

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Enquanto que o efeito de estufa natural é causado principalmente pelo vapor de água existente na atmosfera, o dióxido de carbono, o metano, os óxidos de azoto e outros são os principais responsáveis pelo efeito de estufa de origem antropogénica. Nas últimas décadas, a preocupação com a redução das emissões destes tipos de gases tem estado na base da adopção de políticas que têm em vista as alterações climáticas e o aquecimento global.

O uso dos biocombustíveis líquidos no sector rodoviário além de contribuir para a redução das emissões promove também a diversificação das fontes energéticas, assim como a conservação dos recursos fósseis. A expectativa do aumento na sua procura pela via da necessidade de combustíveis alternativos aos derivados do petróleo pode criar um novo mercado para as matérias-primas agrícolas, ao mesmo tempo que os decisores da política agrícola começam a encarar a expansão da indústria do etanol como uma forma de aumentar as receitas das explorações agrícolas, contribuindo para a revitalização das zonas rurais.

O espaço rural pode ter um papel fundamental na redução das emissões líquidas de gases de efeito de estufa, ou seja, os sistemas agrícolas e a sua envolvente têm um potencial substancial para compensar as emissões, servindo como um sumidouro, aumentando a absorção, particularmente do dióxido de carbono, por via de mudanças nas práticas culturais e pelo aumento da produção de biomassa que pode servir como matéria-prima para substituição dos combustíveis fósseis.

Além do papel que pode ter na compensação de emissões, traduzindo-se num benefício social líquido, o desenvolvimento da fileira do bioetanol pode promover um estímulo económico importante para a agricultura regional e nacional, uma vez que o etanol é obtido a partir de culturas com condições agronómicas comprovadas, como o milho, o trigo e a beterraba sacarina. Por outro lado, o incremento na produção da matéria-prima fomenta o emprego e o desenvolvimento nas áreas rurais, com reflexos positivos na sustentabilidade social destas regiões periféricas de baixa actividade económica.

A bibliografia especializada refere principalmente a Análise do Ciclo de Vida como a metodologia mais utilizada no estudo do balanço energético e das emissões associadas à produção dos biocombustíveis. Na sua maioria, as análises concluem pela neutralidade dos biocombustíveis em termos de emissões de dióxido de carbono e balanço energético positivo face à energia primária utilizada na sua produção. Os estudos mais recentes têm mesmo registado uma melhoria nesses parâmetros, no entanto é necessário algum cuidado na extrapolação dos resultados obtidos num determinado local para outras regiões com um contexto agrícola, económico e político completamente diferente. Daí sentir-se a necessidade de uma metodologia transparente e credível a nível europeu, que seja possível aplicar a uma determinada estrutura produtiva de um biocombustível específico por forma a conseguir-se uma maior certeza e segurança na estimativa dos gases de efeito de estufa.

Neste contexto, este estudo tem como objectivos centrais determinar o potencial de mitigação dos gases de efeito de estufa através do cultivo do milho, trigo e beterraba sacarina para bioetanol e quantificar o crédito correspondente à redução das emissões de carbono para cada uma das cadeias produtivas de etanol, nos cenários produtivos estudados que Alqueva pode oferecer.

A estrutura do trabalho, para além da introdução, desenvolve-se do modo que a seguir se descreve. No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica para uma melhor contextualização da problemática global das emissões dos gases de efeito de estufa e do papel que a produção e utilização dos biocombustíveis líquidos como substitutos dos combustíveis de origem fóssil podem ter na sua compensação.

O capítulo 3 integra conceitos de base e aspectos metodológicos relacionados com a Análise do Ciclo de Vida conjugados com o método de cálculo das emissões proposto recentemente pela Comissão Europeia, assim como alguns indicadores de eficiência energética.

No capítulo 4 faz-se uma avaliação comparativa do ciclo de vida do etanol proveniente de três cadeias produtivas tendo como origem da matéria-prima o milho, trigo e beterraba sacarina. Esta avaliação recorre ao balanço energético assumindo como fronteiras do sistema, o cultivo, o processamento da matéria-prima, a extracção do etanol, o uso final do biocombustível e a valorização energética dos subprodutos.

Finalmente, no capítulo 5 é feita a análise e apresentadas as respectivas conclusões em relação aos indicadores trabalhados e valores obtidos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Os gases de efeito de estufa e as alterações climáticas

O quarto relatório do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) veio uma vez mais salientar a evidência do aquecimento do sistema climático, por via das observações do aumento da temperatura média global do ar e dos oceanos, da fusão generalizada do gelo, assim como do aumento do nível médio das águas do mar. As mudanças na concentração atmosférica dos Gases de Efeito de Estufa¹ (GEE), dos aerossóis, das alterações na cobertura do solo e a alteração da radiação solar, são apontadas como as causas principais da alteração do balanço energético do sistema climático.

As emissões globais de GEE devido às actividades humanas, têm crescido desde a época pré-industrial, tendo-se mesmo observado um aumento de 70% entre 1970 e 2004.

¹ São um conjunto de gases identificados pelo IPCC (2006) que possuem um potencial de aquecimento global. Entre outros, estão identificados os principais: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de azoto (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

De entre os GEE com origem antropogénica, o CO₂ é o mais importante, tendo as suas emissões anuais crescido em cerca de 80% no período de 1970 a 2004 (IPCC, 2006).

Apesar das políticas de mitigação correntes e das práticas de desenvolvimento sustentável, há um consenso geral de que as emissões globais de GEE continuarão a crescer ao longo das próximas décadas. Diversos estudos apontam um substancial potencial económico para a mitigação das emissões de GEE nas próximas décadas, que poderão compensar o crescimento previsto das emissões globais ou mesmo reduzi-las aos níveis actuais².

Um vasto leque de políticas e instrumentos estão disponíveis, como adiante se verá, para que os governos criem os incentivos para as acções de mitigação, dependendo a sua aplicabilidade das circunstâncias nacionais, do contexto sectorial e do comportamento da envolvente internacional.

Em consequência do atrás exposto, o referido relatório aponta ainda os seguintes impactes regionais para a Europa, ao longo do presente século:

- expectativa de que as mudanças climáticas ampliem as diferenças regionais em termos de bens e recursos naturais e coloquem em questão os padrões de produção e consumo vigentes;
- as áreas montanhosas sofrerão uma retracção glacial, uma redução na cobertura com neve e do turismo de Inverno, assim como extensas perdas de espécies;
- para a Europa do Sul, as mudanças climáticas serão piores numa região já vulnerável à variabilidade climática, reduzindo-se a disponibilidade de água, a produtividade das culturas, assim como o turismo de Verão;

² Em termos mundiais, o potencial dos benefícios da estabilização ou redução das emissões de carbono é significativo. O IPCC estima que uma duplicação do volume de CO₂ na atmosfera provocará custos anuais de 2% a 9% do PIB para os países em desenvolvimento e de 1% a 1,5% do PIB para os países desenvolvidos, omitindo custos dificilmente mensuráveis como a extinção das espécies ou destruição de *habitats*.

- prevê-se ainda que as alterações climáticas aumentem os riscos de saúde devido a ondas de calor e à frequência de incêndios.

2.2. O protocolo de Kyoto

A constatação do aumento da concentração de GEE na atmosfera, bem como a sua correlação com as alterações climáticas, conduziu ao crescente envolvimento do sector privado, das organizações não-governamentais e da comunidade académica e científica na tentativa de solucionar o problema.

A preocupação com o aquecimento global e as suas implicações no meio ambiente, levou os países da Organização das Nações Unidas (ONU) a elaborarem e assinarem um acordo, que estipulasse um controlo efectivo sobre as intervenções humanas no clima.

Assim, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima realizada em 1997, foi elaborado o denominado “Protocolo de Kyoto” em que as partes convieram no compromisso quantificado de limitação e redução de emissões, a fim de promover o desenvolvimento sustentável.

O art.º 2º do Protocolo sugere as seguintes políticas e medidas que os países desenvolvidos podem adoptar tendo em vista cumprir os seus compromissos de reduzir as emissões:

- estimular a eficiência energética;
- promover acções de Investigação e Desenvolvimento (I&D) de tecnologias ambientais e configurar novas e renováveis fontes de energia;
- proteger e promover melhorias de sumidouros e reservatórios de GEE;
- promover a reflorestação;
- estimular modelos sustentáveis de agricultura;

- reduzir as imperfeições de mercado (subsídios directos e indirectos à produção e isenções fiscais em sectores emissores de GEE);
- utilização de instrumentos de mercado como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Por outro lado, o art.º 3º do Protocolo de Kyoto refere que as partes³ devem individual ou conjuntamente assegurar que as suas emissões antrópicas agregadas de GEE, expressas em dióxido de carbono equivalente⁴ (CO_{2eq}), não excedam as quantidades atribuídas. Estas quantidades foram calculadas de modo a reduzir as suas emissões totais desses gases em pelo menos 5% dos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012.

O MDL deverá fomentar a transferência de tecnologia do Norte para o Sul, tendo em vista estimular uma parceria técnico-científica entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento, bem como o desenvolvimento sustentável destes últimos, ao mesmo tempo que promove o controlo ou redução das emissões através do seguinte mecanismo: projectos que resultem em reduções certificadas de emissões seriam financiados pelos países desenvolvidos, com os créditos dessas reduções sendo revertidos para os países financiadores. Em contrapartida, os países em desenvolvimento teriam a sua inserção no emergente mercado de créditos de redução de emissões de GEE.

O Protocolo de Kyoto para além de reflectir um acordo político em termos de política internacional de controlo das emissões de GEE, elege como instrumento de política ambiental os mercados internacionais, no pressuposto de que as políticas devem ser custo-efectivas para os países signatários.

Por outro lado, o Protocolo possibilita a adopção de mecanismos de flexibilidade, baseados na cooperação internacional e no conceito de mercados ambientais, que

³ Países referidos nos anexos I e II.

⁴ As emissões de CO_{2eq} é o somatório das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, utilizando os factores de ponderação propostos pelo IPCC que são de 1, 23 e 296, respectivamente.

constituem o âmago da proposta para mitigar os problemas do aquecimento global. Os três mecanismos básicos propostos são os seguintes:

- Implementação Conjunta (*Joint Implementation*): possibilidade de países do Anexo I receberem unidades de emissão reduzidas quando ajudarem a desenvolver projectos noutros países do Anexo I que conduzam a redução de GEE, nos quais ambos possam beneficiar com tais reduções.

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (*Clean Development Mechanism*): consiste no financiamento por países desenvolvidos de projectos e políticas que visem o controlo de emissões de GEE em países em desenvolvimento, tendo como contrapartida receber créditos de carbono negociáveis.

- Comércio de Emissões de GEE (*Emission Trading*): moldura principal do sistema de reduções baseado na eficiência dos mercados como elemento de políticas ambientais. Este mecanismo permite aos países do Anexo I negociarem entre si as quotas de emissão acordadas no Protocolo em mercados de licença negociáveis para poluir (*Tradable Permits*).

De um modo geral, a articulação destes mecanismos tem dois objectivos básicos:

- diminuir o custo global de redução das emissões de GEE;
- promover iniciativas com incidência no desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento, pela via do fluxo de investimento e transferência de tecnologias limpas.

No entanto, passados alguns anos após a implementação do Protocolo de Kyoto, verifica-se que muitos dos países signatários, não vão conseguir cumprir o compromisso estabelecido no que respeita às metas para redução de GEE, mesmo aqueles que ratificaram o acordo.

Esta situação levou a uma consciência geral de que mais e melhor terá que ser feito, principalmente a necessidade de compromisso de países como os Estados Unidos da América, China, Austrália e Índia.

Nesse sentido, no passado mês de Dezembro de 2007 teve lugar a Conferência de Bali, na Indonésia, onde as partes do Protocolo de Kyoto adoptaram o denominado “*Bali Roadmap*”, que consiste num itinerário para novas negociações, com conclusão prevista para 2009, que levará a um novo acordo internacional pós 2012, acerca das alterações climáticas.

2.3. A política da União Europeia face aos biocombustíveis

O aumento exponencial dos consumos de energia, desde a electricidade aos transportes, a realidade das alterações climáticas e a dependência de combustíveis fósseis, com o preço do petróleo a atingir novos máximos sistematicamente, começou a atormentar os governos dos países industrializados. Logo, a substituição dos derivados do petróleo, pelo menos parcialmente, por biocombustíveis líquidos, biodiesel no gasóleo e bioetanol⁵, ETBE⁶ e MTBE⁷ na gasolina, parece ser uma opção inadiável. Isto porque, além do constante aumento preço do crude no mercado internacional, cada vez mais se valoriza socialmente a redução das emissões de dióxido de carbono.

Nos últimos anos, a Comissão Europeia (CE) propôs legislação com vista à utilização de combustíveis alternativos no sector dos transportes, começando pela regulamentação e promoção fiscal dos biocombustíveis líquidos. Foi estabelecido um valor percentual

⁵ Etanol obtido a partir de plantas sacarinas e amiláceas.

⁶ Éter etil-tercio-butílico: combustível derivado de uma mistura de etanol e isobuteno.

⁷ Éter metil-tercio-butílico: combustível derivado de uma mistura de metanol e isobuteno.

mínimo de incorporação de biocombustível nos combustíveis comercializados na União Europeia (UE), bem como medidas de isenção ou redução da taxa de imposto sobre os biocombustíveis⁸.

No âmbito da recente reforma da Política Agrícola Comum (PAC), constante no Regulamento (CE) nº 1782/2003 do Conselho, de 29 de Setembro de 2003, que institui determinados Regimes de Apoio aos Agricultores, foi instaurada uma ajuda específica às culturas energéticas, no montante de 45,00€ por hectare semeado com culturas energéticas.

A Directiva comunitária 2003/30/CE, de 8 de Maio, promove a utilização de biocombustíveis no período 2010 a 2020 a taxas crescentes, compreendidas entre 5,75% e 20%. Esta directiva aponta assim, para a perspectiva de futuro energético “ambientalmente correcto”, onde interagem as políticas económicas e ambientais, cruzadas com o esforço em I&D tecnológico.

A cada país membro foi estabelecida a redução de forma faseada, de um valor percentual mínimo de substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Até 2005 foi garantida a substituição de 2%, aumentando este valor anualmente de 0,75%, até atingir uma substituição de 5% em 2009.

2.4. Contexto actual dos biocombustíveis em Portugal

Portugal, tal como os outros países da UE, terá que dar uma resposta às exigências decorrentes da aplicação do Protocolo de Kyoto, o que passa necessariamente pela adopção de fontes de energia renováveis. Para além do desenvolvimento de projectos no âmbito das

⁸ As medidas de isenção ou redução da taxa de imposto sobre os biocombustíveis visa tornar estes mais competitivos, contrabalançando os ainda elevados custos envolvidos na sua produção, quando comparados com os equivalentes combustíveis de origem fóssil.

energias eólica, hídrica, solar, das ondas e marés, terá que ser encarada com outros olhos, a produção de biomassa e biocombustíveis líquidos a partir de culturas energéticas dedicadas.

Para além da grande dependência energética exterior do nosso país, a necessidade urgente de caminhar neste sentido, tem também justificação no seguinte contexto:

- redução nas emissões de gases de estufa, resultantes da ratificação por parte de Portugal, do Protocolo de Kyoto;
- substituição dos combustíveis fósseis, por combustíveis renováveis;
- redução do efeito do aquecimento global nas alterações climáticas, por meio do sequestro do carbono;
- conservação da biodiversidade;
- utilização dos recursos não-renováveis a uma taxa que não comprometa o seu uso para satisfação das necessidades das gerações futuras.

A nível nacional, há aspectos legais e técnicos de enquadramento da temática dos biocombustíveis a ter em conta, salientando-se como principais aspectos técnicos de grande importância:

- a produção de matéria-prima nacional para satisfazer a procura futura de biocombustíveis líquidos por forma a evitar importações;
- a possibilidade de contribuir para o aumento da autonomia energética do país;
- o contributo para diminuir os riscos de abandono da produção agrícola nacional, face à reforma da PAC em curso;
- a disponibilidade de grandes áreas de cultivo em virtude do regadio proporcionado por Alqueva, que poderá levar à fixação de unidades transformadoras, com reflexo no desenvolvimento sócio-económico da região do Alentejo.

Por outro lado, na necessidade de regulamentar a produção e comercialização dos biocombustíveis, o Estado produziu alguma legislação, salientando-se os seguintes documentos:

- O Decreto-Lei nº 62/2006, de 21 de Março, transpôs para a ordem jurídica nacional a Directiva 2003/30/CE. Simultaneamente, promoveu e criou condições para a entrada dos biocombustíveis no mercado energético, assim como de outros combustíveis renováveis, em substituição dos combustíveis fósseis.

- O Decreto-Lei nº 66/2006 de 22 de Março, que ao alterar o Código dos Impostos Especiais de Consumo, isentou os biocombustíveis, total ou parcialmente, do Imposto sobre Produtos Petrolíferos e Energéticos (ISP). Este diploma estabeleceu limites entre 280 €/1000 litros e 300 €/1000 litros para os valores de isenção de ISP, mas limitando a 6 anos a concessão desta isenção. Foram também fixadas as quantidades passíveis de isenção em 5,75% para o triénio 2008-2010, que correspondem à percentagem anual de gasolina e gasóleo introduzidos no ano precedente.

- A Portaria nº 1391-A/2006, de 12 de Dezembro, estabeleceu a quantidade máxima de biocombustíveis passíveis de isenção de ISP e também os critérios de concessão da isenção, que se suportam em dois princípios extremamente importantes:

(a) a necessidade de privilegiar a matéria-prima de origem nacional e

(b) a incorporação de valor acrescentado na fileira dos biocombustíveis no nosso país.

- Finalmente, a Portaria nº 3-A/2007, de 2 de Janeiro, veio fixar o valor da isenção do ISP em 280€/1000 litros até 31 de Dezembro de 2007, mantendo a isenção aos pequenos produtores até 31 de Dezembro de 2010.

2.5. O balanço energético e os gases de efeito de estufa

Quando ocorre a combustão da biomassa, o carbono orgânico é reciclado num processo global complexo conhecido por ciclo do carbono. Neste processo, o CO₂ que foi absorvido durante o crescimento das plantas, é simplesmente devolvido à atmosfera. Se o ciclo de cultivo e colheita for mantido, não há emissões líquidas de CO₂ directamente imputáveis à queima do biocombustível, sendo devido a este processo que a biomassa é vista como uma fonte de energia que não emite CO₂ na atmosfera. No entanto, apesar da neutralidade da combustão há emissões de CO₂ que têm lugar ao longo do processo de produção dos biocombustíveis. Por exemplo, o CO₂ é libertado na produção dos diversos fertilizantes, principalmente nos azotados, dos fitofármacos, do *diesel* usado na maquinaria agrícola e no processo de conversão da biomassa em biocombustível (European Commission, 2005).

O Anexo I fornece uma panorâmica do enquadramento dos biocombustíveis no contexto do ciclo global do carbono.

De uma maneira geral, os diversos estudos sobre esta temática, sugerem um balanço positivo para os biocombustíveis obtidos a partir da biomassa cultivada, no que respeita tanto ao balanço energético como para o balanço dos GEE, quando se efectua a comparação com os combustíveis fósseis equivalentes.

Quirin et al., (2004) compararam o bioetanol e o seu derivado ETBE, proveniente de diferentes matérias-primas, no que respeita à poupança de energia primária, assim como à correlacionada redução das emissões de GEE (Figura 1). Os referidos autores concluíram que:

- o ETBE apresenta vantagens quando comparado com o bioetanol das matérias-primas analisadas;
- entre os ETBE, o de beterraba sacarina mostra o melhor desempenho;

- relativamente aos etanóis, o de cana-de-açúcar permite maiores poupanças de energia primária e de emissões;
- o balanço energético e dos GEE para os biocombustíveis obtidos da biomassa cultivada é favorável quando comparados com os seus combustíveis fósseis equivalentes.

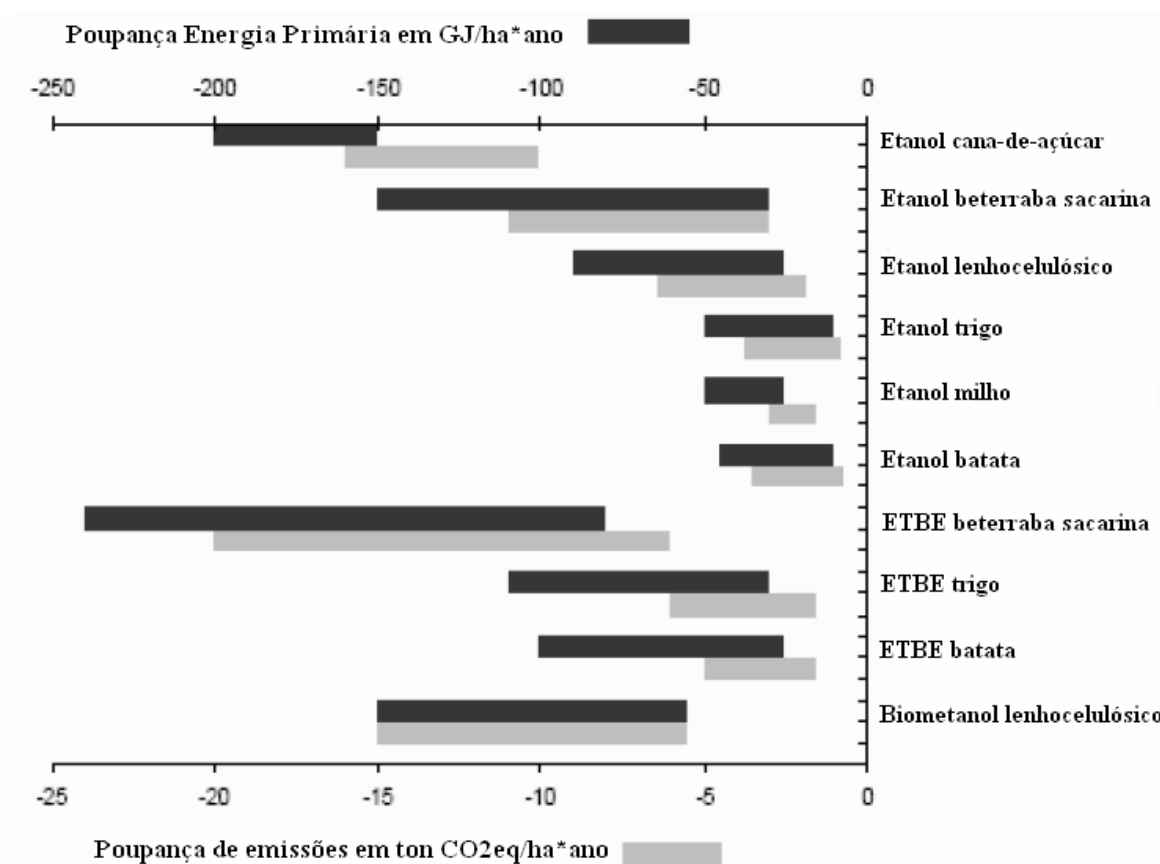


Figura 1 – Balanço energético e das emissões dos biocombustíveis obtidos de biomassa cultivada, comparados com os seus equivalentes fósseis.
 Fonte: Adaptado de Quirin et al., 2004.

2.6. Que papel pode a agricultura desempenhar na mitigação dos GEE

Entre o desmantelamento do proteccionismo da PAC e a liberalização mundial do comércio (globalização) induzida pela Organização Mundial do Comércio (OMC), assiste-se a uma crescente volatilidade no preço de muitos produtos agrícolas alimentares, o que obriga a repensar as opções produtivas, tecnológicas, estruturais e organizativas do sector agrícola.

Espera-se que novas oportunidades de mercado possam ser encontradas para os produtos agrícolas em ordem a melhorar o seu preço ao produtor, ajudando a que o sector agrícola se mantenha rentável, bem como a uma nova valorização do espaço rural. Nesta óptica, Zuoming (2006) sugere que a produção de bioenergia pode criar uma nova procura substancial para os produtos agrícolas e pode ter um papel preponderante no crescimento económico sustentado das áreas rurais.

Há alguns anos, já McCarl et al., (1999) referiam o importante papel que o sector agrícola e florestal pode ter nos esforços de mitigação dos GEE (Figura 2), dos quais se salientam:

- redução das suas próprias emissões;
- absorção das emissões de GEE criando ou aumentando os sumidouros de carbono;
- produção de produtos substitutos daqueles que têm uma intensa emissão de GEE reduzindo assim as emissões.

A substituição dos combustíveis fósseis envolve a utilização de produtos agrícolas como matéria-prima para energia eléctrica ou *inputs* para produção de combustíveis líquidos. Queimar biomassa em vez de combustível fóssil, reduzirá a concentração líquida de CO₂ na atmosfera devido ao processo fotossintético envolvido no seu crescimento, que remove

cerca de 95% do CO₂ emitido quando ela é queimada, efectuando-se assim, uma reciclagem das emissões (McCarl et al., 1999).

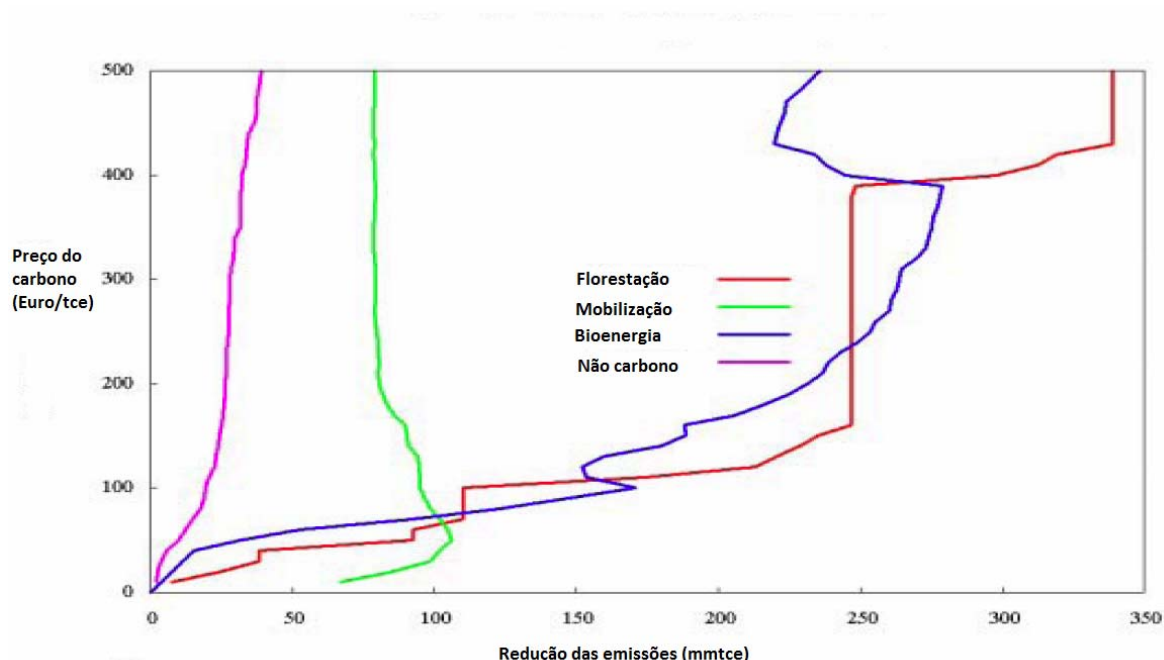


Figura 2 – Curva de oferta da mitigação potencial de GEE pelo sector agro-florestal (UE25).
Fonte: Adaptado de European Commission, (2006).

A biomassa pode assim contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e compensar os combustíveis fósseis em energia térmica e geração de potência e criando matéria-prima para a produção de combustíveis líquidos.

Adicionalmente há um potencial complementar para o sequestro do carbono no solo (usando práticas agronómicas e silvícolas para promover a acumulação no solo) e na captura e sequestro do carbono durante a produção da biomassa (Overend et al., 2007).

Mas, a expansão dos biocombustíveis poderá trazer uma variedade de implicações, tais como o aumento dos preços dos alimentos e o seu impacto no nível de vida dos mais

pobres, a expansão do território rural cultivado intensivamente e o respectivo impacte nos *habitats* naturais, que importa minimizar.

Na realidade, os biocombustíveis consomem uma quantidade significativa de energia derivada dos combustíveis fósseis. Os *inputs* utilizados na sua produção incluem as mobilizações, fertilizantes, fitofármacos, irrigação, maquinaria de colheita e transporte, e electricidade no processamento, todos eles incorporando energia fóssil, conduzindo a uma libertação de carbono para a atmosfera ao longo do tempo em que o biocombustível é finalmente consumido (Rajagopal et al., 2007).

Note-se, contudo, que o benefício social líquido das políticas económicas e ambientais envolve diversos agentes económicos (produtores, consumidores e contribuintes, que suportam, em regra, o custo orçamental da política), sendo que, embora os *policy-makers* possam desejar determinadas políticas de determinadas práticas de compensação dos GEE para ser utilizadas no sector agro-florestal, é no entanto, o agricultor ou o silvicultor que, em última análise, controla a prática empregada, tendo em vista maximizar o seu bem-estar.

Segundo McCarl et al., (2005) o bem-estar é um bem complexo que envolve muitas dimensões, tais como:

- rentabilidade prática;
- risco e incerteza;
- disponibilidade temporal dos recursos exigidos para adoptar a prática;
- quantidade de treino e/ou formação exigida para empregar a prática;
- disponibilidade para adoptar o grau de gestão exigido para empregar a prática;
- consistência da prática (complemento) com o equipamento existente;
- disponibilidade e capacidade para investir em novo equipamento necessário para implementar a prática;
- desejo de administração do ambiente conjugado com os atributos ambientais das práticas;

- necessidade de levar a cabo em conformidade com os regulamentos impostos.

O mesmo autor refere ainda que são necessários regulamentos e incentivos para convencer os agricultores a adoptar estas práticas.

Os incentivos apontados podem ser uma mistura de instrumentos directos (tais como pagamentos relacionados com o carbono) e indirectos (tais como um seguro de insuficiência de sequestro, subsídios ao investimento, programas de formação, etc.). Todos estes factores afectam a magnitude dos incentivos financeiros necessários para estimular a adopção.

Ball et al., (2002) estimaram que o carbono pode aumentar a receita líquida das explorações agrícolas dos Estados Unidos em 10%, embora as estimativas baseadas na tonelada de carbono variem consideravelmente, as evidências apontam para um preço baixo. Este autor conclui que, enquanto a receita adicional para os agricultores em clima temperado seja bem vinda (especialmente no clima económico actual), está claro que não será provável que se tornem agricultores do carbono.

2.7. O benefício económico-ambiental

Segundo Paustian et al. (2001) a contribuição que os biocombustíveis podem ter para a mitigação dos GEE depende de três factores geográficos:

- local onde podem ser produzidos a preços competitivos com os produtos agrícolas tradicionais;

- onde a energia derivada das culturas seja custo-competitiva com as fontes energéticas fósseis;

- onde seja reconhecido e valorizado economicamente o contributo do agricultor e do espaço rural envolvente para a melhoria do bem-estar social, que o cultivo das culturas energéticas proporciona.

A teoria económica que fundamenta a atribuição da ajuda específica às culturas energéticas na UE⁹ assenta no reconhecimento que o uso agronómico e silvícola do capital fundiário (terra e florestas) pode contribuir para reduzir a emissão líquida de GEE ou aumentar o índice de sequestro de carbono, o que configura uma externalidade positiva na produção (economia externa). A Figura 3 esclarece os efeitos económicos e ambientais decorrentes da atribuição da ajuda específica.

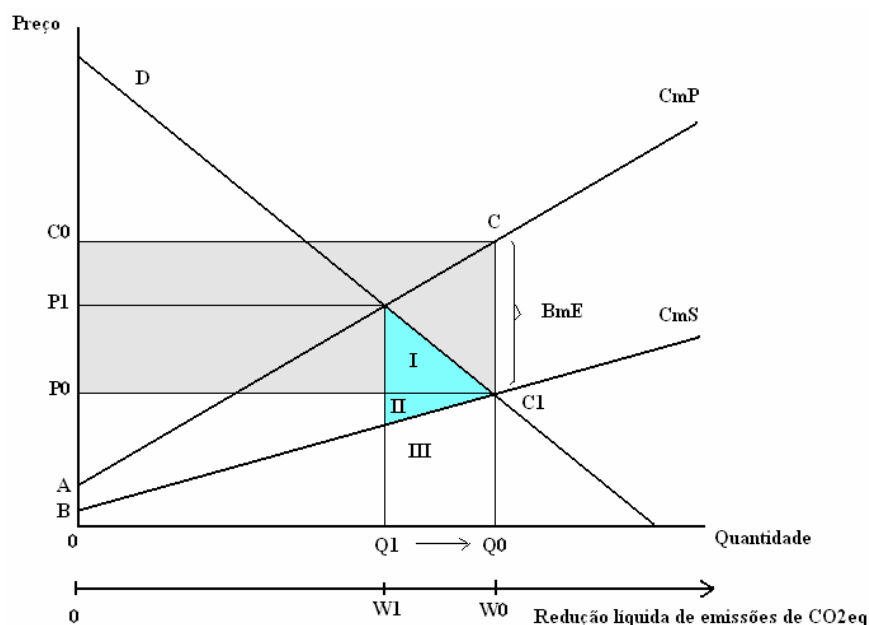


Figura 3 – As externalidades positivas na produção.

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

Num mercado livre e competitivo será produzido a quantidade Q₁ de matéria-prima destinada a biocombustível, sendo o preço unitário P₁ (intersecção da curva da procura D

⁹ Reg.(CE) n° 1782/2003, de 29 Setembro de 2003.

com a curva do custo marginal privado CmP). Considerando os benefícios externos (redução líquida de emissões de CO_{2eq}), o nível de produção socialmente eficiente será Q_0 , superior ao nível produtivo de mercado competitivo Q_1 (intersecção da curva D , representativa do benefício marginal social BmS , com a curva do custo marginal social CmS).

Note-se que, para qualquer nível produtivo de matéria-prima destinada a biocombustível, a diferença entre o CmP e o CmS , representa o benefício marginal externo BmE .

No nível de produção Q_0 os produtores recebem o preço P_0 , mas os seus custos marginais privados são C_0 . Deste modo, apenas se poderá equacionar o incremento na produção atribuindo aos produtores um subsídio unitário $(C_0 - P_0)$ igual ao BmE e um montante global da ajuda representada por $(C_0 - P_0) \times Q_0$. Nestes termos, os consumidores pagariam os custos marginais de produção C_0 menos o benefício externo $(C_0 - P_0)$, ou seja o preço P_0 . Por outro lado, os benefícios totais externos gerados pela actividade estão representados pela área $[ABC_1C]$, que por razões de coerência e equidade deveria ser igual ao montante global da ajuda.

No Quadro 1 representa-se uma Análise Custo-Benefício (ACB) para a alteração produtiva, obtendo-se como representativo do Benefício Social Líquido (BSL) o somatório das áreas I e II.

Quadro 1 – Análise Custo-Benefício resultante da alteração do nível de produção inicial (Q_1) para o socialmente eficiente (Q_0).

Nível de Produção	Ganhos	Perdas	Benefício Social Líquido
$Q_1 \rightarrow Q_0$	I + II + III	- III	I + II

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

Paustian et al., (2001) referem ainda que um cenário possível para ajudar na instalação das culturas energéticas, logo também na redução das emissões, seria por exemplo, acordos voluntários, pelos quais os emissores comprariam créditos de compensação a agricultores ou a organismos seus representantes.

Este mercado de créditos de compensação, teria que ter em conta também, até onde os consumidores estão dispostos a pagar por produtos neutros em termos de alterações climáticas. Por outro lado, aquele autor admite que poderão ser as políticas nacionais e/ou internacionais a adoptarem créditos oficiais para a mitigação do carbono, sendo que o sequestro do carbono não será, provavelmente, o principal determinante da prática agro-rural de uma região ou da receita do agricultor.

Actualmente, ainda não há grande exactidão no cálculo de factores de carbono genéricos, simples e credíveis para os GEE, ou um factor de carbono para a Análise do Ciclo de Vida (ACV) das emissões resultantes do uso dos biocombustíveis. Além disso, a assunção subjacente de que o uso de todas as formas de biomassa para energia, são estritamente neutras em carbono e GEE é discutível.

Este novo conhecimento tem profundas implicações para o desenvolvimento de um sector credível de biocombustíveis e para o cálculo do intervalo dos incentivos e taxas que os governos possam ou queiram conceder.

Por ora, a combinação de preços altos do petróleo, a directiva comunitária dos biocombustíveis, a recente legislação sobre impostos dos produtos petrolíferos, bem como a cada vez maior valorização da preservação da qualidade do ambiente e dos recursos, são forças poderosas para o incremento da produção e utilização dos biocombustíveis em Portugal. Estas forças políticas principais são justificadas na combinação com as necessidades de mitigação das mudanças climáticas e com factores de segurança energética. Sem uma base forte e largamente aceite para calcular o balanço energético dos GEE dos

biocombustíveis, tais políticas permanecerão pouco convincentes. Como consequência, tais políticas serão vulneráveis à mudança, por exemplo quando as metas não estão a ser atingidas, incrementando incerteza e riscos para os negócios (Woods et al., 2005).

Para Yoder et al., (2007) numa perspectiva da eficiência económica e no actual ambiente institucional, os mercados da energia parecem não ter em conta os custos totais de produção e uso dos combustíveis fósseis, devido aos efeitos no ambiente, contribuindo esta situação para imperfeições de mercado dos combustíveis baseados no carbono e que, sem envolvimento de regulamentação, nem os produtores, nem os consumidores pagam directamente os custos sociais dos efeitos ambientais na proporção do seu contributo.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Âmbito e objectivos

A possibilidade de novas e extensas áreas de regadio que o projecto de Alqueva vem proporcionar, abre cenários prospectivos favoráveis, surgindo novas oportunidades de desenvolvimento e de reorganização do espaço agro-rural.

O estudo tem uma incidência regional, assumindo uma área geográfica perfeitamente delimitada, que corresponde à área irrigável pelo Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA).

Alguns estudos entretanto realizados, e outros em curso, apontam para um importante papel que a região poderá ter na produção de biomassa para biocombustíveis de 1ª geração. Entre outros biocombustíveis líquidos, esta possibilidade traduz-se na afectação de uma área do perímetro de rega de Alqueva à produção de matéria-prima para a obtenção de bioetanol. No entanto, esta nova reorganização produtiva trará impactes económico-

ambientais em consequência do uso deste tipo de biocombustível, traduzidos principalmente pela possibilidade da mitigação dos GEE.

Como se refere mais adiante, a metodologia de base adoptada permite uma análise ao ciclo de vida completo do combustível, ou seja, o âmbito deste estudo vai desde o nascimento à utilização final do combustível no motor de combustão (*Cradle to Grave*, da terminologia anglo-saxónica) e posterior retorno ao meio ambiente.

3.2. Delineamento

Em primeiro lugar, faz-se uma breve caracterização do perímetro de rega de Alqueva, assim como o seu potencial futuro para a produção de culturas energéticas.

Em segundo lugar é feita uma análise simplificada do ciclo de vida de um conjunto de culturas com viabilidade técnica e cultural na região, baseado essencialmente nos *inputs* energéticos associados à sua produção.

Em terceiro lugar, procede-se a um balanço energético face à gasolina de origem fóssil e a respectiva determinação da compensação das emissões dos GEE.

Em quarto lugar, são calculados os valores da redução e o índice que reflecte o grau de poupança das emissões face à gasolina de origem fóssil.

Por último, determina-se o crédito ambiental e respectivo valor monetário da compensação dos GEE, obtido por via da substituição da gasolina pelo bioetanol proveniente da matéria-prima de Alqueva.

Em relação à potencialidade futura para este tipo de culturas, adoptaram-se os valores previsionais apontados pelo Estudo de Avaliação do Impacte Sócio-Económico da

Componente Hidroagrícola do Alqueva (AGROGES, 2004), encomendado pela Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas de Alqueva (EDIA).

Como situação futura, e num cenário mais provável, o referido estudo aponta uma área de 46850 hectares a afectar às culturas arvenses para produção de bioenergia em regadio.

Para concretizar a avaliação pretendida neste trabalho, procedeu-se ao estabelecimento de uma situação agrícola futura com quatro cenários alternativos de reconversão às culturas energéticas para obtenção de matéria-prima para produção de bioetanol, com viabilidade agronómica na região.

Os cenários propostos são os seguintes:

- Cenário 1: área total dedicada à produção de milho para bioetanol (*Mbio*).
- Cenário 2: área total dedicada à produção de trigo para bioetanol (*Tbio*).
- Cenário 3: área total dedicada à produção de beterraba sacarina para bioetanol (*Bbio*).
- Cenário 4: área total dedicada a um *mix* produtivo para bioetanol constituído por igual parte de trigo, milho e beterraba sacarina (*Mixbio*).

3.3. Materiais

A informação técnica e científica, bem como a obtenção dos dados necessários, resultou de uma intensa pesquisa, por forma a dar resposta aos problemas formulados. Esta pesquisa assentou essencialmente na consulta e análise de diversos trabalhos científicos publicados, com especial incidência no período 2000-2008, pela possibilidade de serem dados mais recentes ligados à produção dos biocombustíveis.

Para a consulta dos diversos documentos e os mais variados dados relacionados, recorreu-se a uma intensa busca na *internet*, tendo como base as seguintes fontes:

- organismos especializados na temática dos biocombustíveis;
- organizações internacionais que publicam dados estatísticos, tais como: Nações Unidas; Eurostat; Agência Internacional de Energia; Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE); Banco Mundial e outros;
- bibliografia de referência;
- trabalhos técnicos e científicos oriundos de diversas universidades e institutos superiores;
- empresas ligadas à produção de *bioetanol*.

3.4. A Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é um método internacional *standard* (ISO 14040, ISO 14044) para avaliar as cargas ambientais e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida dos produtos, desde a extracção e/ou produção das matérias-primas, a manufacturação dos bens, o seu uso pelos consumidores finais ou para o fornecimento de um serviço, reciclagem, recuperação de energia e eliminação final (EPLCA, 2007).

Os combustíveis líquidos, como a gasolina e o bioetanol, provocam impactes ambientais ao longo dos seus ciclos de vida. A identificação e avaliação dos impactes potenciais associados a estes produtos constituem um passo fundamental na gestão ambiental dos processos e na busca de alternativas que sejam ecologicamente sustentáveis para o futuro.

No caso dos biocombustíveis, as ACV abarcam todo o cenário de produção-utilização do combustível, começando com o cultivo, seguido da colheita, transporte, processamento, distribuição e uso final.

A teoria essencial subjacente à ACV é o princípio de conservação da massa e afluxo de energia através de um sistema controlado, no qual os *inputs* são combinados para produzir um ou mais *outputs*.

Uma ACV não mede, de *per si*, o impacto ambiental resultante de uma actividade, mas mede os indicadores que podem ser usados para estimar os impactos finais (Rajagopal et al., 2007).

3.4.1. A Unidade Funcional

Segundo WEIDEMA et al. (2004), a unidade funcional descreve e quantifica as propriedades do produto, as quais devem estar presentes para a substituição em estudo ter lugar. No caso em estudo, os dois combustíveis em análise são comparados, na medida em que desempenham uma mesma função para a sociedade. Esta função consiste no fornecimento de combustível para o transporte rodoviário das populações. A definição de uma unidade funcional permite uma comparação equivalente do sistema alternativo de produto. A unidade funcional usada para quantificar a função referida, é o fluxo de energia transferida entre as várias fases que constituem a produção e utilização da gasolina fóssil e do bioetanol para utilização nos transportes.

3.4.2. Fluxo de Referência

Os fluxos de referência traduzem a unidade funcional abstracta num fluxo específico do produto para cada um dos combustíveis comparados, sendo então as alternativas do

produto comparadas numa base equivalente, reflectindo as consequências actuais da potencial substituição do produto (Weidema et al., 2004).

Na necessidade de analisar, comparativamente, aspectos ambientais da utilização da gasolina de origem fóssil e do bioetanol, Dutra et al., (2006) propõem a utilização, pela sua relevância ambiental, da categoria de impacte ambiental efeito de estufa, sendo as emissões de GEE apresentados na forma de gramas de dióxido de carbono equivalente por Mega Joule de energia (gCO₂eq/MJ).

3.5. O balanço energético

Para concretizar a análise energética do ciclo de vida do combustível há necessidade de estabelecer um inventário da energia, tendo como base a 1ª Lei da Termodinâmica, ou seja, baseado em balanços de massa e de energia.

Malça et al., (2003) referem que a determinação do inventário energético do ciclo de vida, além de permitir quantificar os diferentes tipos de energia utilizados nas diversas fases, torna também possível calcular globalmente parâmetros específicos de eficiência energética. Este facto toma particular importância para os biocombustíveis, na medida em que compreender as necessidades energéticas das diversas fases do ciclo de vida, para além de identificar as possibilidades de optimização, é fundamental para avaliar o carácter renovável do biocombustível.

Os mesmos autores classificam a energia disponibilizada pelos combustíveis em energia primária, secundária ou final. Sendo que a energia primária representa a energia total disponível no recurso energético quando extraído de reservas e antes de o recurso ser sujeito a qualquer processo de transformação. A energia secundária é o valor de energia

disponível após a transformação do recurso primário. Ao passo que a energia final representa o valor disponibilizado ao consumidor para utilização final.

De salientar que a energia final sofreu obrigatoriamente (2ª lei da Termodinâmica) processos de transformação a montante, onde as perdas de transformação e conversão não estão incluídas no seu valor.

Neste estudo utilizam-se dois indicadores de eficiência energética propostos por Malça et al., (2003): o Valor Líquido da Energia (VLE) e a Eficiência da Utilização da Energia Fóssil (*euef*).

A Eficiência da Utilização da Energia Fóssil é um indicador da quantidade de energia final disponibilizada pelo combustível por unidade de energia de origem fóssil consumida no ciclo de vida:

$$\eta (euef) = E_{out}/E_{fóssil\,in} \quad (1)$$

Em que:

$\eta (euef)$ = eficiência da utilização da energia fóssil.

E_{out} = energia disponibilizada pelo combustível por unidade de massa.

$E_{fóssil\,in}$ = somatório dos fluxos de energia fóssil (em rigor, não renováveis) necessários para produzir uma unidade de massa de combustível na sua forma final.

Um valor de Eficiência da Utilização da Energia Fóssil (MJ/MJ) inferior à unidade indica que o combustível é totalmente não renovável, sendo as entradas de energia associadas ao seu ciclo de vida superiores ao conteúdo energético disponibilizado. Eficiências de utilização da energia fóssil superiores à unidade traduzem-se na renovabilidade do biocombustível, sendo esta tanto maior quanto mais elevado for o valor deste indicador.

Alternativamente, e de modo a completar a análise com a perspectiva agrícola, a Eficiência da Utilização da Energia Fóssil pode ser apresentada por unidade de superfície cultivada (MJ/ha), representando assim a quantidade de energia final disponibilizada pelo combustível por unidade de superfície cultivada.

Aquele valor tem relevância na análise e comparação da produtividade agrícola de diferentes culturas dedicadas à produção de biomassa.

O parâmetro Valor Líquido de Energia representa uma forma alternativa de cálculo da eficiência da utilização da energia fóssil e define-se como a seguinte diferença:

$$VLE = E_{out} - E_{fóssil\ in} \quad (2)$$

Em que:

VLE = valor líquido de energia.
 E_{out} e $E_{fóssil\ in}$ com o significado atrás referido.

Valores positivos de VLE indicam que a energia fóssil utilizada é inferior à energia disponibilizada e que o carácter renovável do biocombustível está assegurado, sendo a renovabilidade do biocombustível tanto maior quanto mais elevado o valor de VLE¹⁰. Valores negativos indicam que, de facto, o biocombustível não é um substituto dos combustíveis fósseis, pelo menos numa mera perspectiva de balanço energético, pois verificando-se que parte significativa da energia fóssil utilizada tem por base recursos fósseis não petrolíferos (carvão, urânio, gás natural, e outros), seria possível argumentar positivamente em termos da redução da dependência externa e do aumento da segurança e diversificação do abastecimento energético.

¹⁰ Note-se que: $VLE > 0$ equivale a $euef > 1$;
 $VLE = 0$ equivale a $euef = 1$;
 $VLE < 0$ equivale a $euef < 1$.

3.6. Cálculo das emissões

Recentemente, a proposta de Directiva (COM (2008) 19 final, de 23 de Janeiro) da Comissão das Comunidades Europeias propôs a seguinte metodologia de cálculo das emissões de GEE provenientes da produção e utilização dos combustíveis e biocombustíveis para os transportes:

$$E = eec + el + ep + etd + eu - eccs - eccr - eee \quad (3)$$

Em que:

- E = emissões totais da utilização do combustível¹¹.
- eec = emissões provenientes da extracção ou cultivo de matérias-primas.
- el = emissões extrapoladas numa base anual provenientes das alterações de existências de carbono devidas a alterações da utilização dos solos.
- ep = emissões do processamento.
- etd = emissões do transporte e distribuição.
- eu = emissões do combustível na utilização.
- $eccs$ = poupança de emissões resultantes da captação e fixação do carbono.
- $eccr$ = poupança de emissões resultante da captação e substituição de carbono.
- eee = poupança de emissões resultante da co-geração.

Da expressão (3) deduz-se uma outra mais simplificada e de mais fácil utilização, ao considerar que:

- $el = 0$, uma vez que os solos a serem utilizados pelas culturas energéticas dedicadas já provêm de uma utilização arvensa, não havendo alteração na sua utilização, logo sem alterações significativas nas existências de carbono.

¹¹ Todas as emissões bem como as poupanças são expressas em gCO₂eq/MJ.

• $e_u - e_{ccs} - e_{ccr} = 0$, uma vez que na utilização final dos biocombustíveis se admite que ocorre a combustão total do carbono contido no biocombustível, carbono este que foi na sua totalidade absorvido da atmosfera, pela via do processo fotossintético no crescimento das plantas.

Desta forma obtém-se a seguinte expressão, que será utilizada para o cálculo das emissões:

$$E = e_{ec} + e_p + e_{td} - e_{ee} \quad (4)$$

3.7. Cálculo da mitigação (compensação) dos GEE

Seguindo a metodologia referida, para o cálculo da mitigação dos GEE podem ser utilizados os seguintes indicadores: Redução das Emissões (RE) e Poupança das Emissões (PE).

A compensação das emissões de CO_{2eq} que resultam da substituição da gasolina pelo bioetanol, para o mesmo equivalente energético, é obtida pela diferença:

$$RE = emd - emb \quad (5)$$

Em que:

RE = redução das emissões (g CO_{2eq}).

emd = emissões totais do combustível fóssil de referência (g CO_{2eq}).

emb = emissões totais do biocombustível (g CO_{2eq}).

O índice que reflecte a poupança das emissões de GEE dos biocombustíveis e outros biolíquidos é calculado pela seguinte fórmula:

$$PE = (emd - emb)/emd \quad (6)$$

Em que:

PE = poupança de emissões.

emb = emissões totais do biocombustível (gCO_{2eq}).

emd = emissões totais do combustível fóssil de referência (gCO_{2eq}).

Note-se que os limites inferior e superior deste indicador são:

PE = 0, se *RE* = 0 ou *emd* = *emb*

PE = 1, se *emb* = 0.

3.8. Cálculo do crédito correspondente à redução das emissões

Finalmente, o crédito correspondente à redução das emissões do CO_{2eq} é obtido multiplicando a redução das emissões (RE) proveniente da quantidade de gasolina que é substituída pelo bioetanol pelo correspondente preço de mercado (LISKA et al., 2007).

$$CCE = RE \times P \quad (7)$$

Em que:

CCE = crédito de compensação das emissões (€).

RE = redução das emissões (tCO_{2eq}).

P = preço de mercado (€/tCO_{2eq}).

Note-se que o crescimento deste indicador pode ser induzido pelo crescimento isolado ou conjugado dos seus parâmetros explicativos *RE* e *P*, ou seja, pela via da inovação tecnológica (tecnologias limpas) e/ou do mercado de carbono.

CAPÍTULO 4

O CONTRIBUTO DE ALQUEVA PARA A MITIGAÇÃO DOS GASES DE EFEITO DE ESTUFA

4.1. Caracterização da zona de estudo

A área de influência do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) abrange um total de 53 freguesias pertencentes a 12 concelhos da região do Alentejo, distribuídas pelo Alentejo Central (8 freguesias), Alentejo Litoral (2 freguesias) e Baixo Alentejo (43 freguesias).

O sistema global de rega de Alqueva irá beneficiar uma área com cerca de 115 mil hectares. Será constituído por 15 barragens de regularização, 314 km de canais a céu aberto, 9 estações elevatórias principais, 6 centrais micro-hídricas, 31 depósitos de regularização e 56 estações elevatórias secundárias, 2240 km de condutas enterradas, cerca de 10 mil hidrantes e cerca de 1000 km de estradas e redes de drenagem.

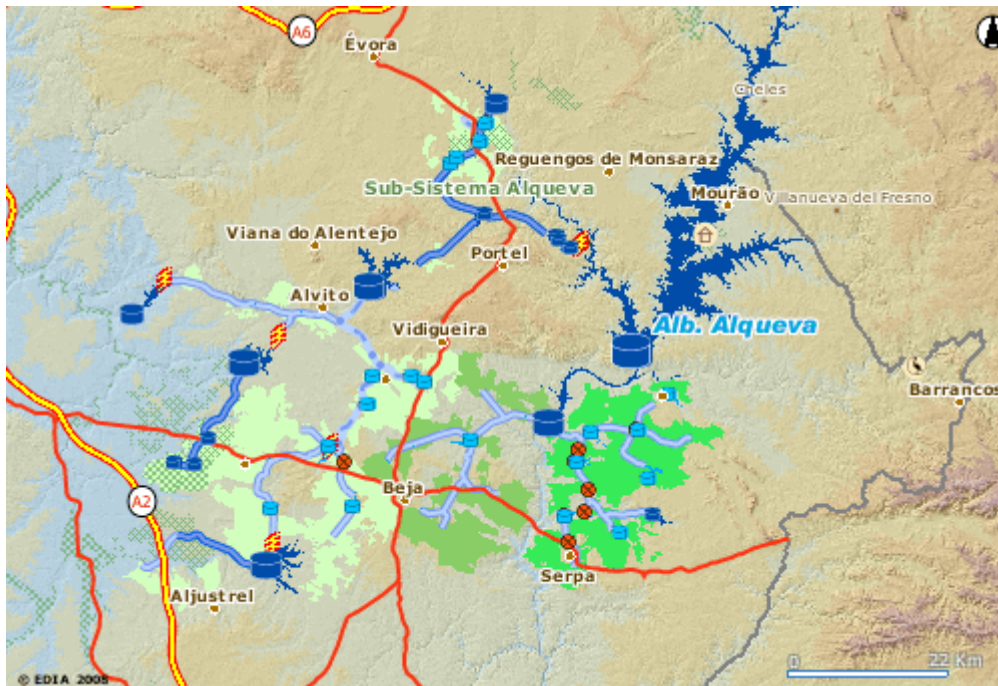


Figura 4 – Mapa do sistema global de rega de Alqueva.
 Fonte: EDIA, 2008.

O sistema global de rega de Alqueva divide-se em três subsistemas, de acordo com as diferentes origens de água:

- O subsistema de Alqueva, com origem de água na albufeira de Alqueva, beneficiando as áreas a Oeste de Beja e do centro Alentejo num total de 62595 ha.
- O subsistema de Pedrógão, com origem de água na albufeira de Pedrógão, beneficiando as áreas a Este de Beja até ao rio Guadiana num total de 21860 ha.
- O subsistema do Ardila, com origem de água, igualmente, na albufeira de Pedrógão, beneficiando as áreas da margem esquerda do Guadiana nos concelhos de Moura e Serpa num total de 30125 ha (EDIA, 2008).

4.2. Pressupostos

Para uma correcta uniformização e consistência no tratamento das variáveis em estudo, assim como uma adequada coerência entre as mesmas, considerou-se como ponto de partida os pressupostos que a seguir se descrevem:

- Considera-se a substituição da gasolina pelo etanol na sua forma pura (E100).
- A energia primária é considerada como proveniente na sua totalidade de recursos não renováveis.
- Foi assumida a utilização da gasolina como combustível fóssil equivalente.
- A procura da energia primária não renovável (balanço energético) e as emissões de GEE são apresentadas de acordo com a unidade energética do combustível (MJ).
- Para os combustíveis utilizados, assim como os resultantes do processo de produção, assumiu-se o respectivo Poder Calorífico Inferior¹² (PCI), expresso em MJ/kg.
- Na análise do ciclo de vida, considerou-se a procura energética completa na produção do biocombustível e as respectivas emissões de GEE.
- Foi contabilizada a importância relativa dos sub-produtos resultantes do processo de transformação em etanol, como sejam o *Dried Distillers Grains With Solubles*¹³ (DDGS) para os cereais e a polpa para a beterraba sacarina. Excluem-se os subprodutos que ficam no terreno agrícola (e.g. palha e outros resíduos).

¹² O PCI é a quantidade de energia transferida na forma de calor, pela combustão completa e ideal de uma unidade de massa do combustível com o ar, nas condições de temperatura e de pressão especificadas, onde toda a água formada pela reacção se encontra na fase gasosa. É recomendável a utilização deste valor, uma vez que é próxima a esta situação que os gases da combustão se encontram nos processos de combustão prática (SBRT, 2006).

¹³ O *Dried Distiller Grains* (DDG) é um importante subproduto da produção do etanol de cereais, sendo obtido pela secagem da massa resultante depois de todo o etanol útil ter sido extraído. O DDGS é uma versão solúvel do DDG que é produzido adicionando água, tornando-o de mais fácil consumo para o gado (EUBIA, 2007).

- Para expressar os fluxos energéticos envolvidos na fileira do bioetanol em termos de energia primária, foram utilizados coeficientes de conversão.
- Tomou-se o hectare como unidade de área de referência para a produção da biomassa como matéria-prima, sendo a ele referido o cálculo do balanço energético e dos GEE.
- Foram também contabilizados os fluxos energéticos associados à produção dos fertilizantes, assim como dos fitofármacos (herbicidas, insecticidas e fungicidas), aplicados durante o cultivo das culturas.
- Dadas as características da maquinaria agrícola utilizada na região, foi assumido o gasóleo como combustível utilizado nesse tipo de equipamento.
- Para os fertilizantes considerou-se o transporte rodoviário a uma distância de 140 km, tendo como base o seu local de produção (Setúbal) e de destino (Beja).
- Tendo em conta a distribuição geográfica das potenciais áreas de produção de matéria-prima, considerou-se uma distância de 94 km para o transporte rodoviário dos grãos de cereais produzidos nas explorações agrícolas até à unidade de transformação, assumindo a sua localização junto ao porto de Sines. Para o caso da beterraba sacarina, considerou-se o transporte da matéria-prima a uma distância de 160 km, assumindo a reconversão para produção de etanol da actual unidade fabril existente em Coruche.
- Sendo preferível que toda a fileira do bioetanol se desenvolvesse na região, considera-se o transporte rodoviário do etanol entre a unidade de transformação e os postos de distribuição locais a uma distância média de 94 km.
- Dada a dificuldade de obtenção de dados concretos e fiáveis, assim como a sua quantificação, não foram incluídas as energias acumuladas nos materiais e infra-

estruturas das unidades industriais e no fabrico dos equipamentos agrícolas e de transporte.

4.3. A fileira do bioetanol

O bioetanol¹⁴, o biocombustível mais largamente produzido no mundo, tem o Brasil e os EUA como os principais produtores. Na Europa, é obtido principalmente por fermentação do açúcar contido em culturas sacaríferas, como a beterraba sacarina e de culturas ricas em amido, como o milho, trigo e cevada, o qual é decomposto em açúcares mais simples pela hidrólise, seguindo-se a fermentação dos açúcares resultantes. Hoje em dia, a maior parte da produção do bioetanol é baseada em matéria-prima de culturas alimentares. No futuro, espera-se que a biomassa lenhocelulósica (biocombustíveis de 2ª geração) seja uma importante matéria-prima e o seu uso poderá reduzir a competição entre a indústria alimentar e energética pelas matérias-primas (Comissão Europeia, 2005).

A utilização do bioetanol como combustível no sector dos transportes pode ser feita a três níveis distintos:

- no seu estado puro (E100);
- como aditivo da gasolina constituindo misturas, como por exemplo de 15% de bioetanol e 85% de gasolina (E15);
- como aditivo da gasolina após conversão prévia em ETBE (sendo este combustível obtido da reacção do etanol com o isobuteno, que é um produto secundário da refinação do petróleo).

¹⁴ O bioetanol ou melhor o etanol é um líquido incolor com forte odor, pertence à família química dos álcoois e tem a seguinte estrutura química: C₂H₅OH.

4.3.1. A cadeia produtiva do etanol obtido das culturas energéticas

Para o caso de Alqueva, analisaram-se as cadeias de produção de etanol a partir do milho, trigo e beterraba sacarina, cujo cultivo se desenvolve numa área de solos adequados dentro da área total a irrigar por Alqueva. No Quadro 2, apresenta-se o potencial produtivo para cada uma das culturas em estudo, assim como o respectivo rendimento em etanol. Ressalta o facto do maior rendimento em etanol por parte da beterraba sacarina, o que tem justificação nas boas produtividades agrícolas da região traduzidas numa maior quantidade de biomassa face às outras culturas.

Quadro 2 – Rendimento em etanol segundo a origem da matéria-prima.

Culturas Energéticas	Produtividade (t/ha)	Índice de conversão (l/t)	Rendimento em etanol (l/ha)	Rendimento em etanol (t/ha)	Fonte
<i>Milho</i>	14,0	392,0 (a)	5488,0	4,336	(a) Graboski (2002) citado por QUIRIN et al., (2004).
<i>Trigo</i>	4,5	370,0 (b)	1665,0	1,315	(b) Oiko-Institut (2004) citado por QUIRIN et al., 2004.
<i>Beterraba sacarina</i>	80,6	98,0 (b)	7899,0	6,240	

A análise efectuada teve como base as seguintes etapas fundamentais (Figura 5):

1ª Etapa: à escala agrícola, compreendendo o cultivo incluindo a colheita da matéria-prima.

2ª Etapa: o transporte rodoviário da matéria-prima à unidade transformadora.

3ª Etapa: à escala industrial, compreendendo a transformação da biomassa com produção do etanol, assim como o seu armazenamento.

4ª Etapa: transporte e distribuição do etanol que compreende o transporte rodoviário da indústria aos postos de abastecimento de combustível.

5ª Etapa: a utilização final do combustível pela via da sua combustão completa.

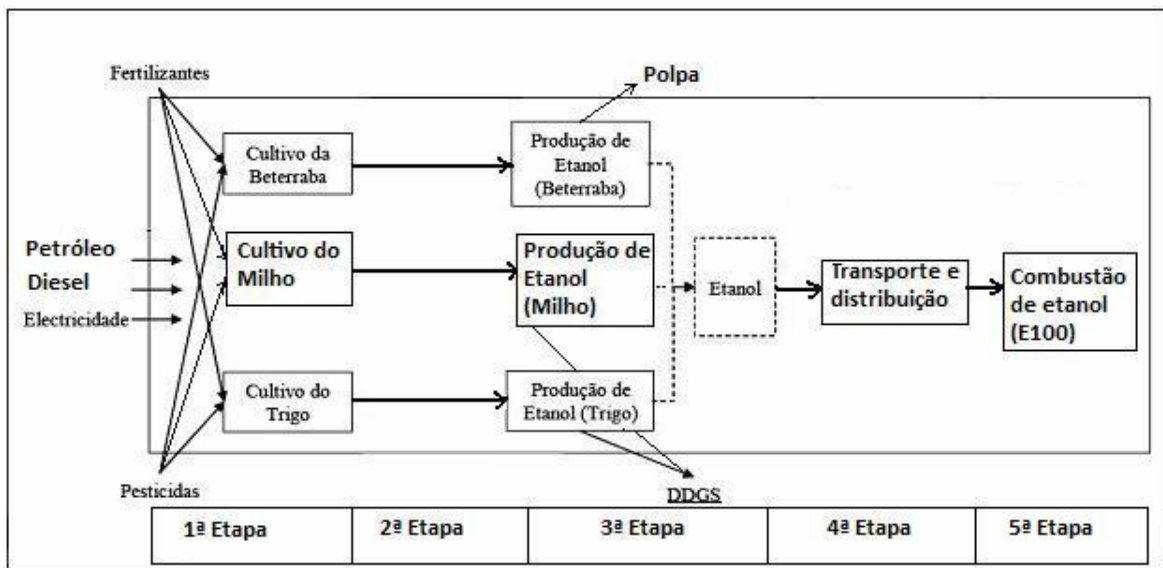


Figura 5 – As principais etapas do ciclo de vida do etanol.
 Fonte: Adaptado de Malça et al., (2003).

Conjugando os cenários produtivos indicados para a região, com o potencial produtivo em etanol das diferentes origens da matéria-prima, são apresentadas no Quadro 3 as produções totais de etanol.

Quadro 3 – Produção de etanol para os diferentes cenários produtivos.

Culturas energéticas	Área de milho (ha)	Área de trigo (ha)	Área de beterraba sacarina (ha)	Produção total de etanol (t)
Cenário <i>Mbio</i>	46850,0	0	0	203141,6
Cenário <i>Tbio</i>	0	46850,0	0	61607,8
Cenário <i>Bbio</i>	0	0	46850,0	292344,0
Cenário <i>Mixbio</i>	15616,7	15616,7	15616,7	185698,2

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de diversos autores.

4.3.2. O Valor Líquido da Energia

Neste ponto apresentam-se os resultados mais relevantes, como a determinação dos principais indicadores da eficiência energética.

Dos inventários energéticos obtidos (Anexos 5, 6, 7 e 9) e para cada uma das cadeias produtivas de etanol (de origem milho, trigo e beterraba sacarina) indica-se, no Quadro 4, a energia primária incorporada para as etapas do ciclo de vida do etanol. Não está aqui incluída a etapa final (5ª etapa) que corresponde à energia disponibilizada pela utilização final do etanol.

Quadro 4 – *Inputs* energéticos ao longo do ciclo de vida do etanol

segundo a fonte de matéria-prima.

Etapa de produção	Milho (MJ/ha)	Trigo (MJ/ha)	Beterraba sacarina (MJ/ha)	Fonte
1ª etapa	35457,4	12243,2	31560,7	(a) Shapouri et al., (2002).
2ª etapa	378,4	121,5	3705,9	(b) Smeets et al., (2005).
3ª etapa	79191,8 (a)	19993,3 (b)	45119,1 (b)	
4ª etapa	123,2	37,3	302,0	
Totais:	115150,8	32395,3	80687,7	

No quadro anterior verificam-se diferenças significativas de consumo de energia entre as culturas, explicáveis pela diferente intensidade no uso de *inputs* energéticos (operações culturais e outros bens de produção) na 1ª etapa e pela diferença nos montantes globais de energia utilizada nas etapas seguintes.

O Valor Líquido da Energia (VLE), como indicador de eficiência de utilização da energia fóssil primária compara a energia final disponibilizada pela combustão do etanol e

pelos créditos energéticos dos respectivos subprodutos com o total de energia primária utilizada na sua obtenção (Quadro 5).

Quadro 5 – Valor Líquido da Energia (VLE) segundo a origem da matéria-prima.

Biocombustível	Inputs energéticos (MJ/ha)	Outputs energéticos (MJ/ha)			VLE (MJ/ha)	VLE (MJ/t etanol)
		Etanol	Créditos (DDGS; Polpa)			
			A	B		
Etanol (Milho)	115150,8	116204,8	67200,0	183404,8	68254,0	15741,2
Etanol (Trigo)	32395,3	35242,0	28800,0	64042,0	31646,7	24065,9
Etanol (Beterraba sacarina)	80687,7	167232,0	10155,6	177387,6	96699,9	15496,8

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

Para as cadeias produtivas analisadas, a quantidade de energia disponibilizada é superior à energia fóssil utilizada, justificando o carácter renovável do biocombustível.

Embora se observem diferenças significativas no VLE por hectare, essas diferenças são atenuadas quando se analisa o VLE por tonelada de etanol obtido. Assim, tem interesse observar que a cadeia produtiva da beterraba sacarina apresenta o valor mais alto de VLE por unidade de área, mas é para o trigo que se obtém um maior valor por tonelada de etanol produzida.

No Quadro 6 são indicados os valores da *euef* para cada uma das cadeias de produção do etanol, comparando sob a forma de rácio a energia final disponibilizada com a energia primária utilizada.

Quadro 6 – A Eficiência da Utilização da Energia Fóssil (*euef*).

	Etanol de Milho	Etanol de Trigo	Etanol de Beterraba sacarina	Gasolina	Fonte
<i>euef</i> (MJ/MJ)	1,59	1,98	2,2	0,81(a)	(a) Andress, Greet model V1.6, (2002).

Os valores obtidos são superiores à unidade, o que confirma a renovabilidade do biocombustível obtido destas culturas. O *ranking* da *euef* posiciona o etanol da beterraba sacarina como aquele que apresenta a melhor eficiência de utilização da energia fóssil, seguido do trigo e do milho.

Em contraste, note-se que o indicador homólogo da gasolina é apenas 0,81, ou seja, sensivelmente metade do indicador do milho.

Na medida em que a produção de etanol tem como objectivo a substituição da gasolina, a comparação dos respectivos índices constitui também um indicador relativo da preservação dos recursos energéticos.

4.4. As emissões de GEE

Da expressão (3), deduziu-se, como vimos, a seguinte equação, mais operacional para a análise pretendida:

$$E = eec + ep + etd - eee \quad (8)$$

Em que:

E = emissões totais da utilização do combustível.

eec = emissões provenientes da extracção ou cultivo de matérias-primas.

ep = emissões do processamento.

etd = emissões do transporte e distribuição.

eee = poupança de emissões resultante da produção excedentária de electricidade na co-geração.

Recorrendo à expressão anterior e aos respectivos factores de conversão (Anexos 10, 11 e 12) calcularam-se os valores das emissões dos GEE, em gCO_{2eq} correspondentes ao ciclo de vida da produção de etanol (Quadro 7).

Quadro 7 – Energia disponibilizada pelo etanol e emissões de CO_{2eq} no ciclo de vida.

	Etanol (t/ha)	Energia disponibilizada (MJ/ha)	Emissões no ciclo de vida (gCO_{2eq}/ha)	Intensidade de carbono (gCO_{2eq}/t etanol)
Etanol (Milho)	4,336	116204,8	1898028,2	437737,1
Etanol (Trigo)	1,315	35242,0	732770,1	557239,6
Etanol (Beterraba sacarina)	6,240	167232,0	1640528,5	262905,2

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

Para o cálculo das emissões de CO_{2eq}, consideraram-se as provenientes das 4 fases do ciclo de vida do biocombustível, não contabilizando as emissões da 5ª fase, ou seja, as resultantes da utilização final que ocorre nos motores dos veículos. Em termos absolutos, observam-se valores mais elevados para o etanol proveniente da beterraba e do milho.

Por outro lado, o etanol de trigo apresenta um valor de intensidade de carbono¹⁵ significativamente superior, significando este facto que o etanol proveniente do trigo, no seu processo produtivo faz uso de uma maior quantidade de carbono.

4.5. Cálculo da mitigação (compensação) dos GEE por via da produção de etanol das culturas energéticas

Como referido atrás, parte-se do pressuposto que o etanol produzido é utilizado na sua forma pura (E100), com o objectivo de substituir a gasolina como combustível fóssil

¹⁵ A intensidade de carbono é a quantidade total de GEE, expressa em gCO_{2eq}, produzida por unidade de biocombustível obtido, calculado numa base de vida útil (Billins et al., 2005).

equivalente. Assim, no cálculo desenvolvido determinou-se em primeiro lugar a quantidade de gasolina equivalente à energia disponibilizada pela combustão do etanol produzido (5ª etapa) para cada uma das cadeias produtivas de etanol, excluindo-se o importante conteúdo energético por parte dos respectivos subprodutos.

Ao contrário do bioetanol, a gasolina é um combustível fóssil derivado do petróleo em que no seu ciclo de vida completo não há compensação de emissões de GEE. Na sequência do cálculo proposto, no passo seguinte obtiveram-se as emissões de CO₂eq que ocorrem na combustão da quantidade de gasolina energeticamente equivalente recorrendo ao factor de emissão respectivo (Anexo 4).

Quadro 8 – Redução das emissões de CO₂eq.

	Energia disponibilizada (MJ/ha)	Emissões no ciclo de vida do etanol (gCO₂eq/ha)	Emissões da gasolina equiv. (gCO₂eq/ha)	Redução das emissões (gCO₂eq/ha)	Redução das emissões (kgCO₂eq/ha)
Etanol (Milho)	116204,8	1898028,2	8482950,4	6584922,2	6584,9
Etanol (Trigo)	35242,0	732770,1	2572666,0	1839895,9	1839,9
Etanol (Beterraba sacarina)	167232,0	1640528,5	12207936,0	10567407,5	10567,4

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diferentes autores.

A avaliação da redução das emissões de GEE por hectare e por ano resulta da aplicação da expressão (5), verificando-se para as cadeias produtivas em estudo uma redução das emissões de CO₂eq, salientando-se o forte contributo de mitigação para o etanol de beterraba sacarina e do milho.

Por outro lado, a poupança das emissões, aferida pela equação (6), evidencia uma margem de compensação de 86,6%, 77,6% e 71,5%, respectivamente, para a beterraba sacarina, milho e trigo.

4.6. O crédito correspondente à redução das emissões dos GEE

Determinado o valor correspondente à redução das emissões de CO₂eq, que é possível obter com a utilização do etanol produzido de cada uma das matérias-primas, torna-se necessário determinar o valor de mercado do montante total de toneladas de CO₂eq correspondente a esta redução. Assim, com a aplicação da expressão (7) e utilizando o valor de mercado para a tonelada de carbono, obtiveram-se os valores do Quadro 9.

Quadro 9 – Valor de mercado da redução dos GEE.

	Redução das emissões	Preço de mercado	Crédito	Fonte
	(tCO₂eq/ha)	(a)	Compensação das Emissões	
		(€/tCO₂eq)	(€/ha)	
Etanol (Milho)	6,585	26,11	171,93	(a) ECX-European Climate
Etanol (Trigo)	1,840	26,11	48,04	Exchange; preço de contrato
Etanol (Beterraba sacarina)	10,567	26,11	275,90	de futuro para DEZ/08.

Os valores apresentados referem-se ao crédito da compensação dos GEE conseguido por unidade de área cultivada. O valor da tonelada de CO₂eq e das respectivas licenças de emissão é determinado pelo mercado, sendo negociadas numa base de contratos de futuro, numa bolsa europeia de derivados própria – a *ECX, European Climate Exchange*.

Os créditos obtidos para o etanol de milho e de beterraba são significativos e claramente superiores ao do etanol de trigo. Note-se, contudo que a actual ajuda comunitária às culturas energéticas (45,00 €/ha) está fixada abaixo do crédito do etanol de trigo, não significando este facto uma menor importância desta cultura, mas antes salientando a necessidade agronómica da inclusão dos cereais em rotações culturais equilibradas.

Finalmente, no Quadro 10 apresentam-se os montantes finais convertendo os créditos de compensação unitários em créditos de compensação para cada um dos cenários de afectação da área disponível do regadio de Alqueva às culturas energéticas estudadas.

Quadro 10 – Crédito da Compensação das emissões para os diferentes cenários.

Culturas energéticas	Redução das emissões	Redução de emissões total	Crédito de Compensação das Emissões	Crédito de Compensação das Emissões total
	(tCO₂eq/ha)	(tCO₂eq)	(€/ha)	(10³ €)
Cenário Mbio	6,585	308507,3	171,93	8054,92
Cenário Tbio	1,840	86204,0	48,04	2250,67
Cenário Bbio	10,567	495064,0	275,90	12925,92
Cenário Mixbio	6,331	296592,4	165,29	7743,84

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

Cada um dos cenários traçados contribui com um montante significativo em termos de mitigação de toneladas de CO₂eq, assim como num valor monetário associado bastante importante para a região.

De qualquer forma é o cenário correspondente ao etanol de beterraba sacarina (*Bbio*) que apresenta os valores mais elevados, seguido do etanol de milho (*Mbio*) e, em último, o cenário correspondente ao etanol trigo (*Tbio*).

Por último, de referir que os valores obtidos com o cenário constituído por um *Mix* produtivo das culturas referidas estão nivelados com os obtidos para o etanol de milho. Este cenário além de poder constituir uma solução mais correcta em termos agrónomicos, apresenta ainda a vantagem de maior diversificação da matéria-prima, o que poderá configurar uma maior segurança e regularidade de abastecimento para a fileira do bioetanol. As figuras 6 e 7 permitem visualizar com mais facilidade os valores obtidos para a compensação das emissões de CO₂eq e dos créditos associados na perspectiva dos cenários culturais propostos.

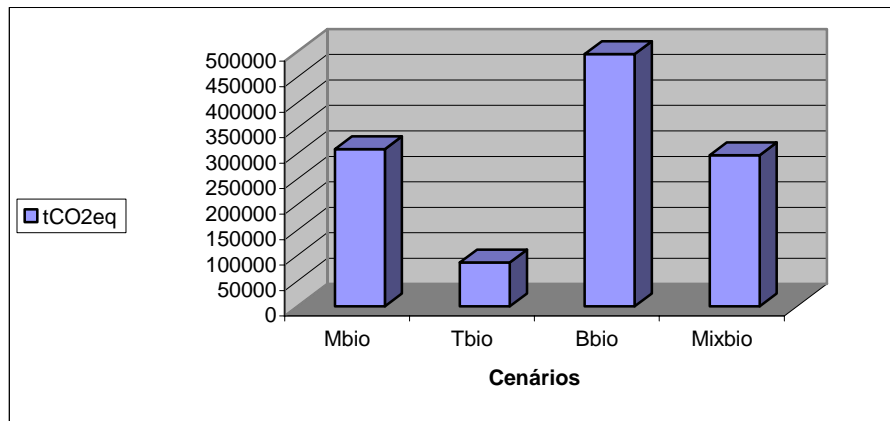


Figura 6 – Redução total das emissões para cada cenário produtivo.
 Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

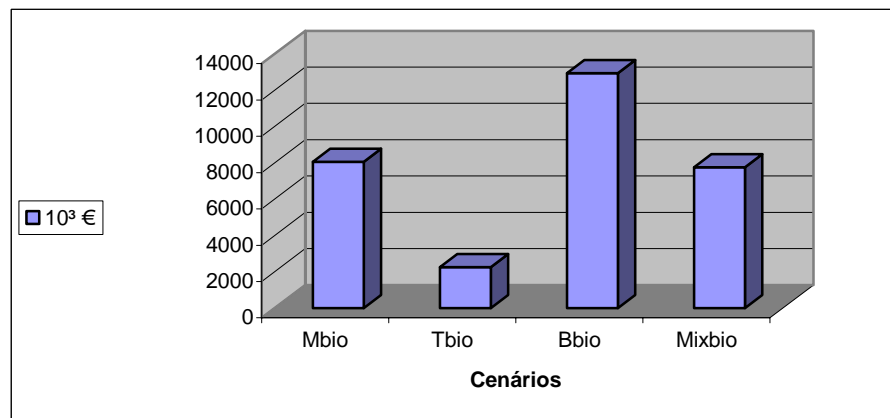


Figura 7 – Crédito total de compensação das emissões para cada cenário produtivo.
 Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transposição da regulamentação comunitária para a legislação portuguesa, impõe proporções mínimas de incorporação de biocombustíveis no mercado de combustíveis do sector dos transportes até 2010. Deste modo, revela-se obrigatório o início de produções significativas de biocombustíveis líquidos a nível nacional, por forma a evitar que para respeitar as quotas mínimas exigidas, Portugal se torne um país importador líquido de biocombustíveis ou de matérias-primas destinadas à sua produção.

Como ficou demonstrado, no que respeita ao balanço energético, o bioetanol produzido a partir do milho, trigo e beterraba sacarina apresenta um balanço positivo. Por outro lado, à medida que as produtividades expectáveis das culturas dedicadas aumentem com o tempo, assim como a evolução tecnológica nas várias fases de processamento, poder-se-á esperar que o balanço energético favorável do etanol também siga a mesma tendência.

Estabelecendo um inventário da energia primária utilizada para as várias fases do ciclo de vida, determinou-se a eficiência energética da utilização de energia fóssil na produção do bioetanol, permitindo concluir que as cadeias produtivas estudadas apresentam claras vantagens relativamente à cadeia fóssil correspondente – gasolina.

Neste contexto, é possível pensar que, para a realidade regional, a adopção do bioetanol como biocombustível seja significativamente vantajosa, não só considerando os resultados apresentados neste estudo, mas também pelos inegáveis benefícios da acrescida diversidade energética e correspondente segurança do abastecimento.

Por outro lado, há que ter em consideração que a comparação dos biocombustíveis com os seus equivalentes combustíveis de origem fóssil, pode tornar-se desvantajosa quando se avaliam outros impactes ambientais não abordados no estudo, como a acidificação dos solos, a eutrofização das águas e a libertação de gases que contribuem para a depleção da camada de ozono. Outro aspecto importante a clarificar é a produção de emissões de óxidos de azoto, com origem nas fertilizações usadas durante a intensificação do processo de cultivo.

O sucesso da produção de bioetanol no perímetro de rega a beneficiar por Alqueva, dependerá da estruturação da fileira produtiva e da coordenação das acções dos agentes privados e públicos. Depende também da cooperação do maior número possível de especialistas e das acções de investigação e desenvolvimento ao longo da fileira Produção–Transformação–Distribuição, para poder solucionar os principais problemas que hoje se apresentam, tais como os de origem logística, fornecimento de biomassa e formação de preços.

Para os cenários produtivos estudados, conclui-se que o bioetanol obtido, quando comparado com o combustível fóssil equivalente, fornece uma melhor *performance*, no que respeita à diminuição das emissões de GEE.

No *ranking* dos resultados obtidos em termos de capacidade de mitigação das emissões de GEE, o etanol de beterraba ocupa o primeiro lugar com 10,567 tCO_{2eq}/ha, seguido do milho (6,585 tCO_{2eq}/ha) e do trigo (1,840 tCO_{2eq}/ha). Em termos globais, o cenário produtivo *Bbio* permite uma mitigação de 495064,0 tCO_{2eq}, seguido do cenário *Mbio* com 308507,3 tCO_{2eq} e *Tbio* com 86204,0 tCO_{2eq}. Por outro lado, a produção de bioetanol para o cenário *Mixbio*, permite uma mitigação total de 296592,4 tCO_{2eq}, o que representa 1,28% do total das emissões do sector rodoviário nacional previstas para o ano de 2010 (23127 ktCO_{2eq}).

Os créditos gerados pela capacidade de mitigação dos GEE são de 275,90 €/ha para o etanol de beterraba sacarina, de 171,93 €/ha para o milho e de 48,04 €/ha para o trigo. Considerando os montantes globais, o cenário produtivo *Bbio* possibilita a obtenção de 12925,92 milhares de euros, seguido do cenário *Mbio* (8054,92 milhares de euros) e o *Tbio* (2250,67 milhares de euros). Os resultados obtidos mostram também que a quantidade de emissões de CO_{2eq} mitigada para o cenário *Mixbio*, valorizada a preços de mercado, correspondem a um crédito de compensação total de 7743,84 milhares de euros, ou seja, 60% do cenário *Bbio*.

Ficou provado que a produção de bioetanol como combustível para os transportes permite uma significativa redução potencial das emissões de GEE, podendo este

biocombustível ser uma poderosa opção para atingir os objectivos de redução do potencial de aquecimento global.

Recentemente tem-se verificado um aumento dos preços mundiais das *commodities* agrícolas, o que tem levado alguns sectores da sociedade a encontrar justificação na utilização dessas matérias para a produção de biocombustíveis e no crescimento da procura das economias emergentes Brasil, Rússia, Índia e China. A confirmar-se este comportamento, conjugado com o aumento da população global, poderá levar a futuros conflitos em termos de “alimento ou combustível”.

A produção de bioetanol, assim como o desenvolvimento da fileira no Alentejo poderá contribuir para a revitalização do espaço agro-rural, nomeadamente a zona afectada pelo regadio de Alqueva. A efectiva implantação da fileira na região trará ganhos sociais, com a criação de empregos e desenvolvimento do sector produtivo, uma vez que a biomassa abrange culturas já praticadas na região sem necessidade de grandes ajustamentos estruturais e tecnológicos.

Ficando demonstrado que a produção de bioetanol gera créditos de carbono, seria de todo o interesse desenvolver estratégias e implementar mecanismos para serem colocados no mercado, evitando assim a compra de créditos de carbono a países terceiros por parte da indústria nacional com a consequente saída de divisas que acarreta. À semelhança do que vêm fazendo alguns países em desenvolvimento, teria sentido que os órgãos decisores adoptassem estratégias no âmbito dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Kyoto do qual Portugal é signatário. Fica a ideia de que está por aproveitar o potencial de mitigação de GEE do espaço rural, nomeadamente no desenvolvimento

integrado e sustentável entre a produção de biocombustíveis a partir de culturas arvenses dedicadas, as culturas lenhocelulósicas, a reflorestação e o sector turístico.

Actualmente não é claro o objectivo da ajuda comunitária às culturas energéticas e o seu valor não reflecte o importante papel que as culturas energéticas podem ter na compensação de GEE. Como ficou demonstrado, o sector agrícola por via da produção de bioetanol gera uma externalidade positiva traduzida na redução de GEE o que proporciona um benefício social líquido não apenas a nível regional como também nacional.

Por último, os órgãos decisores devem evitar cair na tentativa de subsidiar em larga escala a produção e/ou consumo dos biocombustíveis com o objectivo estratégico de cumprimento do normativo comunitário e de redução das emissões a que Portugal se comprometeu. Podendo aquela estratégia revelar-se ineficiente, uma solução poderá passar por conceder ao agricultor, sob a forma de ajuda, um valor que remunere de forma justa o serviço que presta ao ambiente, logo ao bem-estar da sociedade em geral. O montante desta ajuda poderá ser encontrado por um esquema de modulação e deverá ter em conta os créditos de carbono gerados por cada uma das cadeias produtivas de bioetanol, discriminando positivamente as diversas culturas em função do seu esforço de mitigação de GEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO.GES, AGRICIÊNCIA. *Estudo de Avaliação do Impacte Sócio-económico da Componente Hidroagrícola do Alqueva. Relatório Final*. Abril de 2004.
- ANDRESS, David. *Ethanol Energy Balances*. Prepared for UT-Battelle LLC and Office of Biomass Programs, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2002.
<http://www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/docs/FORUM/EthanolEnergyBalance.pdf>, consultado em 25/05/2008.
- BALL, Andrew e PRETTY, Jules. *Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration*. Department of Biological Sciences and Centre for Environment and Society, University of Essex, Aberystwyth, 2002.
http://orgprints.org/8416/01/ball_pretty_Carbon_emissions_sequestration.pdf, consultado em 8/12/2007.
- BIERMANN, S., RATHKE, K., HULSBERGEN, J., DIEPENBROCK. *Energy Recovery by Crops in Dependence on the Input of Mineral Fertilizer, Final Report*. Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Agroecological Institute, Institute of Agronomy and Crop Science, Halle (Saale), May 1999.
http://cms.efma.org/EPUB/easnet.dll/GetDoc?APPL=1&DAT_IM=000EA0&DVVNLD=endbericht.pdf, consultado em 19/05/2008.
- BILLINS, Peter; WOODS, Jeremy; TIPPER, Richard. *Developing Carbon and Greenhouse Gas Assurance for Bioethanol Production in the UK*. HGCA, 2005.
http://www.lowcyp.org.uk/assets/reports/HGCA_Developing_Carbon_and_Greenhouse_Gas_Assurance.pdf, consultado em 12/05/2008.

- COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à promoção da utilização da energia proveniente de fontes renováveis, COM(2008) 319 final, Bruxelas, 23/01/2008.

- DUTRA, Alanna e NETO, José. *Uso da Análise do Ciclo de Vida na Avaliação das Categorias Ambientais, Efeito Estufa e Chuva Ácida para Diesel e Biodiesel de OGR*. UESC, 2006.
http://www.seminarioicuesc.com.br/sistema/resumos/09_pag29.PDF, consultado em 12/01/2008.

- EPLCA, European Platform on Life Cycle Assessment. *Carbon Footprint, What it is and how to measure it*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Italy, 2007.
http://lca.jrc.ec.europa.eu/Carbon_footprint.pdf, consultado em 12/01/2008.

- EUBIA – European Biomass Industry Association. *Bioethanol Production and Use. Creating Markets for Renewable Energy Technologies EU RES Technology Marketing Campaign*, Brochure produced as part of the Project: RESTMAC, Brussels, 2007.
http://www.eubia.org/fileadmin/template/main/res/pics/projects/RESTMAC_-_Bioethanol_Production_Use.pdf, consultado em 12/05/2008.

- EUROPEAN COMMISSION, Community Research. *Biomass, Green Energy for Europe*. Directorate-Generale for Research Sustainable Energy Systems, Belgica, 2005.
<http://www.managenergy.net/download/r1270.pdf>, consultado em 4/11/2007.

- FEHRENBACH, Horst. *GHG Accounting Methodology and Default Data According to the Biomass Sustainability Ordinance (BSO)*. Sustainability Requirements for Biofuels – German Perspectives. IFEU – Institut für Energie – und Umweltforschung Heidelberg, Brussels, 2008.
http://www.oeko.de/service/bio/dateien/en/fehrenbachpres_%20ghg.pdf, consultado em 19/03/2008.

- IPCC, International Panel on Climate Change. *Fourth Assessment Report*. Climate Change, 2007.
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4.pdf>, consultado em 8/12/2007.

- IPCC, International Panel on Climate Change. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volumes 1, 2, 4 e 5, IGES, Japão, 2006.
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>, consultado em 8/12/2007.

- LISKA, A.J.; YANG, H.S.; BREMER, V.; WALTERS, D.T.; ERICKSON, G.; KLOPFENSTEIN, T.; KENNEY, D.; TRACY, P., KOELSCH, R.; CASSMAN, K.G. *BESS: Biofuel Energy Systems Simulator; Life-Cycle Energy and Emissions Analysis Model for Corn-Ethanol Biofuel*. University of Nebraska-Lincoln, 2007.
<http://www.bess.unl.edu>, consultado em 14/01/2008.

- MALÇA, João; ROZAKIS, Stelios; FREIRE, Fausto. *Análise Energética do Ciclo de Vida de Biocombustíveis: Aplicação à Fileira do Bioetanol em França*. Comunicação apresentada nas 3as Jornadas Politécnicas de Engenharia, ISEC, 19-20 de Novembro, 2003. http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/folders/my_papers/biofuel/3JPE_2003, consultado em 25/04/2008.

- McCARL, Bruce e SCHNEIDER, Uwe. *U. S. Agriculture's Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective*. Department of Agricultural Economics, Texas A & M University, Texas Agricultural Experiment Station, Texas, 1999. <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/669.pdf>, consultado em 28/11/2007.

- McCARL, Bruce ; SCHNEIDER, Uwe; WOODWARD, Richard. *Harvesting the Greenhouse through Altered Land Management: Economic Potential and Market Design Challenges*. Department of Agricultural Economics from Texas A&M University, Department of Economics from Iowa State University, 2005. <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/0700.pdf>, consultado em 30/11/2007.

- ONU. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Naciones Unidas, 1998. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>, consultado em 12/01/2008.

- OVEREND, Ralph; PH, D.; MILBRANDT, Anelia. *Potential Carbon Emissions Reductions from Biomass by 2030*. National Renewable Energy Laboratory, 2007. <http://www.ases.org/climatechange/toc/07biomass.pdf>, consultado em 4/12/2007.

- PAUSTIAN, Keith. *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, 2001. <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbonseq/4C2.pdf>, consultado em 20/11/2007.

- QUIRIN, Markus; GARTNER, Sven; PEHNT, Martin; REINHARDT, Guido. *CO2 Mitigation Through Biofuels in the Transport Sector. Status and Perspectives. Main Report*. IFEU, Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg, Germany, 2004. <http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20040801gen-351.pdf>, consultado em 8/05/2008.

- RAJAGOPAL, Deepak; ZILBERMAN, David. *Review of Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels*. Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team, The World Bank, 2007. http://www.fanrpan.org/documents/d00434/Biofuels_WorldBank_Sep2007.pdf, consultado em 9/12/2007.

- SHAPOURI, Hosein; DUFFIELD, James A.; WANG, Michael. *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update*. USDA, United States Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses. Agricultural Economic Report N° 814, Julho, 2002.
<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/123456789/1229/1/ae020814.pdf>, consultado em 08/05/2008.

- SMEETS, Edward; JUNGINGER, Martin; FAAIJ, André. *Supportive study for the OECD on Alternative Developments in Biofuel Production Across the World*. Copernicus Institute for Sustainable Development, Department of Science, Technology & Society – Utrecht University, The Netherlands, December, 2005.
<http://www.chem.uu.nl/nws/www/publica/Publicaties2005/E2005-141.pdf>, consultado em 8/05/2008.

- WEIDEMA, Bo; WENZEL, Henrik; PETERSEN, Claus; HANSEN, Klaus. *The Product, Functional Unit and Reference Flows in LCA*. Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Environmental News, N° 70, 2004.
<http://www2.mst.dk/Udgiv/Publications/2004/87-7614-233-7/pdf/87-7614-234-5.PDF>, consultado em 12/01/2008.

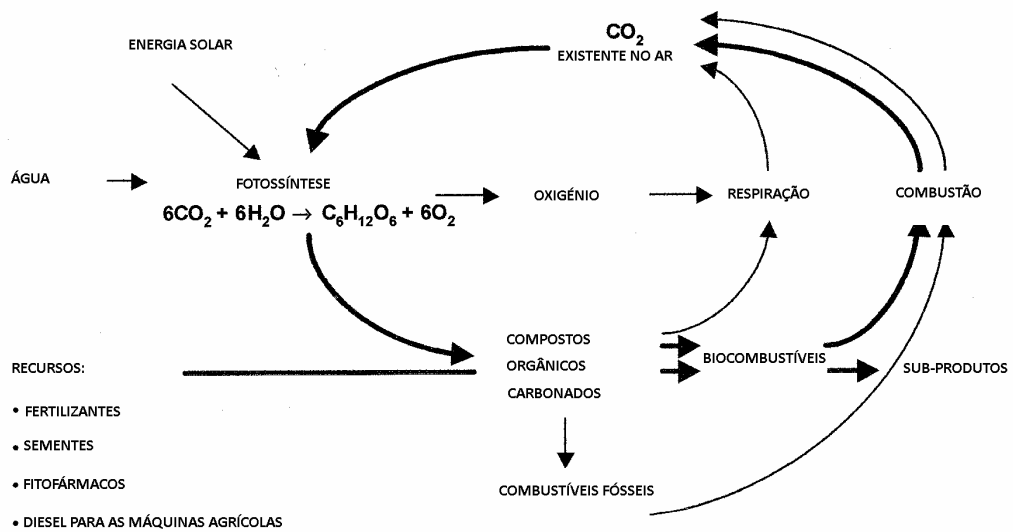
- WOODS, Jeremy; BROWN, Gareth; ESTRIN, Alexander. *Bioethanol Greenhouse Gas Calculator*. Biomass Energy Group, Centre for Environmental Policy, Imperial College of London, London, 2005.

- YODER, Jonathan; WANDSCHNEIDER, Phil. *Policy Design for Biofuel Markets: An economic perspective*. School of Economic Sciences, Washington State University, 2007.
http://sungrant.oregonstate.edu/workshop/Yoder_WRBW_Aug07_V4.pdf, consultado em 23/11/2007.

- ZUOMING, Liu. *Potential Impacts of Biomass Power on the Rural Development of Missouri*. The Community Policy Analysis Center, Department of Agricultural Economics, University of Missouri, Columbia, 2006.
http://www.implan.com/library/documents/2006pdfs/08_biomass_power_liu.pdf, consultado em 7/12/2007.

ANEXO 1

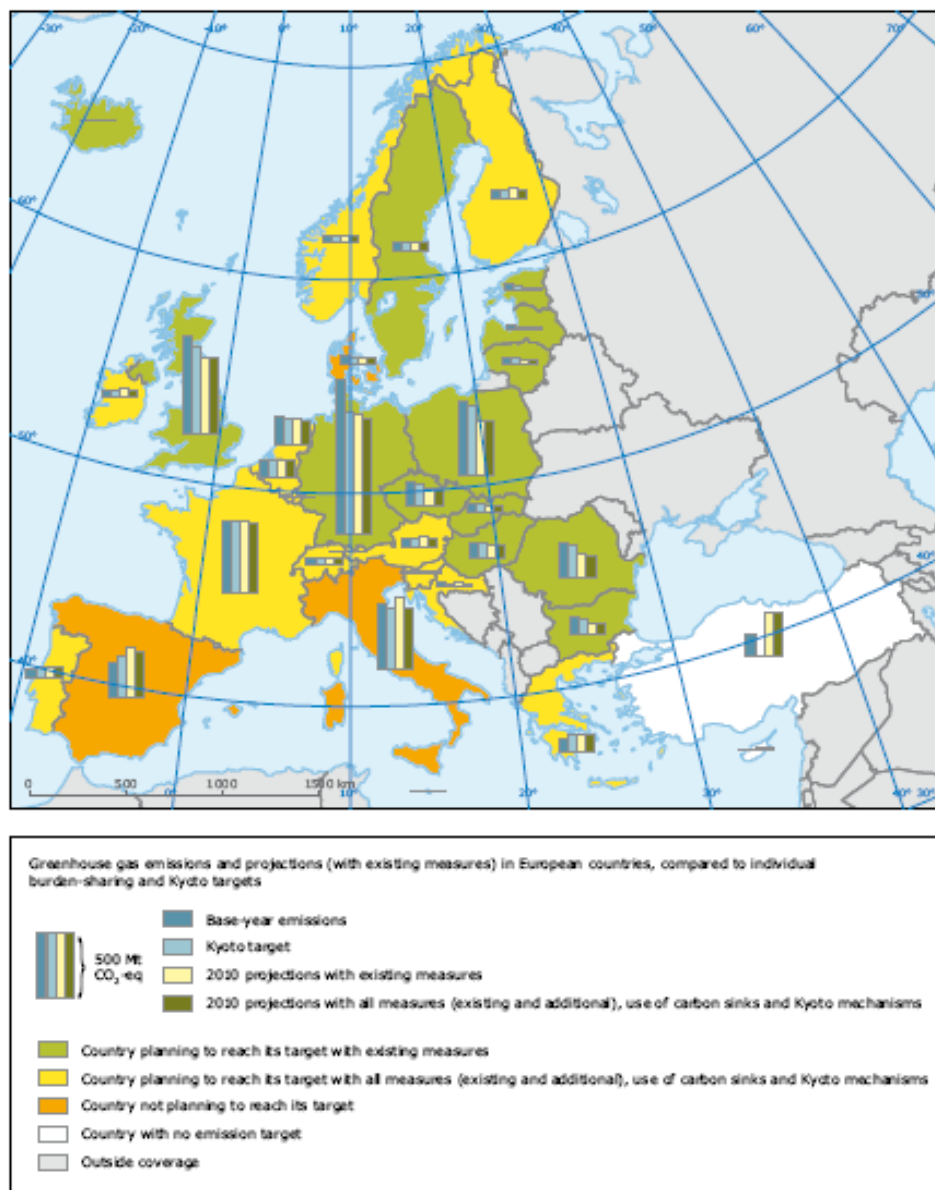
Os biocombustíveis no ciclo do carbono.



Fonte: Adaptado de Quirin et al., 2004.

ANEXO 2

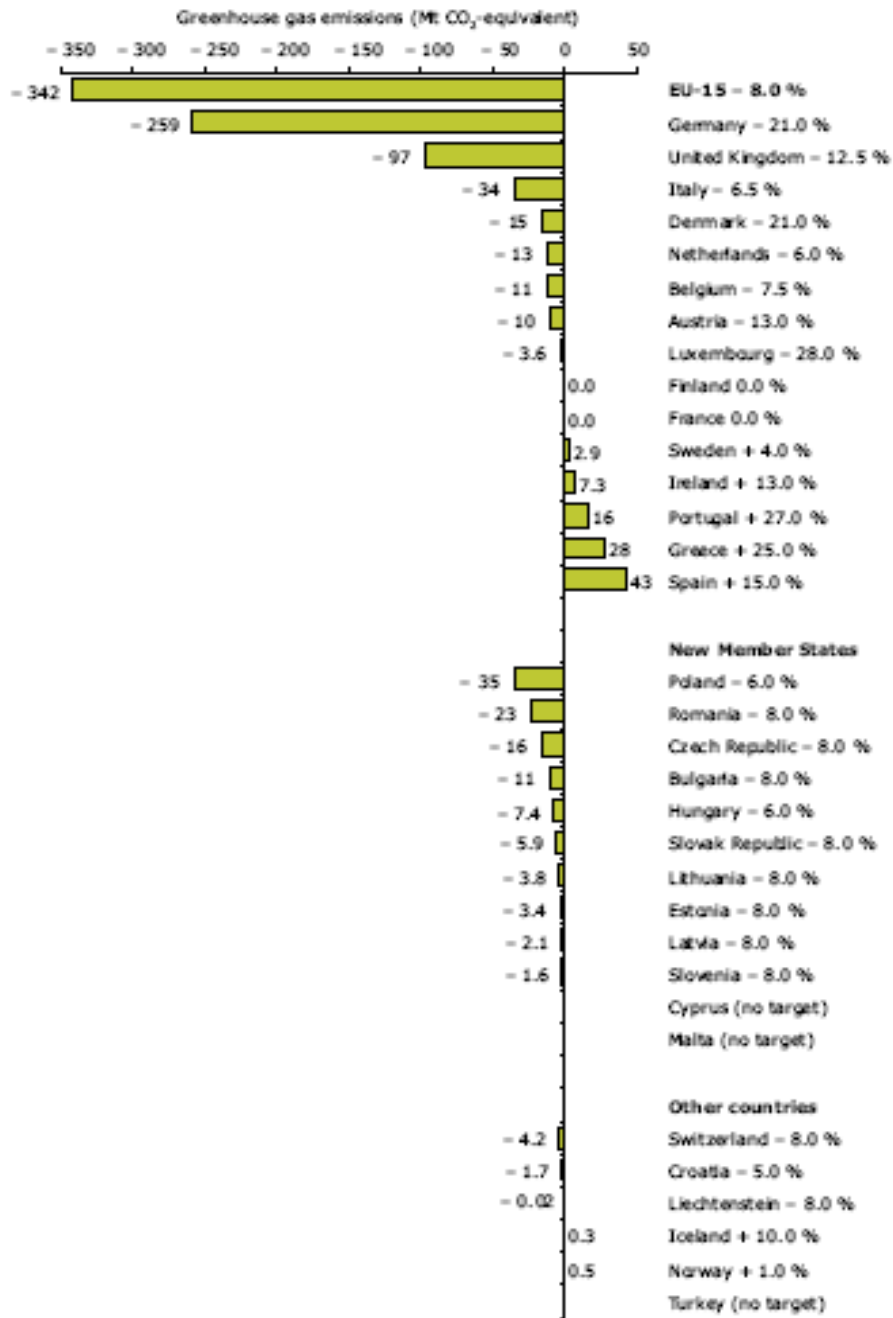
Projeção das emissões de GEE na Europa em 2010.



Fonte: Adaptado de EEA, European Environment Agency, (2007).

ANEXO 3

Objectivos de emissões de GEE para os 27 Estados Membros, candidatos à UE e outros membros da EEA para 2008 – 2012 relativos às emissões do ano base.



Fonte: Adaptado de EEA, European Environment Agency (2007).

ANEXO 4

Factores de conversão.

Combustível	Massa Volúmica (kg/l)	Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	Emissões de GEE na combustão (gCO₂eq/MJ)	Fonte
Etanol	0,79 (a)	26,8 (a)	-	(a) ADEME/ECOBAN, (2006).
Gasolina	0,75 (b)	43,2 (b)	73,0 (b)	(b) EUCAR, (2003) citado por
Gasóleo	0,83 (b)	43,1 (b)	-	Quirin et al., (2004).

ANEXO 5

Inputs energéticos por hectare na fase de cultivo (1ª etapa)
do milho de regadio.

Factor de produção	Tipo de combustível	Tempo (horas)	Consumo médio de combustível (kg/hora)	Quantidade (kg; kWh)	Factor de conversão – PCI (MJ/kg; MJ/kWh)	Energia utilizada (MJ)
Operações culturais:						
Chisel	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Gradagem	Gasóleo	0,3	18,0	5,4	43,1 (a)	232,7
Distribuição de adubo	Gasóleo	0,3	18,0	5,4	43,1 (a)	232,7
Escarificação	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Sementeira	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Pulverizações	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Rega	Electricidade	-	-	2016,0	9,3 (d)	18748,8
Colheita	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Secagem	Gás Propano	-	-	30,0	46,3 (e)	1389,0
Sub-total:						23318,5
Produtos						
Fertilizantes azotados	-	-	-	220,0	35,3 (b)	7766,0
Fertilizantes fosfatados	-	-	-	140,0	15,8 (b)	2212,0
Fertilizantes potássicos	-	-	-	120,0	9,3 (b)	1116,0
Herbicidas	-	-	-	1,9	288 (c)	547,2
Insecticidas	-	-	-	2,1	237 (c)	497,7
Fungicidas	-	-	-	-	196 (c)	-
Sub-total:						12138,9
Total:						35457,4

Fonte: (a) EUCAR, (2003) citado por Quirin et al., (2004).

(b) Appel, (1997) citado por Biermann et al., (1999).

(c) Biermann et al, (1999).

(d) Tomando em conta que é necessário 0,36 kg de carvão para a produção de 1 kWh (EDP, 2008) e que o Poder Calorífico Inferior do carvão é de 25,8 MJ/kg (IPCC, 2006).

Os tempos de trabalho e consumos médios de combustível, tiveram em conta a utilização de um tractor de 130 cv nas operações culturais.

(e) www.galpennergia.com, (2008).

ANEXO 6

Inputs energéticos por hectare na fase de cultivo (1ª etapa)
da beterraba sacarina de regadio.

Factor de produção	Tipo de combustível	Tempo (horas)	Consumo médio de combustível (kg/hora)	Quantidade (kg; kWh)	Factor de conversão – PCI (MJ/kg; MJ/kWh)	Energia utilizada (MJ)
Operações culturais						
Lavoura	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Chisel	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Gradagem	Gasóleo	0,3	18,0	5,4	43,1 (a)	232,7
Distribuição de adubo	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Fresagem	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Sementeira	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Pulverizações	Gasóleo	1,5	18,0	27,0	43,1 (a)	1163,7
Rega	Electricidade	-	-	1344,0	9,3 (d)	12499,2
Colheita (Decomposto)	Gasóleo	2,0	36,0	72,0	43,1 (a)	3103,2
					Sub-total:	20102,0
Produtos						
Fertilizantes azotados	-	-	-	180,0	35,3 (b)	6354,0
Fertilizantes fosfatados	-	-	-	150,0	15,8 (b)	2370,0
Fertilizantes potássicos	-	-	-	150,0	9,3 (b)	1395,0
Herbicidas	-	-	-	2,65	288,0 (c)	763,2
Insecticidas	-	-	-	1,49	237,0 (c)	353,1
Fungicidas	-	-	-	1,14	196,0 (c)	223,4
					Sub-total:	11458,7
					Total:	31560,7

Fonte: (a) EUCAR, (2003) citado por Quirin et al., (2004).

(b) Appel, (1997) citado por Biermann et al., (1999)

(c) Biermann et al., (1999).

(d) Tomando em conta que é necessário 0,36 kg de carvão para a produção de 1 kWh (EDP, 2008) e que o Poder Calorífico Inferior do carvão é de 25,8 MJ/kg (IPCC, 2006).

Os tempos de trabalho e consumos médios de combustível, tiveram em conta a utilização de um tractor de 130 cv nas operações culturais.

ANEXO 7

Inputs energéticos por hectare na fase de cultivo (1ª etapa)
do trigo de regadio.

Factor de produção	Tipo de combustível	Tempo (horas)	Consumo médio de combustível (kg/hora)	Quantidade (kg; kWh)	Factor de conversão – PCI (MJ/kg; MJ/kWh)	Energia utilizada (MJ)
Operações culturais:						
Gradagem	Gasóleo	0,3	18,0	5,4	43,1 (a)	232,7
Distribuição de adubo	Gasóleo	0,6	18,0	10,8	43,1 (a)	465,5
Escarificação	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Sementeira	Gasóleo	0,3	18,0	5,4	43,1 (a)	232,7
Pulverizações	Gasóleo	0,5	18,0	9,0	43,1 (a)	387,9
Rega	Electricidade	-	-	336,0	9,3 (d)	3124,8
Colheita	Gasóleo	1,0	18,0	18,0	43,1 (a)	775,8
Sub-total:						5607,3
Produtos						
Fertilizantes azotados	-	-	-	120,0	35,3 (b)	4236,0
Fertilizantes fosfatados	-	-	-	60,0	15,8 (b)	948,0
Fertilizantes potássicos	-	-	-	100,0	9,3 (b)	930,0
Herbicidas	-	-	-	1,1	288 (c)	316,8
Insecticidas	-	-	-	0,7	237 (c)	165,9
Fungicidas	-	-	-	0,2	196 (c)	39,2
Sub-total:						6635,9
Total:						12243,2

Fonte: (a) EUCAR, (2003) citado por Quirin et al., (2004).

(b) Appel, (1997) citado por Biermann et al., (1999)

(c) Biermann et al., (1999).

(d) Tomando em conta que é necessário 0,36 kg de carvão para a produção de 1 kWh (EDP, 2008) e que o Poder Calorífico Inferior do carvão é de 25,8 MJ/kg (IPCC, 2006).

Os tempos de trabalho e consumos médios de combustível, tiveram em conta a utilização de um tractor de 130 cv nas operações culturais.

ANEXO 8

Valor energético dos subprodutos do processo de obtenção de etanol.

Matéria-prima	Subproduto	Factor de conversão (a) (kg/t)	Quantidade (kg/ha)	Poder Calorífico Inferior (b) (MJ/kg)	Energia (MJ/ha)	Fonte
Milho	DDGS	300,0	4200,0	16,0	67200,0	(a) Smeets et al., (2005).
Trigo	DDGS	400,0	1800,0	16,0	28800,0	(b) Fehrenbach, (2008).
Beterraba sacarina	Polpa	60,0	4836,0	2,1	10155,6	

ANEXO 9

Energia utilizada nas fases de transporte da matéria-prima (2ª etapa)
e do etanol (4ª etapa) por hectare.

	Índice de conversão da matéria-prima (a) <i>A</i>	Índice de conversão do etanol (b) <i>B</i>	Distância (km) <i>C</i>	Consumo combustível (kg/100km) <i>D</i>	Poder calorífico (MJ/kg) <i>E</i>	Total 2ª etapa (c) (MJ) $A \times C \times D \times E \times 0,01$	Total 4ª etapa (d) (MJ) $B \times C \times D \times E \times 0,01$
Etanol (Milho)	0,467	0,152	94,0	20,0	43,1	378,4	123,2
Etanol (Trigo)	0,150	0,046	94,0	20,0	43,1	121,5	37,3
Etanol (B. sacarina)	2,687	0,219	160,0	20,0	43,1	3705,9	302,0

Fonte: Elaboração própria com base em dados de diversos autores.

- (a) Baseado na produtividade da biomassa e admitindo um transporte unitário de 30000 kg.
- (b) Baseado na produtividade em etanol e admitindo o transporte unitário de 36000 l.
- (c) Considerando o transporte rodoviário directamente da exploração à unidade transformadora.
- (d) Considerando o transporte rodoviário directo da unidade transformadora aos postos de abastecimento locais e negligenciável outro tipo de energia utilizada.

ANEXO 10

Emissões de CO₂eq no ciclo de vida do etanol de milho.

Etapa do ciclo de vida	Energia utilizada (MJ/ha)	Factor de conversão (a) (gCO₂eq/MJ)	Emissões (gCO₂eq/ha)	Fonte
1ª Etapa (eec)	35457,4	20,0	709148,0	(a) Comissão Europeia, (2008).
2ª Etapa (etd)	378,4	2,0	756,8	(b) Shapouri et al., (2002).
3ª Etapa (ep – eee)	79191,8 (b)	15,0	1187877,0	
4ª Etapa (etd)	123,2	2,0	246,4	
Total:	115150,8	-	1898028,2	

ANEXO 11

Emissões de CO₂eq no ciclo de vida do etanol obtido do trigo.

Etapa do ciclo de vida	Energia utilizada (MJ/ha)	Factor de conversão (a) (gCO₂eq/MJ)	Emissões (gCO₂eq/ha)	Fonte
1ª Etapa (eec)	12243,2	19,0	232620,0	(a) Comissão Europeia, (2008).
2ª Etapa (etd)	121,5	2,0	243,0	(b) Smeets et al., (2005).
3ª Etapa (ep – eee)	19993,3 (b)	25,0	499832,5	
4ª Etapa (etd)	37,3	2,0	74,6	
Total:	32395,3	-	732770,1	

ANEXO 12

Emissões de CO_{2eq} no ciclo de vida do etanol obtido da beterraba sacarina.

Etapa do ciclo de vida	Energia utilizada (MJ/ha)	Factor de conversão (a) (gCO_{2eq}/MJ)	Emissões (gCO_{2eq}/ha)	Fonte
1ª Etapa (eec)	31560,7	13,0	410289,1	(a) Comissão Europeia, (2008).
2ª Etapa (etd)	3705,9	3,0	11117,7	(b) Smeets et al., (2005).
3ª Etapa (ep – eee)	45119,1 (b)	27,0	1218215,7	
4ª Etapa (etd)	302,0	3,0	906,0	
Total:	80687,7	-	1640528,5	