	kg NO ₃ . ton bioetanol ⁻¹
Emissão de NH ₃ devido ao uso de fertilizantes azotados	1,61	1,58	kg NH ₃ . ton bioetanol ⁻¹
Emissão de N ₂ O devido ao uso de fertilizantes azotados e fixação biológica de azoto	1,01	0,99	kg N ₂ O. ton bioetanol ⁻¹
Emissão de N ₂ O originada pela deposição atmosférica de NH ₃	0,80	0,79	kg N ₂ O. ton bioetanol ⁻¹
Emissão de N ₂ O devido à lixiviação e escorrência de NO ₃	0,27	0,25	kg N ₂ O. ton bioetanol ⁻¹
Escorrência de PO ₄ para as águas superficiais	0,38	0,37	kg PO ₄ . ton bioetanol ⁻¹

Para a análise económica são considerados os seguintes *itens*:

- ✓ custo do cultivo de milho (operações, matérias-primas e compostos adicionados);
- ✓ custo da água;
- ✓ ajudas governamentais associadas ao cultivo de milho.

Para o custo do cultivo de milho são considerados os valores constantes da Tabela 10. É de notar que ao cultivo de milho com a prática de sementeira convencional encontra-se associado um custo total superior.

Tabela 10 – Descrição dos custos associados ao cultivo de milho.

Fonte: Basílio, 2007

Descrição Custo	Custo (€. ha ⁻¹)		Custo (€. ton bioetanol ⁻¹)	
	SC	SD	SC	SD
Factores de produção				
Sementes	200,43	190,07	53,42	47,19
Fertilizantes	281,08	308,17	74,92	76,52
Produtos Fito-farmacêuticos	32,92	57,30	8,77	14,23
Custos de mecanização				
Destroçamento de resíduos	0,95	0,96	0,25	0,24
Gradagem (1 ^a)	42,00	-	11,20	-
Lavoura	89,81	-	23,94	-
Monda Química	-	29,29	-	7,27
Adubação de Fundo	12,04	10,66	3,21	2,65
Gradagem (2 ^a)	48,73	-	12,99	-
Sementeira e Adubação	38,39	88,17	10,23	21,89
Monda Química	31,75	31,73	8,46	7,88
Sacha, Abertura de regos e Fertilização	57,35	-	15,29	-
Ceifa e Debulha	255,36	290,33	68,07	72,09
Transporte do grão	73,85	74,54	19,69	18,51
Rega	405,01	405,01	107,95	100,56
Secagem	261,17	323,30	69,62	80,27
Total	1830,86	1809,54	488,01	449,28

SC – sementeira convencional; SD – sementeira directa

No que diz respeito à quantificação monetária da água utilizada recorre-se à Taxa de Recursos Hídricos (TRH), descrita pela Equação 1. Esta permite o apoio às despesas decorrentes da necessidade do Estado conservar os recursos hídricos assim como uma internalização dos custos gerados pela degradação do estado da água. É aqui considerada uma simplificação da equação original, sendo apenas considerado os custos da utilização de água pertencente ao Domínio Público Hídrico e fontes de poluição difusa (Fiúza, 2006).

$$TRH = V \times trh_u \times C_{sect} \times C_{esc} \times C_{efic} + \sum_{j=1}^k trh_{dj} \times M_j \quad \text{Equação 1}$$

A descrição e quantificação dos parâmetros constituintes encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Descrição e quantificação dos parâmetros constituintes da Equação 2.

Fonte: Fiúza, 2006

Parâmetro	Unidades	Descrição	Valor
V	m ³	Volume de água utilizado	-
trh _u	€/m ³	Taxa unitária de utilização	0,011 ³
C _{sect}	-	Coefficiente sectorial. Tem por objectivo o ajustamento do valor a pagar pela água utilizada, reflectindo a mais valia obtida por cada tipo de utilização, ponderando a importância socio-económica dos recursos hídricos.	0,20
C _{esc}	-	Coefficiente de escassez. Reflecte o valor dos recursos hídricos através da ponderação da sua disponibilidade geográfica e temporal.	1,10
C _{efic}	-	Coefficiente de eficiência. Tem por objectivo incentivar o aumento da eficiência da utilização da água.	0,65
trh _{dj}	€/kg	Taxa unitária de recursos hídricos aplicável à poluição difusa sobre cada indicador de contaminação potencial j	0,03
M _j	kg	Quantidade potencialmente contaminante do indicador j	-

No que diz respeito à poluição difusa são então considerados como potenciais contaminantes as emissões de N e P, as quais assumem os valores constantes da Tabela 12 e que representam o total de N e P adicionados sob a forma de fertilizantes. É de notar que este valor se encontra sobre-estimado uma vez que a maior parte dos fertilizantes adicionados vão ser absorvidos pela planta não contribuindo para fenómenos de poluição. De qualquer modo o erro inserido não é significativo uma vez que uma alteração do valor destes parâmetros tem associada uma pequena variação do valor de TRH. São então obtidos, para a TRH, os valores de 2,05 e 1,92 €. ton bioetanol⁻¹ para a prática de sementeira convencional e directa, respectivamente.

Tabela 12 – Valores considerados para o parâmetro M_j.

Poluente	Sementeira Convencional (kg. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira Directa (kg. ton bioetanol ⁻¹)
N	14,35	13,54
P	0,38	0,37

SC – sementeira convencional

SD – sementeira directa

O cultivo de milho pode ainda encontrar-se sujeito aos incentivos monetários constantes da Tabela 13.

³ Fonte: Comunicação pessoal de Maria de São Luís Centeno. Valor para a Associação de Regantes do Vale do Sorraia.

Tabela 13 – Valor da ajuda monetária ao cultivo de milho, de acordo com a área de terreno cultivada e com o tipo de operações.

Fonte: MADRP, 2007

Escalões		Nível de Ajuda (€/ha)	
		PRODI ⁴	Compromisso adicional de sementeira directa ou mobilização na linha
1º	≤20 ha	194	115
2º	20 a 40 ha	155,2	92
3º	40 a 100 ha	97	57,5
4º	>100 ha	38,8	23

3.1.2 Pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas

No caso do cenário da gasolina, o terreno de regadio é afecto a PPRSRL, as quais, devido às suas características, são pastoreadas por bovinos durante a fase de engorda.

À utilização deste tipo de pastagem está associada a um conjunto de implicações ecológicas e económicas únicas, como mostra a Figura 10. A afectação dos terrenos a PPRSRL permite um aumento da produtividade, a qual conduz a um aumento da biodiversidade selvagem e do encabeçamento sustentável. Este último permite um incremento da matéria orgânica do solo, factor crítico para a retenção de água assim como para a diminuição da erosão e o sequestro de carbono. A fixação de azoto pelas leguminosas reduz o consumo de fertilizantes azotados, cuja produção tem um elevado custo energético e portanto elevadas emissões de gases de efeito de estufa. Finalmente, quer o aumento de encabeçamento, quer a redução do consumo de adubos azotados, aumentam a viabilidade económica da exploração (Teixeira *et al.*, 2007).

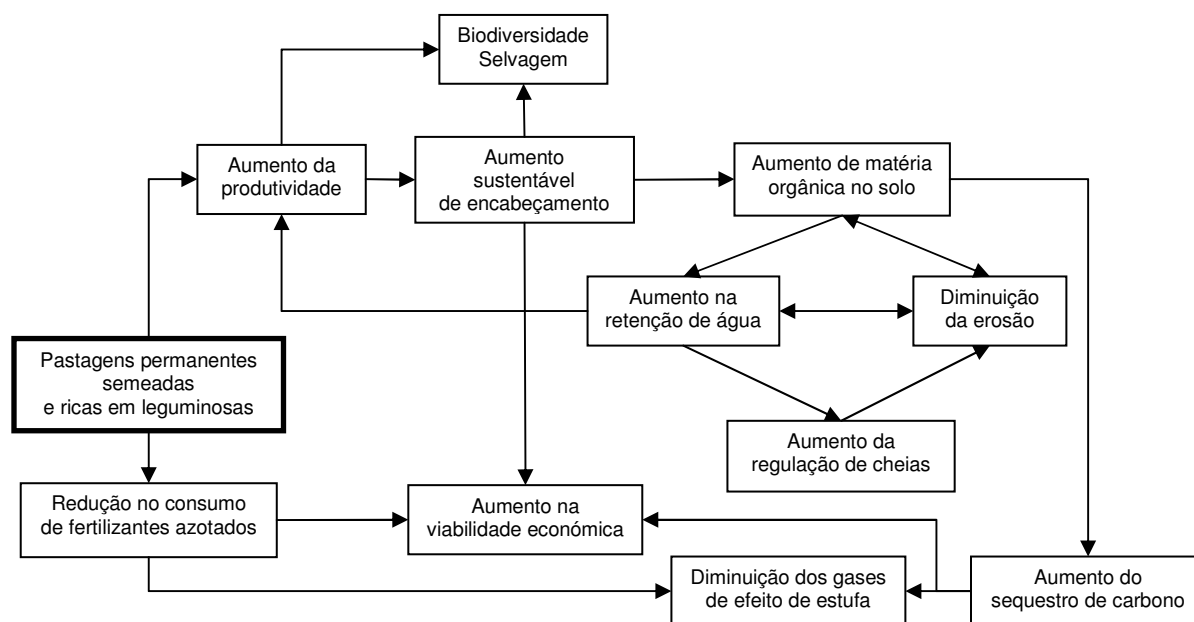


Figura 10 – Análise dos efeitos da utilização de pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas.

⁴ Sigla para Produção Integrada.

Devido às suas características este tipo de utilização de terreno permite a sua pastagem ao longo de todo o ano.

É de notar que a acumulação de matéria orgânica que tem lugar em pastagens ricas em leguminosas origina um aumento do fundo de fertilidade do solo uma vez que aumenta a disponibilidade em azoto assim como a capacidade de troca catiónica. Em contra-partida, este tipo de pastagens aumentam a acidificação do solo (Helyar, 1976; Burle *et al.*, 1997). É portanto frequente a necessidade de calagem, como modo de equilibrar o pH dos solos.

Para as PPRSRL é possível distinguir dois momentos distintos:

- ✓ Instalação;
- ✓ Manutenção.

Nestes são necessários, de um modo geral, os *inputs* considerados na Figura 9. Os dados correspondentes à instalação e manutenção foram fornecidos pelo Eng. Carlos Carmona Belo e obtidos através de ensaios experimentais que têm lugar na Estação Zootécnica Nacional.

Devido às características das PPRSRL, nomeadamente ao tipo de vegetação presente, a operação de instalação é apenas necessária uma vez em cada 10 anos. Nesta têm lugar duas operações de gradagem, duas de rolagem, uma de sementeira e uma aplicação de adubo (Carlos Carmona Belo, comunicação pessoal). Contudo, tendo em conta que a análise é efectuada numa base anual, é considerado apenas 1/10 do impacte total da instalação.

No que diz respeito às espécies vegetais semeadas, estas encontram-se presentes na proporção aproximada de 67% de leguminosas e 33% de gramíneas, distribuídas segundo a Tabela 14.

Tabela 14 – Tipo de vegetação e distribuição da mesma (kg. ton bioetanol⁻¹).

Fonte: Carlos Carmona Belo (comunicação pessoal).

Tipo de vegetação	Nome comum	Quantidade (kg. ha ⁻¹)	Quantidade (kg. ton bioetanol ⁻¹)	
			Sementeira convencional	Sementeira directa
Azevéms perene (gramínea)	Nui	1	0,27	0,25
Festuca (leguminosa)	Tima	1	0,27	0,25
Luzerna (leguminosa)	Siriver	0,28	0,07	0,07
	Hunter river	0,28	0,07	0,07
Trevo Branco (leguminosa)	Huia	0,15	0,04	0,04
	Pitau	0,15	0,04	0,04
	Ladino	0,15	0,04	0,04

É considerado que as sementes provêm da Austrália, sendo transportadas por oceano até ao porto de Lisboa. A mistura das sementes tem lugar em Portalegre, sendo posteriormente necessário transportá-la por camião para a região do Ribatejo e Oeste. Para a distância entre a Austrália e o porto de Lisboa é considerado o valor de 11x10³ km (Fiúza, 2006). No que respeita à distância entre o

porto de Lisboa e Portalegre e entre este último e a região de Ribatejo e Oeste, é utilizada como fonte um simulador de percursos (<http://www.viamichelin.com>, visitado em 4/5/2007), sendo estimada uma distância total por camião de 420 km.

Quer para a instalação, quer para a manutenção é necessária a adição de adubo. Uma vez que se trata de uma pastagem rica em leguminosas o solo não necessita de adição de azoto. No entanto, continua a ser necessária a adição de fósforo e potássio. Esta adição tem lugar nas quantidades constantes da Tabela 15.

Tabela 15 – Quantidade de nutrientes adicionados ao solo durante as operações de instalação e manutenção.

Componente	Actividade	Quantidade (kg.ha ⁻¹)	Quantidade (kg.ton bioetanol ⁻¹)	
			Sementeira convencional	Sementeira directa
Fósforo	Instalação	0	2,1	2,0
	Manutenção	40	10,7	9,9
Potássio	Instalação	6	1,6	1,5
	Manutenção	50	13,3	12,4

Uma vez que, na prática comum, são adicionados adubos com uma mistura preestabelecida de azoto, fósforo e potássio, é então considerada a adição dos seguintes adubos na instalação e manutenção, respectivamente:

- ✓ Fertigafsa (0-20-17)⁵;
- ✓ Foskapa (0-20-20)⁶.

Desta forma, para respeitar as quantidades necessárias de cada um dos nutrientes, são adicionados os adubos acima descritos nas quantidades descritas na Tabela 16.

Tabela 16 – Quantidade de adubo adicionada nas operações de instalação e manutenção.

Adubo	Quantidade (kg.ha ⁻¹)	Quantidade (kg.ton bioetanol ⁻¹)	
		Sementeira convencional	Sementeira directa
Fertigafsa	40	10,7	9,9
Foskapa	250	66,6	62,1

Os adubos adicionados são transportados desde uma fábrica que se encontra na região do Ribatejo e Oeste e portanto a uma distância média entre esta e o local de consumo de 50 km.

No que diz respeito às necessidades de água, e através do conhecimento de que estas são semelhantes àquelas apresentadas pelo milho (Maria de São Luís Centeno, comunicação pessoal), são considerados os mesmos valores assumidos por este último.

No que diz respeito às emissões provenientes da pastagem são consideradas aquelas de N₂O que resultam da actividade das leguminosas assim como aquelas que resultam do sequestro de

⁵ Fonte: Fábrica de adubos Adubos de Portugal, comunicação pessoal

⁶ Fonte: Fábrica de adubos Adubos de Portugal, comunicação pessoal

carbono. Para a contabilização do N₂O é considerada uma emissão de 1,0 kg N₂O-N/ha (Rochette e Janzen, 2005). Para o sequestro de carbono, considera-se que este assume o valor de 19 ton CO₂. ano⁻¹. ha⁻¹ (Teixeira *et al.*, 2007). Para além destas é ainda necessário contabilizar a escorrência do fosfato (proveniente pela adição de fósforo como fertilizante) cujo factor de emissão é de 0,01 kg PO₄ / kg de P aplicado.

As emissões acima descritas encontram-se quantificadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Emissões provocadas pela afectação do terreno a pastagens de regadio permanentes, semeadas e ricas em leguminosas.

Emissão	Emissor	Quantidade Sementeira Convencional (kg.ton bioetanol⁻¹)	Quantidade Sementeira Directa (kg.ton bioetanol⁻¹)
Dióxido de carbono	Pastagem (sequestro)	-5,06	-4,72
Óxido de Diazoto	Pastagem (leguminosas)	0,27	0,25
Fosfato	Fertilizante	0,15	0,14

Para a análise económica são considerados os seguintes *itens*:

- ✓ custo da instalação e manutenção das PPRSRL (operações, matérias-primas e compostos adicionados);
- ✓ custo da água;
- ✓ ajudas governamentais associadas às PPRSRL.

Para o custo da instalação e manutenção são considerados os valores constantes da Tabela 18. Estes valores foram obtidos por equivalência com aqueles fornecidos pela folha de cultura correspondente a uma pastagem semeada de sequeiro (ver anexo).

Tabela 18 – Custos associados à instalação e manutenção das PPRSRL.

Descrição Custo	Sementeira convencional (€. ton bioetanol⁻¹)	Sementeira directa (€. ton bioetanol⁻¹)
Factores de produção		
Sementes	2,50	2,33
Fertilizantes	20,07	18,70
Custos das operações		
Adubação de cobertura (Instalação)	0,81	0,76
Sementeira (Instalação)	1,24	1,16
Gradagem (Instalação)	1,73	1,61
Rolagem (Instalação)	1,31	1,22
Adubação de cobertura (Manutenção)	5,91	5,51
Rega	107,95	100,56
Total	141,53	131,84

Para a análise do custo da água é utilizada a equação considerada para o cultivo de milho com os valores de M_j constantes da Tabela 19. São então obtidos os valores, para a TRH, de 1,51 €. ton bioetanol⁻¹ para ambas as práticas de sementeira.

Tabela 19 – Valores considerados para o parâmetro M_j .

Poluente	Sementeira Convencional (kg. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira Directa (kg. ton bioetanol ⁻¹)
N	0,27	0,25
P	0,15	0,14

No que respeita a ajudas monetárias encontram-se atribuídos os valores constantes da Tabela 20.

Tabela 20 – Ajudas monetárias associadas às PPRSRL.

Fonte: MADRP, 2007.

Escalões		Nível de Ajuda (€/ha)
		PRODI
1º	≤ 30 ha	106
2º	30 a 60 ha	84,8
3º	60 a 150 ha	53
4º	>150 ha	21,2

3.1.3 Produção animal confinada (durante a fase de engorda)

Para o cenário do bioetanol, encontrando-se estabulados, os animais são alimentados exclusivamente através de rações. Para efeitos de simulação é utilizada uma ração criada por Teixeira *et al.* (2007), em unidades de kg de ração por kg de peso ganho. De modo a obter os valores em kg de ração por ton de bioetanol recorre-se à Equação 2, sabendo que durante o período em que os animais permanecem em estábulo, sofrem um aumento de peso de 216 kg por animal. A ração administrada é constituída por milho, trigo, cevada, soja e girassol.

$$\frac{\text{kg alimento}}{\text{kg peso ganho}} \times \frac{\text{kg peso ganho}}{\text{Animal}} \times \frac{\text{Animal}}{\text{ha}} \times \frac{\text{ha}}{\text{ton etanol}} = \frac{\text{kg alimento}}{\text{ton etanol}} \quad \text{Equação 2}$$

Na ACV são considerados como *inputs*, para além dos materiais que constituem a ração, os processos de fabrico e de transporte. No que diz respeito ao transporte é considerado que a fábrica de produção de ração se encontra na região de Ribatejo e Oeste, sofrendo a ração um transporte médio de 50 km entre o local de produção e o local de consumo.

À presença dos animais em estábulo encontram-se associadas emissões de metano e azoto. No que respeita ao metano são contabilizadas as emissões que ocorrem devido à fermentação entérica e resultantes da decomposição anaeróbia do estrume. É de notar que as emissões provenientes da fermentação entérica se mantêm constantes quer os animais permaneçam em

estábulo ou em pastagens. Para o azoto, ocorrem emissões devido à presença no solo de dejectos provenientes do estábulo. Na Tabela 21 encontram-se descritas as principais emissões que têm origem na produção animal.

Tabela 21 – Principais emissões devido à produção animal.

Fonte: IPCC, 1997; PNAC, 2003

Emissão	Emissor	Factor de emissão (kg.CN ⁻¹)	Quantidade Sementeira Convencional (kg.ton bioetanol ⁻¹)	Quantidade Sementeira Directa (kg.ton bioetanol ⁻¹)
Metano	Fermentação entérica	48,00	70,37	65,55
	Dejectos (estábulo)	1,88	2,76	2,57
Azoto	Dejectos provenientes do estábulo e colocados no solo	32,40	47,50	44,24

Para a análise económica será considerado apenas o custo da alimentação animal, com um valor unitário de 241,70 €/ ton ração (IACA, 2006). Deste modo, é obtido um custo total de ração de 420,06 €. ton bioetanol⁻¹ e 391,28 €. ton bioetanol⁻¹ para as práticas de sementeira convencional e directa, respectivamente.

3.1.4 Produção animal em pastagens

Para o cenário da gasolina os animais permanecem sempre nas PPRSRL alimentando-se maioritariamente destas, sendo administrada ração apenas como forma de complemento alimentar. Como forma de contabilizar a quantidade de ração necessária é considerado o equivalente a dois meses em estábulo, o que corresponde a um aumento de peso em 90 kg.

São ainda contabilizadas as emissões animais de metano provenientes da fermentação entérica, e de óxido de di-azoto resultantes da decomposição dos dejectos, nas quantidades constantes da Tabela 22. Para as emissões de metano provenientes dos dejectos, é de notar que sendo estes depositados nos terrenos de pastagem, sofrem uma decomposição aeróbia, ocorrendo portanto uma produção de metano muito reduzida ou mesmo nula.

Tabela 22 – Emissões provenientes das pastagens, dos fertilizantes nela aplicados e dos animais nas pastagens.

Fonte: IPCC, 1997; PNAC, 2003

Emissão	Emissor	Factor de emissão (kg. CN ⁻¹)	Quantidade Sementeira Convencional (kg.ton bioetanol ⁻¹)	Quantidade Sementeira Directa (kg.ton bioetanol ⁻¹)
Metano	Fermentação entérica	48	70,37	65,55
Óxido de di-azoto	Estrume	21,6	31,67	29,50

Para a análise económica é utilizado o mesmo valor de referência, sendo obtidos os valores de 175,02 e 163,03 €. ton bioetanol⁻¹ considerando a prática de sementeira convencional e directa, respectivamente.

3.1.5 Subprodutos da produção de bioetanol (DDG)

Da produção de bioetanol resulta, para além do combustível, um subproduto composto por grãos de milho destilados e secos (DDG). Estes possuem valor económico (Farrel *et al.*, 2006) na medida em que podem ser utilizados para alimentação animal (Pimentel, 2003). A partir de 10 kg de milho é possível a obtenção de 3,3 kg de DDG (Pimentel, 2003), o qual contém um teor proteico de 27% (Pimentel, 2003). Este composto serve de alimentos para ruminantes, apresentando, no entanto um valor alimentar limitado para galinhas e porcos (Pimentel, 2003). O DDG é usualmente utilizado na substituição de bagaço de soja, o qual possui um teor proteico de 49% (Pimentel, 2003). É de notar que a produção de bagaço de soja é mais eficiente do que a produção de milho, uma vez que é necessária uma adição de azoto muito reduzida ou mesmo nula (Pimentel, 2003). Pimentel (2003) considera que são necessários 3,3 kg de DDG como substituto de 2,1 kg de bagaço de soja. Considerando este valor, com a produção de 1 tonelada de bioetanol são produzidos 1126,43 kg de DDG e assim evitada a produção de 716,82 kg de bagaço de soja. Efectuando o cálculo considerando apenas a substituição proteica, são necessários 1,8 kg de bagaço de soja para a substituição dos mesmos 3,3 kg de DDG. Deste modo é evitada a produção de 614,42 kg de bagaço de soja.

No que respeita à análise económica será considerado um valor de 201 €/ ton bagaço de soja (IACA, 2006). Desta forma é obtido um valor total de 151,96 €. ton bioetanol¹ para o caso em que é admitido como válido o valor considerado por Pimentel (2003), e de 130,89 para o caso em que é considerada apenas a equivalência proteica.

Para simplificação da linguagem o primeiro e segundo casos passam a ser denominados ,respectivamente, por:

- ✓ DDG (Pimentel);
- ✓ DDG (eq. proteica).

3.1.6 Análise ambiental, energética e económica da actividade agrícola

Foram introduzidos no SimaPro 6.0 os dados correspondentes às alternativas em análise, tendo sido os impactes ambientais analisados através do “Ecoindicator 95” e do “Ecoindicator 99” e obtidos os resultados constantes da Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 26. Para melhor interpretação dos resultados é definido um factor F como o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias.

De acordo com a Tabela 23 e Tabela 24, e para todas as categorias consideradas, o impacte ambiental associado ao cultivo de milho é sempre superior àquele proveniente das PPRSRL. Tal resultado seria de esperar sendo a diferença de impacte ambiental sobretudo provocada pela muito maior exigência de operações que tem lugar aquando do cultivo de milho assim como pela utilização, em maior quantidade, de fertilizantes e pesticidas. Neste contexto, e de acordo com a Tabela 25, destaca-se a diferença de impacte no que diz respeito às categorias de:

- ✓ Recursos energéticos / combustíveis fósseis;
- ✓ Carcinogénicos (resultado só verificado para o “Ecoindicator 95”);

✓ Camada de ozono.

É de notar que, geralmente, as operações requeridas são efectuadas com o recurso a maquinaria que usa como fonte de energia combustível fóssil. A produção e utilização de pesticidas e fertilizantes, assim como os processos incluído nas operações, tais como extracção de matérias-primas e queima de combustíveis fósseis, permitem a libertação de substâncias / compostos responsáveis pelas categorias de impacte analisadas. Para o cultivo de milho, as principais operações responsáveis pela emissão de substâncias passíveis de danificar a camada de ozono são então a secagem de milho e a fertilização. Esta última, juntamente com a colheita, são as principais responsáveis pela emissão de substâncias carcinogénicas. Para além destas, e dada a sua importância para o estudo, é de salientar a extrema importância que assumem as categorias de impacte que dizem respeito à emissão de gases com efeito de estufa / alterações climáticas. A diferença de valores obtidos para estas categorias prende-se principalmente com a maior, menor ou nula capacidade de sequestro de carbono. Para o cultivo de milho, o sequestro só ocorre aquando da prática de sementeira directa e em menor medida comparativamente às PPRSRL. Considerando o cultivo de milho, os resultados indicam que a emissão de gases de efeito de estufa aquando da prática de sementeira convencional é cerca de 11 vezes superior àquela que tem lugar com a prática de sementeira directa. É de notar que este efeito não é apenas devido ao sequestro de carbono em si, mas também à diferença de produtividade dos dois sistemas, e conseqüente afectação de área, assim como a diferenças de operações. Este último facto reflecte-se em todas as categorias de impacte e é verdade para todas as análises efectuadas ao longo do estudo. É ainda de referir o carácter temporário do efeito. Na verdade, o carbono sujeito a sequestro será num médio, longo prazo libertado.

Uma vez que estamos a tratar de práticas agrícolas, e conseqüente aplicação de fertilizantes, é de extrema importância uma análise contextualizada das implicações em termos de poluição de recursos hídricos. Os problemas ecológicos e de saúde pública decorrentes da presença de nitratos e produtos fitofarmacêuticos nos ecossistemas aquáticos, e nas reservas de água para abastecimento público, constituem uma preocupação crescente para as autoridades sanitárias e cidadãos em geral (Paralta *et al.*, 2001). No que diz respeito aos recursos hídricos superficiais é necessário analisar a possibilidade de ocorrência de fenómenos de eutrofização e poluição por pesticidas; para os recursos subterrâneos a poluição por nitratos e pesticidas. Embora a avaliação global da qualidade de água superficial para a região do Ribatejo e Oeste varie entre as classes⁷ C (Razoável) e E (Muito má), a análise da presença de nitratos e fosfatos nos meios hídricos permitiu concluir que os valores mais elevados observam-se sobretudo no próprio Rio Tejo e com maior expressão a jusante da foz do Zêzere (MA, 1999). Todavia, os valores encontrados nunca atingem limites a partir dos quais as águas se considerem poluídas (MA, 1999). No que se refere aos produtos fitofarmacêuticos, os dados disponíveis reportam-se, em geral, a produtos cuja comercialização está proibida desde 1988 e as concentrações detectadas são muito baixas (MA, 1999). Segundo Paralta *et al.* (2001), e de acordo com os resultados da aplicação do modelo DRASTIC, e DRASTIC PESTICIDE, a região em estudo apresenta uma vulnerabilidade alta à contaminação dos aquíferos freáticos por nitratos e pesticidas.

⁷ Classificação segundo o INAG

É então possível concluir que a categoria de impacte eutrofização não deve então ser tomada como relevante, sendo no entanto muito importante a análise da possibilidade de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. Tendo em conta a maior utilização quer de fertilizantes, quer de pesticidas por parte do cultivo de milho, o impacte que deste advém será necessariamente superior ao provocado pelas PPRSRL.

Uma vez que à produção animal correspondente ao cenário do bioetanol está associado um maior consumo de ração e maior quantidade de emissões, é de esperar um impacte ambiental superior. O impacte relacionado com a administração de ração provém das práticas agrícolas utilizadas para a produção de cada um dos componentes. De um modo geral, os componentes responsáveis pela maior parte do impacte são o milho e soja proveniente da Argentina, o trigo do Ribatejo e Oeste e a soja. No que respeita às emissões animais, a categoria que melhor distingue os dois cenários é a que contabiliza as emissões de gases com efeito de estufa / alterações climáticas, a qual tem origem na emissão de metano.

Tabela 23 – Impactes ambientais da actividade agrícola correspondente ao cenário do bioetanol.

Método	Categoria do impacte	Unidade	DDG (Pimentel)	DDG (eq. proteica)	Milho (SC)	Milho (SD)	Ração e emissões animais (SC)	Ração e emissões animais (SD)
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	-6,8E+02	-5,9E+02	8,9E+02	8,0E+01	1,4E+04	1,3E+04
	Camada de ozono	kg CFC11	-3,0E-05	-2,6E-05	9,6E-05	9,0E-05	5,0E-05	4,7E-05
	Acidificação	kg SO ₂	-8,4E+00	-7,2E+00	5,2E+00	4,6E+00	6,2E+00	5,7E+00
	Eutrofização	kg PO ₄	-2,0E+00	-1,8E+00	2,3E+00	2,1E+00	1,9E+00	1,7E+00
	Metais pesados	kg Pb	-3,5E-03	-3E-03	1,5E-02	1,3E-02	6,8E-03	6,3E-03
	Carcinogénicos	kg B(a)P	-2,9E-05	-2,5E-05	1,3E-04	9,9E-05	5,3E-05	4,9E-05
	Smog de Inverno	kg SPM	-1,1E+00	-9,4E-01	2,3E+00	2,1E+00	1,3E+00	1,2E+00
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	-8,1E-02	-7,0E-02	2,3E-01	2,0E-01	6,7E-01	6,2E-01
	Recursos energéticos	MJ LHV	-3,4E+03	-2,9E+03	9,9E+03	9,3E+03	5,3E+03	4,9E+03
	Resíduos sólidos	kg	-	-	1,2E+01	1,1E+01	1,9E+00	1,7E+00
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	-4,5E-05	-3,9E-05	2,7E-04	2,4E-04	9,1E-05	8,5E-05
	Orgânicos respiráveis	DALY	-2,5E-07	-2,1E-07	7,0E-07	6,0E-07	1,4E-06	1,3E-06
	Inorgânicos respiráveis	DALY	-5,4E-04	-4,7E-04	6,8E-04	5,7E-04	5,3E-04	4,9E-04
	Alterações climáticas	DALY	-1,7E-04	-1,4E-04	2,0E-04	3,4E-05	3,7E-03	3,5E-03
	Radiação	DALY	-5,6E-07	-4,8E-07	2,4E-06	2,3E-06	1,7E-06	1,6E-06
	Camada de ozono	DALY	-2,7E-08	-2,3E-08	8,4E-08	7,9E-08	4,3E-08	4,0E-08
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	-8,4E+01	-7,2E+01	6,2E+02	5,6E+02	1,7E+02	1,6E+02
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	-6,2E+01	-5,3E+01	2,9E+01	2,5E+01	4,3E+01	4,0E+01
	Uso do solo	PDF*m ² yr	-4,0E+01	-3,4E+01	4,7E+01	5,1E+01	4,2E+01	3,9E+01
	Minerais	MJ surplus	-6,3E+00	-5,4E+00	3,1E+01	2,6E+01	1,3E+01	1,2E+01
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	-4,0E+02	-3,4E+02	1,2E+03	1,1E+03	5,7E+02	5,3E+02

SC – sementeira convencional.

SD – sementeira directa.

Tabela 24 – Impactes ambientais da actividade agrícola correspondente ao cenário da gasolina.

Método	Categoria do impacte	Unidade	PPRSRL (SC)	PPRSRL (SD)	Ração e emissões animais (SC)	Ração e emissões animais (SD)
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	-4,9E+03	-4,2E+03	9,5E+03	8,9E+03
	Camada de ozono	kg CFC11	8,2E-06	7,6E-06	2,1E-05	1,9E-05
	Acidificação	kg SO ₂	8,1E-01	7,5E-01	2,6E+00	2,4E+00
	Eutrofização	kg PO ₄	4,4E-01	3,9E-01	7,8E-01	7,2E-01
	Metais pesados	kg Pb	2,9E-03	2,7E-03	2,9E-03	2,6E-03
	Carcinogénicos	kg B(a)P	1,0E-05	9,3E-06	2,2E-05	2,0E-05
	Smog de Inverno	kg SPM	5,7E-01	5,3E-01	5,3E-01	4,9E-01
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	2,7E-02	2,5E-02	5,6E-01	5,2E-01
	Recursos energéticos	MJ LHV	9,2E+02	8,6E+02	2,2E+03	2,1E+03
	Resíduos sólidos	kg	5,1E+00	4,8E+00	7,9E-01	7,3E-01
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	7,7E-05	7,1E-05	3,8E-05	3,5E-05
	Orgânicos respiráveis	DALY	8,2E-08	7,6E-08	1,1E-06	1,0E-06
	Inorgânicos respiráveis	DALY	1,0E-04	9,7E-05	2,2E-04	2,1E-04
	Alterações climáticas	DALY	-1,0E-03	-8,8E-04	2,5E-03	2,4E-03
	Radiação	DALY	4,8E-07	4,5E-07	7,1E-07	6,6E-07
	Camada de ozono	DALY	7,0E-09	6,5E-09	1,8E-08	1,7E-08
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	1,1E+02	9,7E+01	7,1E+01	6,6E+01
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	3,0E+00	2,8E+00	1,8E+01	1,7E+01
	Uso do solo	PDF*m ² yr	9,2E+00	7,9E+00	1,8E+01	1,6E+01
	Minerais	MJ surplus	3,8E+00	3,5E+00	5,6E+00	5,2E+00
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	9,5E+01	8,8E+01	2,4E+02	2,2E+02

SC – sementeira convencional.

SD – sementeira directa.

Tabela 25 – Comparação dos impactos ambientais entre o cultivo de milho e as PPRSRL.

Método	Categoria do impacto	Unidade	F (SC)	F (SD)
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	N.A.	N.A.
	Camada de ozono	kg CFC11	11,7	11,8
	Acidificação	kg SO ₂	6,4	6,2
	Eutrofização	kg PO ₄	5,3	5,3
	Metais pesados	Kg Pb	5,3	4,9
	Carcinogénicos	kg B(a)P	12,6	10,6
	Smog de Inverno	kg SPM	4,1	4,0
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	8,7	8,0
	Recursos energéticos	MJ LHV	10,7	10,9
	Resíduos sólidos	kg	2,4	2,4
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	3,5	3,4
	Orgânicos respiráveis	DALY	8,5	7,9
	Inorgânicos respiráveis	DALY	6,5	5,8
	Alterações climáticas	DALY	N.A.	N.A.
	Radiação	DALY	5,0	5,2
	Camada de ozono	DALY	12,0	12,1
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	5,9	5,7
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	9,8	9,1
	Uso do solo	PDF*m ² yr	5,2	6,5
	Minerais	MJ surplus	8,2	7,4
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	12,6	12,7

SC – sementeira convencional.

SD – sementeira directa.

F – representa o quociente entre o impacto proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Tendo em conta que o impacto associado ao cultivo de milho é superior àquele das PPRSRL e que a administração de ração e emissões de animais é superior para o cenário do bioetanol, é de esperar que os resultados presentes na Tabela 26 indiquem como favorável o cenário da gasolina. Contudo, o cenário do bioetanol apresenta-se como favorável para a categoria de impacto que quantifica a emissão de substâncias acidificantes. Este efeito ocorre devido à utilização de DDG e consequente não produção agrícola de bagaço de soja.

Tal como o que acontece para a análise entre o cultivo de milho e PPRSRL as categorias que melhor distinguem os dois cenários são os recursos energéticos, carcinogénicos e a camada de ozono. Faz então sentido perceber aqui se o cultivo de milho se apresenta como principal responsável.

Tabela 26 – Resultados totais da análise ambiental correspondente à actividade agrícola considerando a prática de sementeira convencional no cultivo de milho.

Método	Categoria do impacte	Unidade	DDG (Pimentel)			DDG (eq. proteica)		
			Total cenário do bioetanol	Total cenário da gasolina	F	Total cenário do bioetanol	Total cenário da gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	1,4E+04	4,6E+03	3,1	1,4E+04	4,6E+03	3,1
	Camada de ozono	kg CFC11	1,2E-04	2,9E-05	4,0	1,2E-04	2,9E-05	4,2
	Acidificação	kg SO ₂	3,0E+00	3,4E+00	0,9	4,2E+00	3,4E+00	1,2
	Eutrofização	kg PO ₄	2,1E+00	1,2E+00	1,8	2,4E+00	1,2E+00	2,0
	Metais pesados	kg Pb	1,9E-02	5,7E-03	3,2	1,9E-02	5,7E-03	3,3
	Carcinogénicos	kg B(a)P	1,5E-04	3,2E-05	4,7	1,5E-04	3,2E-05	4,8
	Smog de Inverno	kg SPM	2,5E+00	1,1E+00	2,3	2,6E+00	1,1E+00	2,4
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	8,2E-01	5,9E-01	1,4	8,3E-01	5,9E-01	1,4
	Recursos energéticos	MJ LHV	1,2E+04	3,1E+03	3,8	1,2E+04	3,1E+03	3,9
	Resíduos sólidos	kg	1,4E+01	5,9E+00	2,4	1,4E+01	5,9E+00	2,4
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	3,2E-04	1,1E-04	2,8	3,2E-04	1,1E-04	2,8
	Orgânicos respiráveis	DALY	1,9E-06	1,2E-06	1,6	1,9E-06	1,2E-06	1,6
	Inorgânicos respiráveis	DALY	6,7E-04	3,3E-04	2,0	7,4E-04	3,3E-04	2,3
	Alterações climáticas	DALY	3,8E-03	1,5E-03	2,5	3,8E-03	1,5E-03	2,5
	Radiação	DALY	3,5E-06	1,2E-06	3,0	3,6E-06	1,2E-06	3,0
	Camada de ozono	DALY	1,0E-07	2,5E-08	4,1	1,0E-07	2,5E-08	4,2
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	7,1E+02	1,8E+02	4,0	7,2E+02	1,8E+02	4,1
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	1,0E+01	2,1E+01	0,5	1,9E+01	2,1E+01	0,9
	Uso do solo	PDF*m ² yr	5,0E+01	2,7E+01	1,9	5,5E+01	2,7E+01	2,1
	Minerais	MJ surplus	3,8E+01	9,4E+00	4,1	3,9E+01	9,4E+00	4,2
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	1,4E+03	3,3E+02	4,1	1,4E+03	3,3E+02	4,3

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Tabela 27 – Resultados totais da análise ambiental correspondente à actividade agrícola considerando a prática de sementeira directa no cultivo de milho.

Método	Categoria do impacte	Unidade	DDG (Pimentel)			DDG (eq. proteica)		
			Total cenário do bioetanol	Total cenário da gasolina	F	Total cenário do bioetanol	Total cenário da gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	1,3E+04	4,7E+03	2,7	1,3E+04	4,7E+03	2,7
	Camada de ozono	kg CFC11	1,1E-04	2,7E-05	4,0	1,1E-04	2,7E-05	4,1
	Acidificação	kg SO ₂	2,0E+00	3,1E+00	0,6	3,2E+00	3,1E+00	1,0
	Eutrofização	kg PO ₄	1,8E+00	1,1E+00	1,6	2,1E+00	1,1E+00	1,9
	Metais pesados	kg Pb	1,6E-02	5,3E-03	3,0	1,6E-02	5,3E-03	3,1
	Carcinogénicos	kg B(a)P	1,2E-04	2,9E-05	4,0	1,2E-04	2,9E-05	4,2
	Smog de Inverno	kg SPM	2,2E+00	1,0E+00	2,2	2,4E+00	1,0E+00	2,3
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	7,4E-01	5,4E-01	1,4	7,5E-01	5,4E-01	1,4
	Recursos energéticos	MJ LHV	1,1E+04	2,9E+03	3,7	1,1E+04	2,9E+03	3,9
	Resíduos sólidos	kg	1,3E+01	5,5E+00	2,4	1,3E+01	5,5E+00	2,4
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	2,8E-04	1,1E-04	2,6	2,9E-04	1,1E-04	2,7
	Orgânicos respiráveis	DALY	1,7E-06	1,1E-06	1,5	1,7E-06	1,1E-06	1,6
	Inorgânicos respiráveis	DALY	5,1E-04	3,0E-04	1,7	5,9E-04	3,0E-04	2,0
	Alterações climáticas	DALY	3,3E-03	1,5E-03	2,2	3,4E-03	1,5E-03	2,3
	Radiação	DALY	3,4E-06	1,1E-06	3,0	3,4E-06	1,1E-06	3,1
	Camada de ozono	DALY	9,2E-08	2,3E-08	4,0	9,6E-08	2,3E-08	4,2
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	6,3E+02	1,6E+02	3,9	6,4E+02	1,6E+02	3,9
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	2,8E+00	1,9E+01	0,1	1,2E+01	1,9E+01	0,6
	Uso do solo	PDF*m ² yr	5,0E+01	2,4E+01	2,1	5,6E+01	2,4E+01	2,3
	Minerais	MJ surplus	3,2E+01	8,7E+00	3,7	3,3E+01	8,7E+00	3,8
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	1,3E+03	3,1E+02	4,1	1,3E+03	3,1E+02	4,2

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Para a análise económica, e de acordo com a Tabela 28, é de notar que ao cenário do bioetanol encontra-se associado um maior custo quer no que respeita ao uso do solo quer à produção animal. Embora a utilização de DDG seja encarada como custo evitado para o cenário do bioetanol, o custo total mantém a tendência anterior. No que diz respeito às ajudas, a sua aplicação não altera o resultado da análise.

Tendo em conta a diferença de emissões de gases de efeito de estufa entre os dois cenários, e o valor monetário de 12 €. ton CO_{2e}⁻¹ (Fundo Português do Carbono) seria necessário um subsídio de cerca de 400€.ha⁻¹ para que os agricultores instalassem pastagens em detrimento do cultivo de milho.

Tabela 28 - Resultados da análise económica para as actividades agrícolas.

Cenário do bioetanol			Cenário da gasolina		
Actividade	Sementeira convencional (€. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira Directa (€. ton bioetanol ⁻¹)	Actividade	Sementeira convencional (€. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira Directa (€. ton bioetanol ⁻¹)
Cultivo de milho	490,07	451,20	PPRSRL	35,09	32,79
Alimentação animal	420,06	391,28	Alimentação animal	175,02	163,03
DDG	(-151,96) – (-130,89)	(-151,96) – (-130,89)			
Total	758,16 – 779,24	690,51 – 711,59	Total	318,07	296,39

3.2 Produção de combustível

A produção de bioetanol é, na sua essência, claramente distinta da produção de gasolina. Desde a matéria-prima, ao tipo de processamento envolvido, constituem combustíveis muito diferentes. No que diz respeito ao processamento do milho, depois de produzido este é transportado para a unidade de processamento, onde é sujeito a operações que permitem a sua transformação em bioetanol e em DDG. A gasolina tem como matéria-prima os combustíveis fósseis, ocorrendo o seu processamento em refinarias.

3.2.1 Produção de bioetanol

Quando chega à unidade de processamento, o milho é armazenado e, anteriormente ao processo de moagem, é limpo. Depois de moído, sofre um processo de liquefacção na qual são adicionados diversos compostos, tais como enzimas, ureia e cal. Uma vez liquefeito torna-se necessária a transformação do amido presente no milho em açúcar através da adição de outros compostos, tais como enzimas. Para a transformação do açúcar em bioetanol é necessária a ocorrência de um processo de fermentação (com a adição de fermento), procedida por uma ou várias destilações (McAloon, 2000). O bioetanol utilizado como combustível deve possuir uma pureza o mais próximo de 100% quanto possível. O processo global descrito anteriormente encontra-se esquematizado na Figura 11, sendo ainda de referir a necessidade do uso de água ao longo de todo o processo.

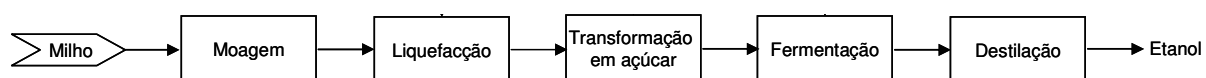


Figura 11 – Descrição do processo de produção de bioetanol a partir de milho.

Fonte: McAloon, 2000.

Uma vez que em Portugal não se efectua a produção de bioetanol, é considerado que a tecnologia de transformação de milho em bioetanol é importada, considerando como válidos os

valores constantes nos documentos constantes na Tabela 29. Para todos os parâmetros para os quais foi possível considerar as especificidades de Portugal, tal foi feito.

Tabela 29 – Fontes de informação e de comparação de resultados para a ACV da produção de bioetanol.

Documento	Autor	Ano	Informação utilizada
<i>Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative</i>	David Pimentel	2003	<i>Inputs</i> para a produção de 1 tonelada de bioetanol com 95% pureza.
<i>A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuel: When "Green" Is Not Enough</i>	Sergio Ulgiati	2001	<i>Inputs</i> para a produção de 1 tonelada de bioetanol.

Segundo Pimentel (2003), são então considerados os *inputs* constantes da Tabela 30, enquanto que, segundo Ulgiati (2001), são considerados aqueles constantes da Tabela 31.

É de notar que, para efeitos de cálculo, foi necessário considerar que:

✓ A densidade do bioetanol puro é de 0,7893 g/cm³. Embora o bioetanol produzido não seja 100% puro é-o em 95%, sendo portanto uma boa aproximação a consideração da densidade do bioetanol puro;

✓ No SimaPro, quando se trata de *inputs* de transporte a unidade utilizada é toneladas vezes quilómetros. Foi considerado como pressuposto que o milho seria produzido no Ribatejo e Oeste e que a unidade de processamento estaria localizada em Sines. Desta forma seria necessário percorrer uma distância de cerca de 100 km (www.viamichelin.com, visitado em 4/5/2007)

✓ O carvão utilizado é importado da África do Sul, percorrendo uma distância total de cerca de 5800 km (www.world-register.com/dis.htm, visitado em 4/5/2007) .

Para efeitos de análise, e na ausência de dados, foi considerado o impacte da produção de bioetanol com um grau de pureza de 95%, igual àquele para a produção de bioetanol anidro.

Tabela 30 – *Inputs* para a produção de 1 tonelada de bioetanol com um grau de pureza de 95%.

Fonte: Pimentel, 2003.

Inputs	kg	TJ
Milho	3413,42	
Água	201124,24	
Áço inoxidável	7,70	
Aço	15,10	
Cimento	40,20	
Carvão	468,50	
Electricidade		0,0011

Tabela 31 – *Inputs* para a produção de 1 tonelada de bioetanol.

Fonte: Ulgiati, 2001.

Descrição do fluxo	Unidade	Quantidade por ton bioetanol e por ano
Milho	ton	3,26
Diesel para transporte	kg	6,52
Aço resultante do transporte de maquinaria	kg	5,24
Aço para a construção da unidade de processamento	kg	22,45
Cimento utilizado na construção da unidade de processamento	kg	39,91
Carvão	kg	60,52
O ₂ para os processos de combustão	kg	21,24
N ₂ presente no ar necessário para a combustão	kg	69,10
Ar e outros gases menos relevantes	kg	1,27
Quantidade adicional de ar para secagem	kg	3905,58
Electricidade	TJ	0,00
Água	kg	8154,51
Fermento	kg	2,36
Gasolina	kg	5,71
Amónia	kg	18,20
CaI	kg	4,76
NaCl	kg	2,37
Enzimas	kg	4,26
"sludge" polímero	kg	0,05
Químicos BFW	kg	0,12

A principal diferença entre os dados recolhidos reside na consideração de diferentes *inputs*. Enquanto que segundo Pimentel (2003) é dado um grande ênfase a *inputs* de materiais, resultantes da utilização da unidade de processamento, sendo negligenciadas as entradas de reagentes, para Ulgiati (2001) é necessário considerar as entradas de reagentes. Aparentemente estamos perante situações distintas, sendo os dados fornecidos por Ulgiati (2001) mais completos. Contudo, quando é efectuada a simulação de ACV considerando estes dois conjuntos de dados, os resultados obtidos são muito semelhantes. Optou-se então pela utilização dos dados fornecidos por Pimentel, devido à presença de outros dados essenciais ao desenvolvimento da análise.

No que respeita à análise económica, Pimentel (2003) indica como valor correspondente à utilização da unidade de processamento 116,5 €. ton bioetanol⁻¹. Para os *inputs* de electricidade, água e milho, necessários ao processo são considerados os valores constantes da Tabela 32.

Tabela 32 – Custos associados à produção de bioetanol.

Inputs	Valor (€. ton bioetanol ⁻¹)
Milho (IACA, 2006)	529,23
Electricidade (www.edp.pt , visitado em 2/6/2007)	17,40
Total	546,73

É de notar que o valor monetário atribuído ao milho tem sofrido aumentos constantes, estando o valor fornecido por IACA (2006) necessariamente desatualizado. Contudo, não se verificou

possível a obtenção do valor actual de fonte fidedigna. Deste modo é efectuada apenas uma avaliação qualitativa do aumento do preço, de acordo com os dados fornecidos por *The Economist* (2007). Como mostra a Figura 12 os dados de 2007 indicam um valor superior para o milho quando comparado com o combustível fóssil.

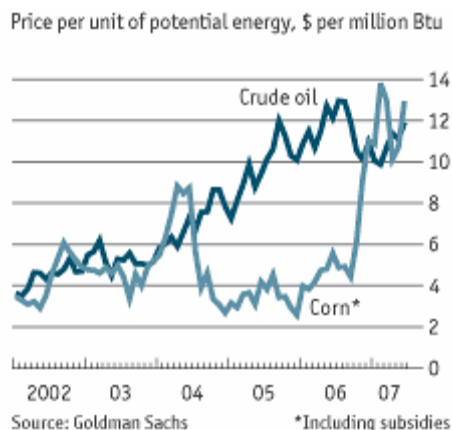


Figura 12 – Evolução do preço do milho versus combustível fóssil.

Fonte: *The Economist*, 2007.

Para a contabilização dos custos associados ao consumo de água é utilizada uma simplificação da Equação 1, representada na Equação 3.

$$TRH = V \times trh_u \times C_{sect} \times C_{esc} \times C_{efic} \quad \text{Equação 3}$$

Os valores assumidos pelos parâmetros encontram-se discriminados na Tabela 33, sendo obtido um valor de € 244,47 para a Taxa de Recursos Hídricos.

Tabela 33 – Quantificação dos parâmetros da Equação 3.

Parâmetro	Valor assumido
trh_u (€/m ³)	1,30
C_{sect} (-)	1,0
C_{esc} (-)	1,1
C_{efic} (-)	0,85

O valor total de produção de bioetanol é então de 907,56 €. ton bioetanol⁻¹.

É de notar que, segundo o Decreto-Lei n.º 66/2006, de 22 de Março, “(...) os custos inerentes à produção de biocombustíveis ainda são mais elevados do que os referentes aos combustíveis convencionais (gasolina e gasóleo) que pretendem substituir, tornando-se, desta forma, não competitivos, se colocados em condições de igualdade no mercado.” O mesmo diploma considera ainda que “(...) para assegurar o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal com a

adopção da Directiva n.º 2003/30/CE, bem como dos compromissos nacionais decorrentes do Protocolo de Quioto, nomeadamente das disposições constantes do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (...), deverão ser tomadas medidas para promover o mercado dos biocombustíveis, nomeadamente a redução da carga fiscal incidente sobre os biocombustíveis e, em particular, no que se refere ao imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP). Tem sido esta a solução que tem vindo a ser adoptada por outros países da União Europeia.” Segundo a Portaria n.º 3-A/2007 “(...) O valor da isenção do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP) para os biocombustíveis é fixado em €280, por cada 1000 l, mantendo-se o mesmo em vigor até 31 de Dezembro de 2007.” Encontra-se ainda prevista a isenção total para os pequenos produtores dedicados que venham a ser reconhecidos como tal, válida até ao fim do calendário estabelecido para cumprimento das metas estabelecidas para incorporação de biocombustíveis. Contudo, segundo declarações dadas por Francisco Avillez, o valor do ISP para o bioetanol passará a tomar o valor de 400 a 420 euros (Água & Ambiente, 2007). Segundo a mesma fonte, para terem direito a este benefício as produtoras de biocombustíveis vão ter de incorporar 50% de matéria-prima endógena no seu processo produtivo. A isenção entrará em vigor em 2009, ano em que se espera a entrada em funcionamento das duas unidades projectadas. De acordo com a Portaria n.º 75-A/2006, de 18 de Janeiro, “A taxa do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos aplicável à gasolina com teor de chumbo igual ou inferior a 0,013 g por L (...) é igual a € 557,95 por 1000 L”. Desta forma o ISP sobre o etanol deverá tomar um valor de 137,95 a 157,95 euros por 1000 L.

Alguns dos motivos pelos quais se verifica a existência de imposto sobre os produtos petrolíferos, como por exemplo o financiamento da construção e manutenção de vias terrestres, assim como o controlo de congestionamento, não se encontram dependentes do tipo de combustível utilizado, pelo que tal constitui uma distorção de mercado. Por sua vez, no que respeita às externalidades ambientais, as quais também contribuem para o imposto, variam consoante o combustível utilizado, devendo então o valor do imposto ser adaptado a tal realidade (UN, 2007).

Se aplicado o ISP, a produção de bioetanol toma um valor de 1069,65 a 1107,65 €. ton bioetanol⁻¹.

3.2.2 Produção de gasolina

Para efectuar a ACV da produção de gasolina são utilizados directamente os valores fornecidos pela base de dados do SimaPro.

Para a análise económica à produção de gasolina é considerado o preço corrente de comercialização da mesma como 1,34 €/L, o que perfaz um total de 1 309,34 €. ton bioetanol¹. O preço corrente da gasolina possui já incorporada uma parcela correspondente a um imposto sobre produtos petrolíferos, a qual assume o já anteriormente referido valor de €557,95 por 1000 L. Subtraindo o ISP é então obtido um custo de 766,47 €. ton bioetanol¹ associado à obtenção de 0,72 ton de gasolina.

3.2.3 Comparação ambiental, energética e económica da produção de combustível

Através da análise da Tabela 34, é possível verificar que as 3 categorias de impacte ambiental que melhor distinguem os dois cenários são:

- ✓ Minerais;
- ✓ Carcinogénicos;
- ✓ Ecotoxicidade.

A produção de gasolina é mais favorável para a maioria das categorias, sendo a produção de bioetanol apenas favorável para as categorias que contabilizam a emissão de substâncias que danificam a camada de ozono, e o consumo de recursos energéticos / combustíveis fósseis.

Para a análise da produção de bioetanol é considerado como *input* o milho e consequentemente a produção agrícola deste. Uma vez que esta foi já sujeito a análise, e de modo a perceber a sua influência na produção de bioetanol, são também sujeitos a análise os resultados constantes da Tabela 35. Segundo esta tabela as categorias que melhor distinguem os dois cenários são agora:

- ✓ Minerais;
- ✓ Carcinogénicos;
- ✓ Metais pesados.

Para além da categoria que quantifica a ecotoxicidade deixar de ser um factor de diferenciação entre os dois cenários, é de salientar uma aproximação, em termos de impacte e para todas as categorias, entre os dois cenários. Neste caso, a produção de bioetanol apresenta-se como favorável, não só para as categorias anteriormente apontadas, como também para aquelas que contabilizam o impacte no uso do solo e a emissão de compostos responsáveis pelo *smog* de Inverno. É assim possível concluir que o cultivo de milho tem uma forte influência no impacte da produção de bioetanol.

Efectuando uma avaliação global é possível referir que o impacte produzido no que respeita à emissão de carcinogénicos assim como aquele que quantifica a ecotoxicidade tem como origem principal a produção de milho, seguido pela produção de ferro, utilizado para a construção da unidade de transformação. Para a categoria recursos energéticos / combustíveis fósseis, o cenário do bioetanol apresenta-se favorável devido à óbvia diminuição de utilização de combustíveis fósseis.

Contudo, segundo a Tabela 34 a diferença entre os dois cenários não se destaca. Tal facto é explicado pela necessidade de utilização de combustíveis fósseis pelo cenário do bioetanol para o transporte de matérias-primas e para as operações que têm lugar aquando o cultivo de milho.

É de notar que a produção de gasolina não se encontra dependente da prática de sementeira. De facto, qualquer que seja a prática agrícola, é considerada a produção de 1 ton de bioetanol e correspondentes 0,72 ton de gasolina. Aquando da consideração da produção de bioetanol sem o cultivo de milho, a situação é equivalente à da gasolina, sendo considerada a produção de 1 ton de bioetanol.

Tabela 34 – Dados obtidos para a comparação ambiental entre a produção de bioetanol e de gasolina.

Método	Categoria do impacte	Unidade	Produção de bioetanol (SC)	Produção de gasolina	F (SC)	Produção de bioetanol (SD)	Produção de gasolina	F (SD)
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	1,6E+03	4,4E+02	3,6	7,7E+02	4,4E+02	1,7
	Camada de ozono	kg CFC11	3,6E-04	4,5E-04	0,8	3,5E-04	4,5E-04	0,8
	Acidificação	kg SO ₂	1,1E+01	5,3E+00	2,0	1,0E+01	5,3E+00	1,9
	Eutrofização	kg PO ₄	2,9E+00	4,4E-01	6,7	2,7E+00	4,4E-01	6,2
	Metais pesados	kg Pb	5,2E-02	5,9E-03	8,8	5,0E-02	5,9E-03	8,4
	Carcinogénicos	kg B(a)P	2,4E-04	2,1E-05	11,4	2,1E-04	2,1E-05	10,1
	Smog de Inverno	kg SPM	5,7E+00	4,3E+00	1,3	5,6E+00	4,3E+00	1,3
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	7,8E-01	4,4E-01	1,8	7,5E-01	4,4E-01	1,7
	Recursos energéticos	MJ LHV	3,3E+04	4,1E+04	0,8	3,3E+04	4,1E+04	0,8
Resíduos sólidos	Kg	1,2E+01	-	N.A.	1,1E+01	-	N.A.	
"Ecoindicator 99 (H)"	Carcinogénicos	DALY	5,4E-04	3,3E-05	16,3	5,1E-04	3,3E-05	15,3
	Orgânicos respiráveis	DALY	2,4E-06	1,3E-06	1,8	2,3E-06	1,3E-06	1,8
	Inorgânicos respiráveis	DALY	1,5E-03	4,8E-04	3,0	1,4E-03	4,8E-04	2,8
	Alterações climáticas	DALY	3,6E-04	9,9E-05	3,6	1,9E-04	9,9E-05	1,9
	Radiação	DALY	5,5E-06	1,3E-06	4,1	5,4E-06	1,3E-06	4,1
	Camada de ozono	DALY	3,0E-07	3,6E-07	0,8	2,9E-07	3,6E-07	0,8
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	1,2E+03	1,0E+02	11,9	1,2E+03	1,0E+02	11,3
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	5,3E+01	1,3E+01	4,0	4,9E+01	1,3E+01	3,7
	Uso do solo	PDF*m ² yr	6,4E+01	2,6E+01	2,5	6,8E+01	2,6E+01	2,6
	Minerais	MJ surplus	1,1E+02	2,9E+00	38,1	1,1E+02	2,9E+00	36,4
Combustíveis fósseis	MJ surplus	2,3E+03	5,4E+03	0,4	2,2E+03	5,4E+03	0,4	

SC – sementeira convencional.

SD – sementeira directa.

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacte.

Tabela 35 – Dados obtidos para a comparação ambiental entre a produção de bioetanol (sem o cultivo do milho) e de gasolina.

Método	Categoria do impacte	Unidade	Produção de bioetanol (SC)	Produção de gasolina	F(SC)
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	7,0E+02	4,4E+02	1,6
	Camada de ozono	kg CFC11	2,6E-04	4,5E-04	0,6
	Acidificação	kg SO ₂	5,6E+00	5,3E+00	1,1
	Eutrofização	kg PO ₄	6,1E-01	4,4E-01	1,4
	Metais pesados	kg Pb	3,7E-02	5,9E-03	6,2
	Carcinogénicos	kg B(a)P	1,1E-04	2,1E-05	5,3
	Smog de Inverno	kg SPM	3,4E+00	4,3E+00	0,8
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	5,5E-01	4,4E-01	1,2
	Recursos energéticos	MJ LHV	2,3E+04	4,1E+04	0,6
	Resíduos sólidos	kg	0	0	N.A.
"Ecoindicator 99"	Carcinogénicos	DALY	2,7E-04	3,3E-05	8,0
	Orgânicos respiráveis	DALY	1,7E-06	1,3E-06	1,3
	Inorgânicos respiráveis	DALY	7,9E-04	4,8E-04	1,6
	Alterações climáticas	DALY	1,5E-04	9,9E-05	1,5
	Radiação	DALY	3,1E-06	1,3E-06	2,3
	Camada de ozono	DALY	2,1E-07	3,6E-07	0,6
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	5,9E+02	1,0E+02	5,8
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	2,4E+01	1,3E+01	1,8
	Uso do solo	PDF*m ² yr	1,7E+01	2,6E+01	0,7
	Minerais	MJ surplus	8,1E+01	2,9E+00	27,5
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	1,1E+03	5,4E+03	0,2

SC – sementeira convencional.

SD – sementeira directa.

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacte.

No que respeita à análise económica, e segundo a Tabela 36, a produção de gasolina apresenta-se como favorável aquando da não aplicação do ISP. Contudo, quando aplicado o ISP o bioetanol torna-se economicamente favorável. É aqui visível a distorção de mercado introduzida pela diferenciação de imposto.

Tabela 36 – Custo total da produção de bioetanol vs. produção de gasolina.

ISP	Produção de bioetanol (€. ton bioetanol ⁻¹)	Produção de gasolina (€. ton bioetanol ⁻¹)
Sem	907,56	766,47
Com	1069,65 – 1107,65	1309,34

3.3 Queima de combustível

Importa agora perceber a diferença, em termos de emissões, que tem lugar aquando da queima de cada um dos combustíveis no veículo. No que respeita à utilização automóvel de bioetanol é de salientar a possível existência de problemas de corrosão caso não seja misturado com produtos petrolíferos. Esta ocorre uma vez que, o bioetanol só por si tem a capacidade de absorver água da atmosfera (*The Economist*, 2007).

As emissões que têm lugar devido à utilização de dado combustível dependem de vários factores tais como a composição do combustível, razão ar – combustível, tipo de condução, conteúdo em oxigénio do combustível e estrutura química do aditivo (He *et al.*, 2003). É ainda de notar que o bioetanol pode ser utilizado sob a sua forma pura ou misturado com gasolina (Malça, 2006).

O bioetanol constitui uma molécula “oxigenada” e portanto, teoricamente, se misturada com gasolina aumenta a eficiência da combustão, no sentido em que contribui para que esta seja completa (Niven, 2005). Seguindo este raciocínio, a queima de bioetanol, em comparação com a de gasolina, daria origem a uma maior quantidade de dióxido de carbono, mas a uma menor quantidade de monóxido de carbono. Contudo, não se trata de uma relação linear; pelo contrário, é um assunto complexo, que exige uma análise atenta. Dependendo do tipo de carro analisado, assim como da profundidade do estudo, as conclusões diferem, tal como argumenta Niven (2005). Segundo este último são obtidos os seguintes resultados em relação a poluentes atmosféricos (sempre em comparação com o uso exclusivo de gasolina):

- ✓ Para uma mistura de 10% em volume de bioetanol (E10) verifica-se uma menor emissão quer de hidrocarbonetos, quer de monóxido de carbono, em comparação com a queima exclusiva de gasolina, com algumas ocorrências de emissões iguais ou aumento das emissões. O mesmo resultado é de esperar aquando da utilização de uma mistura com 20% em volume de bioetanol;

- ✓ A utilização de E10 pode originar um aumento significativo das emissões de acetaldeído, o qual constitui um composto perigoso e provavelmente carcinogénico. É ainda um precursor do nitrato de peróxil-acetato, um composto irritante para o sistema respiratório, assim como uma toxina para as plantas;

- ✓ À utilização de E10 encontra-se associado um aumento da emissão de bioetanol, quer por combustão quer por evaporação;

- ✓ No que diz respeito a emissões de óxidos de azoto, aquando da utilização de E10, os resultados apresentados pelos estudos nem sempre são concordantes. As emissões de óxidos de azoto estão fortemente dependentes da razão ar - combustível o que implica que são necessárias medidas de optimização de queima. Um estudo de Zervas E, *et al.* (2003), indica que a utilização de E20 dá origem a emissões menores de óxidos de azoto do que a utilização de E0. No entanto, um estudo da Orbital Engine Co. (2003) indica que a utilização de E20 origina emissões substancialmente mais elevadas de óxidos de azoto do que o E0. É de notar que os óxidos de azoto são um precursor da formação do ozono ao nível do solo e conseqüentemente do nevoeiro fotoquímico;

- ✓ A utilização de E10 pode dar origem a menores emissões de 1, 3 butadieno embora, em alguns casos, o efeito não seja relevante;

✓ A utilização de E10 aumenta as emissões de formaldeído. Contudo, esses resultados nem sempre são claros, sendo que, em alguns casos ocorre uma diminuição das emissões. As emissões de formaldeído podem ainda ser mais elevadas com a utilização de E15 do que com E10, sendo, segundo Orbital Engine Co (2003) inferiores ou similares aquando da utilização de E20.;

✓ A utilização de E10 origina emissões mais reduzidas de benzeno. Contudo, em certas ocasiões, as emissões de benzeno, resultantes da utilização de E10 são superiores àquelas resultantes da utilização de E0. As emissões de benzeno estão relacionadas com o conteúdo em benzeno e ciclo – hexano (em proporção menor) do combustível;

✓ A utilização de E10 poderá originar emissões mais reduzidas de tolueno e xileno do que o E0;

✓ A utilização de bioetanol como combustível aumenta as emissões de metanol;

✓ A utilização de E10 pode ter um efeito desprezável nas emissões de acetona;

✓ As emissões de etileno podem aumentar com a utilização de E10;

✓ Testes efectuados para o E20 indicam uma redução de emissões de benzeno, tolueno e hexano, relativamente ao E0, com resultados não claros para o 1,3 butadieno e xileno e sem alterações nas emissões de formaldeído;

✓ O E10 pode dar origem a menores emissões de partículas.

Segundo Williams *et al.* (2003), os benefícios, em termos de emissões, da utilização de E10 são mais relevantes quando se tratam de carros mais antigos ou com emissões resultantes da utilização de E0 mais elevadas (Niven, 2005). Os estudos de CSIRO/BTRE/ABARE (2003), assim como de Apace Research (1998), consideram que existe entre metade a uma ordem de diferença de magnitude entre as emissões de produtos tóxicos para os veículos produzidos antes de 1986 e depois 1986, quer para a utilização de E0, quer para E10, o que implica que a eliminação de veículos anteriores a 1986 seria mais eficaz do que a utilização de E10 (Niven, 2005). Para Pouloupoulos, *et al.* (2001) e Leong, *et al.* (2002), aquando da sua existência, um conversor catalítico tem um papel mais decisivo na redução de emissões do que a composição do combustível. É ainda de salientar que o bioetanol, e numa extensão menor, o acetaldeído são resistentes à quebra no conversor (Niven, 2005).

Para além das emissões provenientes da combustão é necessário ter em conta aquelas que ocorrem por evaporação do combustível. As misturas de baixa percentagem em bioetanol, tais como E10 e E20 possuem uma pressão de vapor *Reid* mais elevada do que o E0, o que dá origem a perdas por evaporação na ordem de 20-80% mais elevadas do que o E0 (Niven, 2005). Incluindo o papel das perdas por evaporação, o E10 provoca um aumento nas emissões de hidrocarbonetos totais, das espécies orgânicas sem metano assim como de tóxicos atmosféricos, aumentando assim o potencial de formação de ozono relativamente ao MTBE (éter metil-butil terciário) ou à gasolina (Niven, 2005).

Apesar da complexidade da situação, e da variabilidade dos resultados consoante as condições dos estudos, para Niven (2005) a evidência sugere que, no geral, a combustão de E10

origina menores emissões de hidrocarbonetos totais, monóxido de carbono, benzenos e matéria particulada e possivelmente também menores emissões de 1,3-butadieno do que a combustão de E0. Contudo, conduz a emissões substancialmente superiores de acetaldeído e bioetanol assim como emissões mais elevadas de óxidos de azoto, metanol e etileno.

No que diz respeito ao E85, este dá origem a emissões de acetaldeído até 27 vezes superiores às produzidas pela queima de E0, produzindo, no entanto, emissões substancialmente mais reduzidas de benzeno assim como emissões mais reduzidas de compostos orgânicos voláteis e 1,3-butadieno (Niven, 2005). Para as emissões de escape de monóxido de carbono e óxidos de azoto, os valores obtidos são comparáveis ou inferiores às que têm lugar com a utilização de E0 (Niven, 2005). As emissões de matéria particulada são igualmente comparáveis ou superiores às que são originadas pelo E0 (Niven, 2005).

Tendo em conta as situações acima descritas, não é possível retirar uma conclusão clara acerca da influência, em termos de emissões, da utilização de bioetanol como combustível. É ainda de notar que, para além de ocorrer uma variação nas emissões de poluentes comuns quer à queima de gasolina, quer à de bioetanol, aquando da queima de bioetanol ocorrem emissões de compostos que não estavam presentes na queima de gasolina e são eliminadas outras emissões. Em relação ao anteriormente dito é de salientar a possibilidade do surgimento de emissões de acetaldeído e formaldeído aquando da queima de bioetanol. No que diz respeito ao formaldeído, este pode reagir com radicais hidróxido originando a formação do radical de “*peroxyacetyl*”, podendo este reagir com o dióxido de azoto originando a formação de PAN (Jeffrey *et al.*, 1997). Embora os PAN não constituam poluentes sujeitos a regulamentação, são passíveis de provocar problemas mutagénicos e de constituírem lacrimogéneos (Jeffrey *et al.*, 1997). Para além disso, o PAN é, para as plantas, mais tóxico do que o ozono (Jeffrey *et al.*, 1997). Estudos efectuados no Rio de Janeiro (Tanner *et al.*, 1988; Grosjean *et al.*, 1990) e em Albuquerque (Popp *et al.*, 1993) indicam que teve lugar um aumento da concentração de PAN durante períodos de intensificação da utilização de combustíveis constituídos por mistura de bioetanol e gasolina (Jeffrey *et al.*, 1997). Os dados recolhidos nos estudos indicam ainda que o “*peroxypropionyl nitrate*” (PPN), é aparentemente produzido em níveis elevados quando o bioetanol é utilizado como combustível (Jeffrey *et al.*, 1997). O PPN apresenta níveis de toxicidade superiores ao PAN.

As emissões de substâncias poluentes variam consoante as características do veículo assim como com a percentagem de mistura. Contudo, para efeitos de análise tornou-se necessário a admissão de valores e consideração dos mesmos como representativos da situação em análise (Tabela 37.).

Tabela 37 – Dados base para a análise das emissões com origem na queima de bioetanol e gasolina.

Fonte: Portugal *et al.*, 2007.

	CO ₂ (g/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	CH ₄ (g/km)
Etanol anidro	142	3,03	0,81	0,06
Gasolina	162	5,67	1,01	0,08

Ao analisar a Tabela 37, é possível concluir que, para o mesmo n.º de quilómetros percorridos, a utilização de bioetanol dá origem a menores emissões de todos os poluentes em análise. De modo a obter os valores de emissão por tonelada de bioetanol recorre-se à Equação 4 e Equação 5, para os valores de emissão provenientes da queima de bioetanol anidro e gasolina, respectivamente. Através destas é possível a obtenção dos resultados constantes da Tabela 38.

$$\text{Factor de emissão} \left(\frac{\text{kg}_{\text{poluente}}}{\text{km}} \right) * \frac{1}{\text{Consumo} \left(\frac{\text{ton bioetanol}}{\text{km}} \right)} = \text{Emissão} \left(\frac{\text{kg}_{\text{poluente}}}{\text{ton etanol}} \right) \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Factor de emissão} \left(\frac{\text{kg}_{\text{poluente}}}{\text{km}} \right) * \frac{1}{\text{Consumo} \left(\frac{\text{ton gasolina}}{\text{km}} \right)} * R \left(\frac{\text{ton gasolina}}{\text{ton bioetanol}} \right) = \text{Emissão} \left(\frac{\text{kg}_{\text{poluente}}}{\text{ton etanol}} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Tabela 38 – Resultados obtidos para as emissões resultantes da queima de bioetanol anidro e gasolina em unidades de kg.ton bioetanol⁻¹.

	CO₂ (kg.ton bioetanol⁻¹)	CO (kg.ton bioetanol⁻¹)	NO_x (kg.ton bioetanol⁻¹)	CH₄ (kg.ton bioetanol⁻¹)
Etanol anidro	1976,74	42,18	11,26	0,86
Gasolina	2255,16	78,93	14,06	1,14

As emissões de CO₂ que têm lugar aquando da queima de bioetanol foram previamente fixadas pela planta, durante o processo de fotossíntese, não devendo portanto ser contabilizadas na presente análise. É de notar que, para qualquer um dos poluentes, a queima de gasolina dá origem a uma maior quantidade de emissões.

3.3.1 Comparação ambiental da queima de combustível

Uma vez que a queima de bioetanol provoca uma menor quantidade de emissões, a ela correspondem valores de impacte inferiores quando comparados com os resultantes da queima de gasolina. Para as categorias de acidificação / eutrofização contribuem as emissões de óxidos de azoto. Para os gases com efeito de estufa contribuem o dióxido de carbono e o metano. Estes últimos, juntamente com o monóxido de carbono são responsáveis pelas alterações climáticas. O metano contribui ainda para os inorgânicos respiráveis.

Tabela 39 – Resultados obtidos para os impactos ambientais resultantes da queima de bioetanol vs queima de gasolina.

Método	Categoria do impacto	Unidade	Emissões bioetanol	Emissões gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	1,2E+02	2,4E+03	0,1
	Acidificação	kg SO ₂	6,0E-01	8,0E-01	0,8
	Eutrofização	kg PO ₄	1,1E-01	1,5E-01	0,8
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	7,9E-02	9,8E-02	0,8
"Ecoindicator 99"	Orgânicos respiráveis	DALY	1,4E-07	1,8E-07	0,8
	Inorgânicos respiráveis	DALY	7,6E-05	1,0E-04	0,8
	Alterações climáticas	DALY	6,3E-05	5,6E-04	0,1
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	4,9E+00	6,5E+00	0,8

F – representa o quociente entre o impacto proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacto.

Não é possível efectuar uma análise económica nos termos em que tem sido efectuada ao longo deste estudo. Contudo, seria possível quantificar o impacto ambiental associado a cada uma das alternativas, sendo o cenário do bioetanol favorável.

4 Resultados finais e discussão

4.1 Análise ambiental e energética

O resultado final é obtido, para cada cenário, através da soma do impacte (positivo ou negativo) de todos os *itens* considerados na Tabela 40.

Tabela 40 – Resumo dos *itens* considerados em cada um dos cenários analisados.

Cenário do bioetanol	Cenário da gasolina
Cultivo de milho	PPRSRL
Criação de animais em estábulo (alimentação e emissões)	Criação de animais em pastagem (alimentação e emissões)
Produção de bioetanol e DDG	Produção de gasolina
Combustão de bioetanol	Combustão de gasolina

Os resultados obtidos constam da Tabela 41 e da Tabela 42, e mostram que, nas condições consideradas para o estudo, o cenário que se apresenta como favorável para a maioria das categorias ambientais é o da utilização de gasolina como combustível (cenário da gasolina). Contudo, os valores assumidos pelo factor F são, em alguns casos, próximos de 1, o que sugere uma diferença muito pequena entre o impacte provocado pelos cenários. As categorias de impacte que melhor distinguem os cenários são os minerais, carcinogénicos, metais pesados e ecotoxicidade. De modo a obter uma melhor compreensão do peso dos diversos *itens* em cada uma das categorias é elaborada a Tabela 43, Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46.

Tipicamente a substituição de gasolina por bioetanol é apresentada com o objectivo principal de diminuir a dependência energética de combustíveis fósseis e a emissão de gases com efeito de estufa. Efectivamente, e como seria de esperar, os resultados indicam que, para as categorias de recursos energéticos / combustíveis fósseis, o cenário do bioetanol apresenta-se como favorável (Tabela 41 e Tabela 42). As actividades que mais contribuem para o impacte de recursos energéticos são respectivamente para o cenário do bioetanol e da gasolina, a produção de bioetanol e o cultivo de milho vs. a produção de gasolina. No que diz respeito ao cenário do bioetanol, o impacte encontra-se sobretudo relacionado com a extracção de carvão, transporte de matérias-primas, e produção de milho. O resultado obtido no que respeita à utilização de energia (categoria que quantifica a utilização de recursos energéticos proveniente do “*Ecoindicator 95*”) é semelhante àquele indicado por Pimentel (2003). Segundo este último, o bioetanol possui uma energia de $2,7 \times 10^4$ MJ. ton bioetanol⁻¹ pelo que é então necessária uma maior quantidade de energia para a produção de bioetanol do que a energia que este possui. Contudo o mesmo também será verdade para a gasolina, não constituindo este argumento elemento de diferenciação entre os dois cenários. A comparação entre os dois cenários permite concluir que, como política energética, a substituição de gasolina por bioetanol apresenta-se como favorável.

No que diz respeito à emissão de gases com efeito de estufa, o cenário da gasolina apresenta-se como favorável (Tabela 41 e Tabela 42). Tendo em conta que um *item* com elevada

responsabilidade no impacte referente ao tema gases com efeito de estufa é o sequestro de carbono, e dado o seu carácter possivelmente temporário, é igualmente realizada a análise na ausência deste. Uma vez que para o cenário da gasolina é considerado um sequestro superior àquele do cenário do bioetanol, essa diferença poderia estar a influenciar o resultado, favorecendo o cenário da gasolina. Contudo, embora os valores obtidos para cada um dos cenários se aproximem, o cenário da gasolina mantém-se como favorável. Se analisarmos somente a produção e queima de combustível *per se* (Tabela 47), o bioetanol apresenta-se como vantajoso. Contudo, embora esta seja uma situação tipicamente analisada na literatura, nomeadamente pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (www.energy.gov, visitada em 7/11/07), com as mesmas conclusões aqui apresentadas, tal metodologia não constitui uma ACV, tratando-se apenas de dois dos *itens* em análise. Efectivamente, na ACV, estes não constituem sequer os *itens* mais importantes, lugar ocupado pelas emissões animais, nomeadamente através do N₂O. Do ponto de vista de emissões de gases com efeito de estufa não é então vantajosa a substituição de gasolina por bioetanol.

Para as restantes categorias de impacte, a substituição de gasolina por bioetanol é apenas favorável em termos de diminuição de degradação da camada de ozono e emissão de substâncias acidificantes, categorias para as quais o maior contribuinte, no caso do cenário da gasolina, é a produção de gasolina. Para a análise da acidificação é de salientar o facto dos valores serem muito semelhantes para os dois cenários e, quando considerada a equivalência proteica entre DDG e bagaço de soja o cenário do bioetanol deixa de ser favorável.

No que respeita às restantes categorias em que o cenário do bioetanol é responsável por um maior impacte, é aqui analisado qual o motivo de tal impacte. Considerando as categorias que melhor distinguem os dois cenários, para a categoria que quantifica a emissão de metais pesados e o impacte nos minerais os maiores contribuintes são a produção de bioetanol, nomeadamente através do *input* em aço para as duas categorias e carvão, no caso dos metais pesados. No caso das categorias que quantificam o impacte em termos de ecotoxicidade e carcinogénicos, o maior impacte provém do cultivo de milho, principalmente através da adição de adubo. O mesmo sucede para a categoria que quantifica a eutrofização e os resíduos sólidos. É de salientar que a influência da adição de adubo nesta última categoria está relacionada com o processo de fabrico dos adubos, e não com a aplicação no terreno. Tal como seria de esperar, uma vez que para a elaboração da ração é considerado o cultivo dos diversos ingredientes, juntamente com o cultivo de milho, a alimentação animal é a principal responsável pelo uso do solo. O *smog* de Verão, e o *smog* de Inverno são principalmente provocados pela produção de bioetanol. No que diz respeito à emissão de substâncias orgânicas e inorgânicas respiráveis, e para o cenário do bioetanol, o principal responsável é a produção de bioetanol através das emissões que ocorrem durante o transporte e o processo de fabrico de electricidade. Para a categoria que quantifica o impacte em termos de radiação, o principal responsável, e para o cenário do bioetanol é a produção de bioetanol, através da produção de água utilizada no processo.

É de notar que, no caso de não ser considerado o custo de oportunidade do terreno (Tabela 47), as conclusões em termos recursos energéticos / combustíveis fósseis mantém-se. É de notar que o cenário do bioetanol é favorável para as categorias que quantificam a acidificação, camada de

ozono, e uso do solo. Para a categoria da acidificação e uso de solo, tal resultado está considerado com a não consideração de alimentação animal e consequente produção de ração.

Tabela 41 – Resultados finais da comparação ambiental dos dois cenários com e sem sequestro de carbono para a prática de sementeira convencional.

Método	Categoria do impacte	Unidade	DDG (Pimentel)			DDG (eq. proteica)		
			Etanol	Gasolina	F	Etanol	Gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa (sem sequestro)	kg CO ₂	1,5E+04	1,3E+04	1,2	1,5E+04	1,3E+04	1,2
	Gases com efeito de estufa (com sequestro)	kg CO ₂	1,5E+04	7,5E+03	2,0	1,5E+04	7,5E+03	2,0
	Camada de ozono	kg CFC11	3,8E-04	4,8E-04	0,8	3,8E-04	4,8E-04	0,8
	Acidificação	kg SO ₂	9,2E+00	9,4E+00	1,0	1,0E+01	9,4E+00	1,1
	Eutrofização	kg PO ₄	2,8E+00	1,8E+00	1,6	3,1E+00	1,8E+00	1,7
	Metais pesados	kg Pb	5,5E-02	1,2E-02	4,7	5,6E-02	1,2E-02	4,8
	Carcinogénicos	kg B(a)P	2,6E-04	5,3E-05	4,9	2,6E-04	5,3E-05	5,0
	Smog de Inverno	kg SPM	5,9E+00	5,4E+00	1,1	6,0E+00	5,4E+00	1,1
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	1,4E+00	1,1E+00	1,3	1,5E+00	1,1E+00	1,3
	Recursos energéticos	MJ LHV	3,5E+04	4,4E+04	0,8	3,6E+04	4,4E+04	0,8
	Resíduos sólidos	kg	1,4E+01	5,9E+00	2,4	1,4E+01	5,9E+00	2,4
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	5,8E-04	1,5E-04	3,9	5,9E-04	1,5E-04	4,0
	Orgânicos respiráveis	DALY	3,7E-06	2,6E-06	1,4	3,7E-06	2,6E-06	1,4
	Inorgânicos respiráveis	DALY	1,5E-03	9,1E-04	1,7	1,6E-03	9,1E-04	1,8
	Alterações climáticas (sem sequestro)		4,0E-03	3,2E-03	1,2	4,0E-03	3,2E-03	1,2
	Alterações climáticas (com sequestro)	DALY	4,0E-03	2,2E-03	1,8	4,0E-03	2,2E-03	1,8
	Radiação	DALY	6,6E-06	2,5E-06	2,6	6,7E-06	2,5E-06	2,7
	Camada de ozono	DALY	3,1E-07	3,8E-07	0,8	3,2E-07	3,8E-07	0,8
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	1,3E+03	2,8E+02	4,7	1,3E+03	2,8E+02	4,7
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	3,9E+01	4,1E+01	1,0	4,8E+01	4,1E+01	1,2
	Uso do solo	PDF*m ² yr	6,6E+01	5,3E+01	1,3	7,2E+01	5,3E+01	1,4
	Minerais	MJ surplus	1,2E+02	1,2E+01	9,7	1,2E+02	1,2E+01	9,7
Combustíveis fósseis	MJ surplus	2,5E+03	5,7E+03	0,4	2,5E+03	5,7E+03	0,4	

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacte.

Tabela 42 – Resultados finais da comparação ambiental dos dois cenários com e sem sequestro de carbono para a prática de sementeira directa.

Método	Categoria do impacte	Unidade	DDG (Pimentel)			DDG (eq. proteica)		
			Etanol	Gasolina	F	Etanol	Gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa (sem sequestro)	kg CO ₂	1,4E+04	1,2E+04	1,2	1,4E+04	1,2E+04	1,2
	Gases com efeito de estufa (com sequestro)	kg CO ₂	1,3E+04	7,5E+03	1,8	1,4E+04	7,5E+03	1,8
	Camada de ozono	kg CFC11	3,7E-04	4,8E-04	0,8	3,7E-04	4,8E-04	0,8
	Acidificação	kg SO ₂	8,2E+00	9,2E+00	0,9	9,3E+00	9,2E+00	1,0
	Eutrofização	kg PO ₄	2,5E+00	1,7E+00	1,5	2,8E+00	1,7E+00	1,6
	Metais pesados	kg Pb	5,3E-02	1,1E-02	4,7	5,3E-02	1,1E-02	4,7
	Carcinogénicos	kg B(a)P	2,3E-04	5,0E-05	4,6	2,3E-04	5,0E-05	4,7
	Smog de Inverno	kg SPM	5,6E+00	5,3E+00	1,1	5,8E+00	5,3E+00	1,1
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	1,4E+00	1,1E+00	1,3	1,4E+00	1,1E+00	1,3
	Recursos energéticos	MJ LHV	3,4E+04	4,3E+04	0,8	3,5E+04	4,3E+04	0,8
	Resíduos sólidos	kg	1,3E+01	5,5E+00	2,4	1,3E+01	5,5E+00	2,4
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	5,5E-04	1,4E-04	3,9	5,5E-04	1,4E-04	4,0
	Orgânicos respiráveis	DALY	3,5E-06	2,6E-06	1,4	3,5E-06	2,6E-06	1,4
	Inorgânicos respiráveis	DALY	1,4E-03	8,9E-04	1,6	1,5E-03	8,9E-04	1,7
	Alterações climáticas (sem sequestro)	DALY	3,7E-03	3,1E-03	1,2	3,7E-03	3,1E-03	1,2
	Alterações climáticas (com sequestro)	DALY	3,6E-03	2,1E-03	1,7	3,6E-03	2,1E-03	1,7
	Radiação	DALY	6,5E-06	2,4E-06	2,7	6,5E-06	2,4E-06	2,7
	Camada de ozono	DALY	3,0E-07	3,8E-07	0,8	3,1E-07	3,8E-07	0,8
	Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	1,2E+03	2,7E+02	4,6	1,2E+03	2,7E+02	4,7
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	3,2E+01	3,9E+01	0,8	4,1E+01	3,9E+01	1,0
	Uso do solo	PDF*m ² yr	6,7E+01	5,0E+01	1,3	7,3E+01	5,0E+01	1,4
	Minerais	MJ surplus	1,1E+02	1,2E+01	9,7	1,1E+02	1,2E+01	9,8
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	2,3E+03	5,7E+03	0,4	2,4E+03	5,7E+03	0,4

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacte.

Tabela 43 – Contribuição dos vários *itens* constituintes dos cenários para diversas categorias de impacto correspondentes ao cenário do bioetanol e “Ecoindicator 95”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).

	Unidade	Cultivo de milho	Alimentação estábulo	Emissões animais	Produção de bioetanol	DDG	Emissões
Gases com efeito de estufa	kg CO ₂	8,9E+02	5,4E+02	1,4E+04	7,0E+02	-6,8E+02	1,2E+02
	%	6	3	90	5	-5	1
Camada de ozono	kg CFC11	9,6E-05	5,0E-05	0,0E+00	2,6E-04	-3,0E-05	0,0E+00
	%	26	13	0	69	-8	0
Acidificação	kg SO ₂	5,2E+00	6,2E+00	0,0E+00	5,6E+00	-8,4E+00	6,0E-01
	%	56	67	0	61	-91	7
Eutrofização	kg PO ₄	2,3E+00	1,9E+00	0,0E+00	6,1E-01	-2,0E+00	1,1E-01
	%	81	65	0	22	-72	4
Metais pesados	kg Pb	1,5E-02	6,8E-03	0,0E+00	3,7E-02	-3,5E-03	0,0E+00
	%	28	12	0	66	-6	0
Carcinogénicos	kg B(a)P	1,3E-04	5,3E-05	0,0E+00	1,1E-04	-2,9E-05	0,0E+00
	%	48	20	0	43	-11	0
Smog de Inverno	kg SPM	2,3E+00	1,3E+00	0,0E+00	3,4E+00	-1,1E+00	0,0E+00
	%	39	22	0	58	-19	0
Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	2,3E-01	1,6E-01	5,1E-01	5,5E-01	-8,1E-02	7,9E-02
	%	16	11	35	38	-6	6
Recursos energéticos	MJ LHV	9,9E+03	5,3E+03	0,0E+00	2,3E+04	-3,4E+03	0,0E+00
	%	28	15	0	67	-10	0
Resíduos sólidos	kg	1,2E+01	1,9E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,8E-14	0,0E+00
	%	87	13	0	0	0	0

Tabela 44 – Contribuição dos vários itens constituintes dos cenários para diversas categorias de impacto correspondentes ao cenário da gasolina e “Ecoindicator 95”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).

	Unidade	PPRSRL	Alimentação PPRSRL	Emissões animais	Produção gasolina	Emissões gasolina
Gases com efeito de estufa (sem sequestro)	kg CO ₂	1,3E+02	2,2E+02	9,3E+03	4,4E+02	2,4E+03
	%	1	2	74	4	19
Gases com efeito de estufa (com sequestro)	kg CO ₂	-4,9E+03	2,2E+02	9,3E+03	4,4E+02	2,4E+03
	%	-66	3	125	6	32
Camada de ozono	kg CFC11	8,2E-06	2,1E-05	0,0E+00	4,5E-04	0,0E+00
	%	2	4	0	94	0
Acidificação	kg SO ₂	8,1E-01	2,6E+00	0,0E+00	5,3E+00	8,0E-01
	%	9	27	0	56	8
Eutrofização	kg PO ₄	4,4E-01	7,8E-01	0,0E+00	4,4E-01	1,5E-01
	%	24	43	0	25	8
Metais pesados	kg Pb	2,9E-03	2,9E-03	0,0E+00	5,9E-03	0,0E+00
	%	25	25	0	50	0%
Carcinogénicos	kg B(a)P	1,0E-05	2,2E-05	0,0E+00	2,1E-05	0,0E+00
	%	19	42	0	39	0
Smog de Inverno	kg SPM	5,7E-01	5,3E-01	0,0E+00	4,3E+00	0,0E+00
	%	10	10	0	80	0
Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	2,7E-02	6,6E-02	4,9E-01	4,4E-01	9,8E-02
	%	2	6	44	39	9
Recursos energéticos	MJ LHV	9,2E+02	2,2E+03	0,0E+00	4,1E+04	0,0E+00
	%	2	5	0	93	0
Resíduos sólidos	kg	5,1E00	7,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0
	%	87	13	0	0	0

Tabela 45 – Contribuição dos vários itens constituintes dos cenários para diversas categorias de impacto correspondentes ao cenário do bioetanol e “Ecoindicator 99”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).

	Unidade	Cultivo de milho	Alimentação estábulo	Emissões animais	Produção de bioetanol	DDG	Emissões
Carcinogénicos	DALY	2,7E-04	9,1E-05	0,0E+00	2,7E-04	-4,5E-05	0,0E+00
	%	47	16	0	45	-8	0
Orgânicos respiráveis	DALY	7,0E-07	4,8E-07	9,4E-07	1,7E-06	-2,5E-07	1,4E-07
	%	19	13	26	45	-7	4
Inorgânicos respiráveis	DALY	6,8E-04	5,3E-04	0,0E+00	7,9E-04	-5,4E-04	7,6E-05
	%	44	35	0	51	-35	5
Alterações climáticas	DALY	2,0E-04	1,3E-04	3,6E-03	1,5E-04	-1,7E-04	6,3E-05
	%	5	3	90	4	-4	2
Radiação	DALY	2,4E-06	1,7E-06	0,0E+00	3,1E-06	-5,6E-07	0,0E+00
	%	36	26	0	47	-9	0
Camada de ozono	DALY	8,4E-08	4,3E-08	0,0E+00	2,1E-07	-2,7E-08	0,0E+00
	%	27	14	0	68	-9	0
Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	6,2E+02	1,7E+02	0,0E+00	5,9E+02	-8,4E+01	0,0E+00
	%	48	13	0	45	-6	0
Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	2,9E+01	4,3E+01	0,0E+00	2,4E+01	-6,2E+01	4,9E+00
	%	74	109	0	62	-157	12
Uso do solo	PDF*m ² yr	4,7E+01	4,2E+01	0,0E+00	1,7E+01	-4,0E+01	0,0E+00
	%	72	63	0	25	-60	0
Minerais	MJ surplus	3,1E+01	1,3E+01	0,0E+00	8,1E+01	-6,3E+00	0,0E+00
	%	26	11	0	68	-5	0
Combustíveis fósseis	MJ surplus	1,2E+03	5,7E+02	0,0E+00	1,1E+03	-4,0E+02	0,0E+00
	%	49	23	0	44	-16	0

Tabela 46 – Contribuição dos vários *itens* constituintes dos cenários para diversas categorias de impacto correspondentes ao cenário da gasolina e “Ecoindicator 99”. É aqui considerada a prática de sementeira convencional no cultivo de milho e a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003).

	Unidade	PPRSRL	Alimentação PPRSRL	Emissões animais	Produção gasolina	Emissões gasolina
Carcinogénicos	DALY	7,7E-05	3,8E-05	0,0E+00	3,3E-05	0,0E+00
	%	52	26	0	22	0
Orgânicos respiráveis	DALY	8,2E-08	2,0E-07	9,0E-07	1,3E-06	1,8E-07
	%	3	8	34	48	7
Inorgânicos respiráveis	DALY	1,0E-04	2,2E-04	0,0E+00	4,8E-04	1,0E-04
	%	12	24	0	53	11
Alterações climáticas (sem sequestro)	DALY	3,0E-05	5,3E-05	2,5E-03	9,9E-05	5,6E-04
	%	1	2	77	3	17
Alterações climáticas (com sequestro)	DALY	-1,0E-03	5,3E-05	2,5E-03	9,9E-05	5,6E-04
	%	-47	2	115	4	26
Radiação	DALY	4,8E-07	7,1E-07	0,0E+00	1,3E-06	0,0E+00
	%	19	28	0	53	0
Camada de ozono	DALY	7,0E-09	1,8E-08	0,0E+00	3,6E-07	0,0E+00
	%	2	5	0	93	0
Ecotoxicidade	PDA*m ² yr	1,1E+02	7,1E+01	0,0E+00	1,0E+02	0,0E+00
	%	38	25	0	37	0
Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	3,0E+00	1,8E+01	0,0E+00	1,3E+01	6,5E+00
	%	7	44	0	33	16
Uso do solo	PDF*m ² yr	9,2E+00	1,8E+01	0,0E+00	2,6E+01	0,0E+00
	%	18	33	0	49	0
Minerais	MJ surplus	3,8E+00	5,6E+00	0,0E+00	2,9E+00	0,0E+00
	%	31	45	0	24	0
Combustíveis fósseis	MJ surplus	9,5E+01	2,4E+02	0,0E+00	5,4E+03	0,0E+00
	%	2	4	0	94	0

Tabela 47 – Resultados obtidos para a análise ambiental, considerando apenas a produção e combustão de cada um dos combustíveis, incluindo o milho como matéria-prima da produção de bioetanol e os impactos evitados pelo DDG. O cultivo de milho é efectuado considerando a prática de sementeira convencional e para o DDG é considerada a equivalência dada por Pimentel (2003).

Método	Categoria do impacte	Unidade	Etanol	Gasolina	F
"Ecoindicator 95"	Gases com efeito de estufa (com sequestro)	kg CO ₂	1,0E+03	2,9E+03	0,4
	Camada de ozono	kg CFC11	3,3E-04	4,5E-04	0,7
	Acidificação	kg SO ₂	3,0E+00	6,1E+00	0,5
	Eutrofização	kg PO ₄	9,8E-01	5,8E-01	1,7
	Metais pesados	kg Pb	4,8E-02	5,9E-03	8,2
	Carcinogénicos	kg B(a)P	2,1E-04	2,1E-05	10,0
	Smog de Inverno	kg SPM	4,6E+00	4,3E+00	1,1
	Smog de Verão	kg C ₂ H ₄	7,8E-01	5,4E-01	1,4
	Recursos energéticos	MJ LHV	3,0E+04	4,1E+04	0,7
Resíduos sólidos	kg	1,2E+01	0,0E+00	N.A.	
"Ecoindicator 99" (H)	Carcinogénicos	DALY	4,9E-04	3,3E-05	14,9
	Orgânicos respiráveis	DALY	2,3E-06	1,5E-06	1,5
	Inorgânicos respiráveis	DALY	1,0E-03	5,8E-04	1,7
	Alterações climáticas	DALY	2,5E-04	6,6E-04	0,4
	Radiação	DALY	4,9E-06	1,3E-06	3,7
	Camada de ozono	DALY	2,7E-07	3,6E-07	0,8
	Ecotoxicidade	PDF*m ² yr	1,1E+03	1,0E+02	11,0
	Acidificação / Eutrofização	PDF*m ² yr	-3,7E+00	2,0E+01	-0,2
	Uso do solo	PDF*m ² yr	2,4E+01	2,6E+01	0,9
	Minerais	MJ surplus	1,1E+02	2,9E+00	35,9
	Combustíveis fósseis	MJ surplus	1,9E+03	5,4E+03	0,3

F – representa o quociente entre o impacte proveniente do cenário do bioetanol e aquele do cenário da gasolina, para cada uma das categorias ambientais.

Valores em *bold* indicam o cenário que conduz a um menor impacte.

4.2 Análise económica

Tal como consta da Tabela 48, ao cenário da gasolina encontra-se associado um menor custo quer seja ou não considerada a aplicação de imposto. O *item* com maior contribuição é a produção do próprio combustível.

É ainda de notar que, em termos de emissões de gases de efeito estufa, o cenário do bioetanol leva à emissão de mais 7,5 ton de CO₂. ton bioetanol⁻¹ ou 2 ton CO₂. ton bioetanol⁻¹, respectivamente para a análise com e sem sequestro de carbono e para a equivalência de DDG dada por Pimentel (2003). Se considerarmos que esta diferença será colmatada pela compra de licenças de emissão de carbono com um valor de 12 €. ton CO₂ (Fundo Português do Carbono), o que representa um acréscimo total de 90 e 24 €. ton bioetanol⁻¹, respectivamente.

Pegando no resultados da Tabela 47 em termos de diferença de gases de efeito de estufa assim como na diferença de ISP entre os dois cenários é obtido o valor de 180 – 200 €. ton bioetanol⁻¹. Este valor representa o valor monetário, para o estado, de cada tonelada de CO₂ que é evitada.

Tabela 48 – Resultados finais da análise económica.

Cenário do bioetanol			Cenário da gasolina		
Actividade	Sementeira convencional (€. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira directa (€. Ton etanol ⁻¹)	Actividade	Sementeira convencional (€. ton bioetanol ⁻¹)	Sementeira directa (€. ton bioetanol ⁻¹)
Cultivo de milho	490,07	451,20	PRSBRL	143,04	133,35
Alimentação animal	420,06	391,28	Alimentação animal	175,02	163,03
Produção de etanol sem ISP	907,56	907,56	Gasolina sem ISP	765,64	765,64
Produção de etanol com ISP	1069,65 - 1107,65	1069,65 - 1107,65	Gasolina com ISP	1309,34	1309,34
DDG	(-130,89) - (151,96)	(-130,89) - (151,96)			
Total (sem ISP)	1665,72 – 1686,80	1598,07 – 1619,15	Total (sem ISP)	1083,71	1062,03
Total (com ISP)	1827,81 - 1886,89	1760,16 - 1819,24	Total (com ISP)	1627,40	1605,72

5 Conclusões e Críticas

Com este trabalho pretendeu-se realizar um estudo da viabilidade ambiental, energética e económica da substituição de gasolina por bioetanol. O estudo é efectuado num contexto de ACV e foi aqui considerado, para além da produção e queima de combustível, a implicação em termos de afectação de área produtiva.

É então possível concluir que a substituição de gasolina por bioetanol não representa, em termos de emissão de gases de efeito de estufa, uma medida favorável. As emissões de CO₂ são para o cenário do bioetanol, e com o sequestro de carbono, cerca de 2 vezes superior às das do cenário da gasolina. Quando não é considerado o sequestro de carbono a diferença reduz-se para cerca de 1,2. No entanto, quando é efectuada a análise considerando apenas a produção e queima de combustível os resultados indicam como favorável a utilização de bioetanol como combustível. Este resultado, embora seja confirmado pela literatura não constitui uma ACV. Em termos ambientais, as únicas categorias de impacto para as quais o cenário do bioetanol se apresenta como favorável são a emissão de gases que contribuem para a degradação da camada de ozono e de substâncias acidificantes. Para esta última, o resultado está directamente dependente da taxa de substituição de DDG.

Em termos energéticos, a substituição de gasolina por bioetanol apresenta-se como vantajosa, uma vez que, em ciclo de vida, é necessária menos energia, medida em MJ, para a produção de 1 tonelada de bioetanol do que as equivalentes 0,72 toneladas de gasolina. É de notar que ambos os combustíveis necessitam de mais energia para a sua produção do que aquela neles contida, não constituindo portanto, argumento para a diferenciação entre os dois cenários.

De um modo geral, é ainda possível concluir que a prática de sementeira directa conduz a um menor impacto, quando comparado com a prática de sementeira convencional. Embora as unidades fornecidas pelo “*Ecoindicator 95*” sejam diferentes daquelas provenientes do “*Ecoindicator 99*”, para temas equivalentes o resultado da comparação entre os dois cenários é semelhante.

Em termos económicos, a substituição de gasolina por bioetanol tem associado um aumento do preço do combustível, quer seja considerada a aplicação do imposto sobre produtos petrolíferos ou não.

É de notar que neste estudo não foram consideradas diferenças em termos de ocupação de terreno necessário para a produção dos constituintes da alimentação animal, assim como o terreno afecto à produção de soja evitado pela sua substituição por DDG. No que respeita à diferença de afectação de área devido à produção de alimento para os animais, o cenário do bioetanol tem a si associado um acréscimo em cerca de 0,25 ha. Contudo, essa área é compensada em cerca de 0,22 ha devido à utilização de DDG e consequente substituição de bagaço de soja. Deste modo, não são esperadas alterações nas conclusões caso tal afectação de área fosse considerada. No contexto do estudo também não está a ser considerada a utilização de resíduos animais para fertilização do solo. Tal implica que a utilização de fertilizantes encontra-se sobrestimada com consequências a nível de impacto considerado assim como a nível económico.

Como trabalho futuro sugere-se a consideração na análise da produção de biogás a partir de resíduos animais. No contexto em análise esta seria possível para os animais estabelecidos considerados no cenário do bioetanol e somente para as emissões provenientes dos dejectos. Uma primeira aproximação, que corresponde simplesmente à não consideração na análise das emissões de metano referidas não introduz qualquer alteração no resultado. Tal acontece uma vez que a maioria das emissões de metano provêm da fermentação entérica. Não estando a considerar o contributo dos resíduos animais para a fertilização do terreno, seria possível o seu encaminhamento para um digestor anaeróbio. Esta hipótese iria beneficiar o cenário do bioetanol. Relativamente aos impactes provenientes da fertilização note-se que, segundo um estudo de Crutzen *et al.* (2007) as emissões de N₂O encontram-se tipicamente subestimadas devido ao actual uso intensivo de fertilizantes. É portanto de esperar que os valores aqui utilizados não estejam a considerar a dimensão real do impacte.

Para além disso sugere-se ainda a possibilidade de obtenção de dados correspondentes à unidade de transformação de milho – etanol para o contexto português, assim como um estudo mais aprofundado do sequestro de carbono associado às pastagens. No que diz respeito a uma análise de incerteza, embora tal tenha sido realizado através da criação de variantes aos cenários iniciais, do qual são exemplo a análise com e sem sequestro de carbono e sem a consideração de custo de oportunidade da afectação de área produtiva, esta poderia ser refinada através de instrumentos fornecidos pelo *software* SimaPro.

Embora a análise de incerteza pudesse ser melhorada através da utilização de instrumentos do SimaPro, foram aqui criados vários subcenários que permitem aferir da confiança nos resultados, tendo também sido efectuada uma comparação dos resultados obtidos com aqueles disponíveis na literatura.

Referências

- Água & Ambiente – O jornal de negócios do ambiente*, 2007. Outubro, 107, 28.
- Al-Hasan. M., 2003. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management*, 44, 1547:1561.
- Basílio, A., 2007. Monitorização económica de ensaios na cultura de milho grão em regime de sementeira directa e de mobilização convencional – 2004. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Direcção Regional de Agricultura e Pescas de Lisboa e Vale do Tejo, Vila Franca de Xira.
- Burle, M., Mielniczuk, J., Focchi, S., 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil*, 190, 309:316.
- CCE, 2006. Comunicação da Comissão. Estratégia da União Europeia no domínio dos biocombustíveis. Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas.
- Comissão Europeia, 2001. A política europeia de transportes no horizonte 2010: a hora das opções. Livro Branco, Bruxelas
- Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith K.A., Winiwarter, W., 2007. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 7, 11191-11205.
- Domingos, T., Rosas, C., Teixeira, R., 2006. Avaliação ambiental estratégica do programa de desenvolvimento rural 2007-2013 de Portugal – Continente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- EC, 2000. L'impact environmental de la culture du maïs dans l'Union Européenne: Options pratiques pour l'amélioration des impacts environnementaux – Rapport de synthèse. DG XI, Environnement et Sécurité Nucleaire, Unité XI.D.1 – Protection des Eux, Conservation des Sols, Agriculture. European Commission, Bruxelas.
- ECCP, 2003. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils – Final report. European Climate Change Programme, European Commission, Bruxelas.
- EEA, 2004. EEA Briefing. Biocombustíveis nos transportes: explorar as ligações entre o sector da energia e o dos transportes. European Environmental Agency, Copenhaga.
- EEA, 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? European Environment Agency, Copenhaga.
- Farrel, A., Plevin, R., Turner, B., Jones, A., O'Hare, M., Kammen, D., 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, 311, 506:508.
- Ferrão, P., 1998. *Introdução à Gestão Ambiental*. IST Press, Lisboa.
- Fiúza, C., 2006. Efficient integration of Life Cycle Assessment with Economic Valuation: price painting with DALY. Graduation Project Report. IST, Lisboa.
- Fiúza, C., Teixeira, R., Domingos, T., 2007. Efficient Integration of Life Cycle Assessment with Economic Valuation: Price Painting with DALY. *Agricultural Systems* (submetido).
- Freire, F., Malça, J., Rozakis, S., 2004. Integrated economic and environmental life cycle optimization: an application to biofuel production in France. Multiple Criteria Decision Aiding. Lisboa

Goedkoop, M., 1998. The *Ecoindicator 95* final report. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands.

Goedkoop, M., Spriensma, R., 2001. The *Ecoindicator 99*. A damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report, 2nd edition. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands.

He, B., Wang, J., Hão, J., Yan, X., Xiao, J., 2003. A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment*, 37, 949:957.

Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., Tiffany, D., 2006. From the cover: environmental, economic, and energetic cost and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America.

IACA, 2006. *Anuário 2006*. Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais, Lisboa.

IEA, 2004. Biofuels for transport. An international perspective. International Energy Agency, Paris.

INE, 2006. Anuário estatístico de Portugal 2005 – Volume I. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INE, 2007. Contas económicas da agricultura 2006. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa
IPCC, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. OECD/OCDE, Paris.

Khokhotva, O., 2004. "Optimal" use of biomass for energy in Europe: Consideration based upon the value of biomass for CO₂ emission reduction. Suécia.

Luo, Y., Wirojanagud, P., Caudill, R., 2001. Comparison of major environmental performance metrics and their application to typical electronic products. Paper presented at the 2001 International Symposium on Electronics & the Environment (May 7-9), Denver.

MA, 1999. Plano da bacia hidrológica do rio Tejo. 1^a fase. Análise e diagnóstico da situação de referência. Volume III – Análise. Parte D – Sub-Sistema Sócio-Económico. Ministério do Ambiente, Lisboa.

MADRP, 2005. Biomassa e energias renováveis na agricultura, pescas e florestas (Ponto da situação, Junho de 2005). Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa

MADRP (2007). Programa de Desenvolvimento Rural do Continente 2007-2013 (Revisão 3/10/2007). Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.

Malça, J., Freire, F., 2006. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bioethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. *Energy*, 31, 3362:3380.

Manning, R., 2005. Against the grain. How agriculture has hijacked civilization. Nova Iorque.

Marshall, L., Greenhalgh, S., 2006. Beyond the RFS: the environmental and economic impacts of increased grain ethanol production in the U.S. World Resources Institute, 1.

McAloon, A., Taylor, F., Yee, W., Ibsen, K., Wooley, R., 2000. Determining the cost of producing ethanol from corn starch lignocellulosic feedstocks. U.S. Department of Agriculture & U.S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory, Colorado.

Niven, R., 2005. Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9, 535:555.

Paralta, E., Oliveira, M., Batista, S., Francês, A., Ribeiro, L., Cerejeira, M.J., 2001. Aplicação de SIG na avaliação da vulnerabilidade aquífera e cartografia da contaminação agrícola por pesticidas e nitratos na região do ribatejo. In Actas do Seminário "A Hidroinformática em Portugal", ed. CDRUM, 16 pp., LNEC, Lisboa.

Pimentel, D., 2003. Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*, 12, (2), 127:133.

Peplow, M., 2005. Alcohol fuels not so green. *Nature*. (published online).

Plieninger, T., 2007. Looking Beyond Corn and Petroleum. *Science*, 315, 1222:1223.

Pluimers, J., Kroeze, C., Bakker, E., Challa, H., Hordijk, L., 2000. Quantifying the environmental impact of production in agriculture and horticulture in The Netherlands: which emission do we need to consider? *Agriculture Systems* 66, 167-189.

PNAC, 2003. Programa nacional para as alterações climáticas – Volume 6 – Agricultura e Pecuária – Cenário de referência. Instituto do Ambiente, Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, FCT/UNL, Lisboa.

Portugal, J., Moura, L., Brasil, A., Farias, T., 2007. Avaliação Energética e ambiental da aplicabilidade do bioetanol no sector dos transportes. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Righelato R., Spracklen D., 2007. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science*, 317.

Seixas, J., Alves, B., Uva, J. S., Moreira, J., Dinis, R., Finote, S., Martins, A., Fernandes, M., 2006. PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Avaliação do estado de cumprimento do Protocolo de Quioto. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (animais)

Shapouri, H., Duffield, J., Graboski, M., 1995. Estimating the net energy balance of corn ethanol. United States Department of Agriculture, Agricultural Economic Report, 721

Teixeira, R., Domingos, T., Simões, A., Rodrigues, O., 2007. Local vs. global grain maize production Where should you get maize from?. *Ecological Economics*, submitted.

Teixeira, R., Domingos, T., Belo, C.C., 2007. The contribution of sown permanent irrigated grasslands to meet the Portuguese Kyoto target . (Em preparação).

Teixeira, R., Domingos, T., Canaveira, P., Avelar, T., Basch, G., Belo, C.C., Calouro, F., Crespo, D., Ferreira, V.G., Martins, C., 2007. The Benefits of Improved Sown Grasslands: Reaping the Seeds of Carbon. *Agricultural Systems* (em preparação)

The Economist , 2007. Agricultural commodities. Biofuelled. *The Economist*, Jun 21st

The Economist, 2007. Advanced biofuels. Ethanol, schmethanol. *The Economist*, September 29th.

Ulgıati, S., 2001. A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: when “green” is not enough. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 20, (1), 71:106.

UN, 2007. Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers. United Nations-Energy.

van der Werf, H., Petit, J., Sanders, J., 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems* 83, 153:177.

Yüksel, F., Yüksel, B., 2004. The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in na SI engine. *Renewable Energy*, 29, 1181:1191.

Folha de cultura da pastagem semeada de sequeiro

COMOTEX
MADBP/AGPP/AA

REGIÃO	ATIVIDADE
QF	PASTAGEM SEMEADA DA TEP Produção de sementes (desafogo)

PRODUTÃO	UT/ha	em/kg
Produto Principal	979	
Produto Secundário	0	0

ANO	Área (m ²)	Distância Lavouira (m)	Nº Meses de Atividade	Tx. Juro Capital Circulante
2003		2.000	12	1,5%

OPERAÇÃO	CALENDÁRIO DE OPERAÇÕES						MÃO DE OBRA			MÁQUINAS				CONSUMOS INTERMEDIOS					CUSTOS POR OPERAÇÃO		
	EQUIPAMENTO	Data de realização	Designação	Desafogo		CUSTO TOTAL	Tractoria	Custo total/operacão	horas	Custo variável	Custo Fixo		Custo TOTAL	Horas Totais	Designação	Quantidade	Consumos Intermedios	Custo total	Operação	Custo	
				Tractoria	Desafogo						Total	Almot.									
Tranp. de Calafio	Tr-45cv-Ridabok 3,5l	OUT	1	1,7	4,8	8,20	1,71	8,20	1,7	8,88	7,37	6,80	2305	1,7				Calafio	85,3		
Calagem	Tr-45cv-Distribuidor Centimigo 600 L	OUT	1	0,2	4,8	1,08	0,22	1,08	0,2	0,90	0,86	0,80	2,56	0,2		24,2	48,4	Calagem	62,4		
Gradagem	Tr-75cv+Grade Discos out-80 180-22"	OUT	2	3,0	4,8	14,34	6,00	28,69	12,0	13,22	10,01	6,80	3003	12,0				Gradagem	58,7		
Rodagem	Tr-75cv+Rodão	OUT	1	3,0	4,8	14,34	3,00	14,34	6,0	13,22	10,01	6,80	3003	6,0				Rodagem	44,4		
Transporte de Adubo	Tr-45cv-Robok 3,5l (buscador)	OUT	1	1,0	4,8	4,78	1,00	4,78	1,0	2,34	1,95	1,79	6,08	1,0				Adubação	10,9		
Adubação de Cobertura	Tr-75cv-Distribuidor Centimigo 600 L	OUT	1	2,0	4,8	9,56	2,00	9,56	2,0	7,33	6,16	4,42	17,91	2,0		0,14	28,4	Adubação	27,5		
Sementeira	Tr-75cv-sementeador Monopropulso Pneumatico	OUT	1	3,3	4,8	15,78	3,30	15,78	3,3	8,08	10,45	7,75	26,29	3,3				Sementeira	149,9		
Adubação de Cobertura	Tr-75cv+Distribuidor Centimigo 600 L	OUT																Adubação	12,0		
Adubação de Cobertura	Tr-75cv+Distribuidor Centimigo 600 L	OUT																Adubação	8,1		
TOTAL				14,2		68,08	17,24	82,42	20,2	5,40	46,8	35,2	135,9	20,2			20,48		457,1		

FRUTILIZAÇÃO CORREÇÃO	unidade/ha
N	
P	
K	
Estimativa (kg)	
Calafio (kg)	
UTA (unidades/mês/ano)	0,037

RESULTADOS ECONÓMICOS DA ACTIVIDADE			
MÃO DE OBRA	MAQUINAS (CUSTO FIXO)	CONSUMOS INTERMEDIOS + CUSTOS VARIÁVEIS MAQUINAS	
	Total	Amortizações	
82,42	46,81	35,16	258,72
1	2	3	4+5

JUROS DO CAPITAL CIRCULANTE	GASTOS GERAIS (ANUALIZADO)	RENDIMENTO SEM AJUDAS
1,94	10,24	-396,20
[(4+5) x x/12 de meses/2] x por 2 ha/0,12	(8, 5%)	Valor da produção - Custo total
		Produção principal unidades x preço + Produto secundário unidades x preço
		Produção principal unidades x preço + Produto secundário unidades x preço

CELULOSE
MADREVEZ/PPAA

REGIÃO	ACTIVIDADE
QE	PASTAGEM SEMEADA DE SEQUEIRO
	Pastoreio, Sequeiro (manutenção; duração: 10 anos)

PRODUTÃO	UF/ha	emokg
Produto Principal	979	
Produto Secundário	0	0

Ano	Área (m ²)	Distância Assento Lavouira (m)	N.º Meses de Actividade	Tx. Juro Capital Circulante
2003		2 000	12	1,5%

OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	Data de realização	CALENDÁRIO DE OPERAÇÕES			MÃO DE OBRA			MÁQUINAS			CONSUMOS INTERMEDIOS				CUSTOS POR OPERAÇÃO		
			Deslocação			Trabalhista			AUTOMÓTRIZES + ALFALAS			Deslocação	Quantidade	Consumos Intermedios	Custo total	Operação	Custo	
			Deslocação	Trabalhista	Custo total/operação	horas	Custo/ha	Custo total/ano	horas	Custo variável	Custo fixo							Horas Totais
Transp. de Cakafino	Tt-45cv-Reboque 3,5t (basculante)	OUT	0,33	1,7	4,8	8,20	0,57	1,7	8,88	7,37	6,80	0,6	2,305			Calagem	77,1	
Calagem	Tt45cv+Distribuidor Geringido 400 L	OUT	0,33	0,2	4,8	1,08	0,07	0,2	0,90	0,86	0,80	0,1	2,56			Calagem	10,6	
Transporte de Adubo	Tt-45cv-Reboque 3,5t (basculante)	OUT	0,33	1,0	4,8	4,78	0,33	1,0	2,34	1,95	1,79	0,3	6,08			Adubação	7,7	
Adubação de Cobertura	Tt75cv+Distribuidor Geringido 600 L	OUT	0,22	2,0	4,8	9,56	0,44	2,0	7,33	6,16	4,42	0,4	17,91			Adubação	20,0	
Adubação de Cobertura	Tt75cv+Distribuidor Geringido 600 L	OUT															Adubação	8,1
TOTAL				4,9		23,62	1,42	6,81	4,9	19,5	16,3	13,8		49,6				84,9

RESULTADOS ECONÓMICOS DA ACTIVIDADE				
MÃO DE OBRA	MÁQUINAS (CUSTO FIXO)		CONSUMOS INTERMEDIOS + CUSTOS VARIÁVEIS MÁQUINAS	
	Amortizações			
6,81	16,34	13,81	104,37	
1	2	3	4+5	

FERTILIZAÇÃO e CORRECÇÃO	unidades/ha
N	
P	
K	
Estirco (kg)	
Calafino (kg)	
UTA (unidades trabalho ano)	0,003

JUROS DO CAPITAL CIRCULANTE	GASTOS GERAIS	CUSTO DE INSTALAÇÃO ANUALIZADO	RENDIMENTO SEM AJUDAS
0,78	4,25		
$\frac{(4+5)}{3} \times \text{TP de TRRWS} \times \text{URR} \times \text{JURO} / 12$	$(5 \times 5\%)$		
		13,78	-131,78
			Valor da produção - Custo total