

# Avaliação de ciclo de vida do biodiesel de girassol em Portugal: comparação com outras oleaginosas importadas

**Filipa Figueiredo<sup>a,\*</sup>**, Érica Castanheira<sup>a,\*</sup>, João Malça<sup>a,b,\*</sup> e Fausto Freire<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>ADAI-LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Pólo II Campus, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

<sup>b</sup>Dep. de Engenharia Mecânica, ISEC, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal  
Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal

\* filipa.figueiredo@dem.uc.pt, erica@dem.uc.pt, jmalca@dem.uc.pt e fausto.freire@dem.uc.pt

## Resumo

Este artigo apresenta uma avaliação ambiental de ciclo de vida de biodiesel de girassol produzido em Portugal. Consideraram-se duas práticas agrícolas distintas (cultivo em regadio e em sequeiro), diferentes cenários de alteração do uso dos solos (AUS), o transporte, a extração de óleo e a transesterificação. Foi efetuada uma análise ambiental comparativa do biodiesel de girassol com o proveniente de outras oleaginosas importadas (soja e colza), tendo-se ainda estimado a redução de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) relativamente ao gasóleo fóssil. O biodiesel de girassol proveniente de cultivo em regadio apresenta impactes ambientais superiores apenas para a categoria acidificação terrestre, enquanto o de cultivo em sequeiro apresenta impactes ambientais superiores para as categorias alterações climáticas, eutrofização de água doce e eutrofização marinha. Quando não se considera a alteração do uso dos solos, o cultivo é a fase de ciclo de vida que apresenta maiores impactes ambientais (entre 65% e 99% dos impactes totais). A contabilização da AUS demonstrou que esta tem uma grande influência nas emissões de GEE, as quais variam entre -1 e 863 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup><sub>biodiesel</sub>. A comparação dos diferentes tipos de biodiesel (de girassol, colza e soja) com o gasóleo fóssil mostra que o biodiesel contribui para a redução de emissões de GEE, com percentagens de redução que variam entre 46% (biodiesel de colza) e 67% (biodiesel de soja). No que respeita à comparação dos diferentes tipos de biodiesel, verificou-se que as emissões de GEE mais elevadas ocorrem para o biodiesel de colza, obtendo-se as emissões mais reduzidas com biodiesel de soja.

**Palavras-Chave:** Alteração do uso dos solos, impactes ambientais, gases com efeito de estufa.

## 1. Introdução

Na Europa, o biodiesel produzido a partir de oleaginosas endógenas e importadas tem sido, desde há vários anos, a principal alternativa aos combustíveis fósseis no setor dos transportes, como resposta às políticas de incorporação de energia proveniente de fontes renováveis, EC (2009). Neste sentido, é importante avaliar a

sustentabilidade ambiental dos mesmos, para que se garanta a diversificação da origem da energia primária e a redução da dependência energética externa em relação aos produtos petrolíferos. Este artigo apresenta uma avaliação ambiental de ciclo de vida de biodiesel de girassol produzido em Portugal. Consideraram-se duas práticas agrícolas distintas (cultivo em regadio e cultivo em sequeiro), diferentes cenários de alteração do uso dos solos (AUS), o transporte, a extração e a transesterificação. Foi efetuada uma análise ambiental comparativa do biodiesel de girassol com o biodiesel proveniente de outras oleaginosas importadas (soja e colza), tendo-se ainda estimado a redução de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) relativamente ao gasóleo fóssil.

## **2. Métodos**

### **2.1. Modelo e inventário de ciclo de vida**

Foi desenvolvido um modelo e inventário de ciclo de vida para o biodiesel de girassol produzido em Portugal. O modelo inclui a alteração do uso dos solos (18 cenários alternativos da expansão do cultivo do girassol em regadio e em sequeiro), o cultivo do girassol, transporte, extração e neutralização do óleo e, por fim, a transesterificação. Na figura 1 apresenta-se o modelo de ciclo de vida de produção do biodiesel, bem como os principais consumos energéticos e mássicos. A produtividade do girassol é bastante distinta nos dois tipos de cultivo: 3000 kg ha<sup>-1</sup> para o cultivo em regadio e 650 kg ha<sup>-1</sup> para o cultivo em sequeiro, Gírio et al. (2010). Além das entradas referidas para a fase de cultivo, são também incluídos no modelo os resíduos do cultivo de girassol, os quais são deixados no solo. Relativamente às fases de extração, neutralização e transesterificação, considerou-se o modelo e inventário definido em Malça et al. (2013) (referente a uma unidade de produção de biodiesel em Portugal). A unidade funcional selecionada foi 1 MJ de biodiesel de girassol.

O modelo considerou as emissões causadas pela AUS, fertilização (emissões de fósforo e azoto), operações agrícolas, Nemecek et al. (2007), produção dos inputs do cultivo, extração, neutralização e transesterificação, Nemecek et al. (2007), Jungbluth (2007), Patyk e Reinhardt (1997) e Althaus et al. (2007), e atividades de transporte, Spielmann et al. (2007). Foram contabilizadas as seguintes emissões decorrentes da fertilização: i) emissões diretas e indiretas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) para o ar IPCC (2006); ii) volatilização da amónia (NH<sub>3</sub>) para o ar, IPCC (2006); iii) lixiviação e escoamento de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) para a água IPCC (2006); e iv) emissões de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) para o ar, Veldkamp e Keller (1997). As emissões da lixiviação e escoamento de fosfato (PO<sub>4</sub>) e a erosão de partículas que contêm fosforo (P) foram calculadas com base no modelo SALCA-P, Prasuhn (2006). Como a cadeia de produção do biodiesel é multifuncional (produzindo biodiesel, farelo e glicerina) e por recomendação da Diretiva das Energias Renováveis (RED), EC (2009), os resultados são apresentados com alocação energética. Os valores considerados para o poder calorífico inferior dos diferentes coprodutos foram os definidos em Biograce (2011) e JEC (2008).

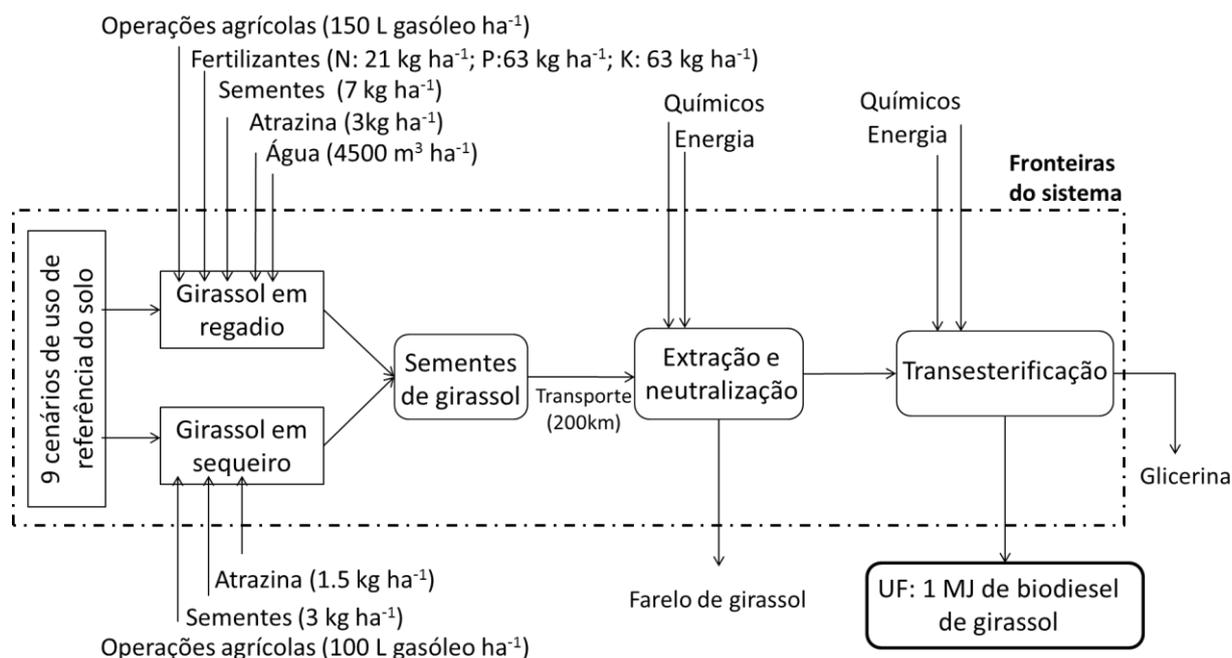


Fig 1. Fluxograma do ciclo de vida de produção de biodiesel de girassol com os principais dados de entrada.

## 2.2. Alteração do uso dos solos (AUS)

A variação da quantidade de carbono armazenado devido a AUS foi calculada através da metodologia definida pelo IPCC Tier 1, IPCC (2006), e pela diretiva RED, EC (2009). Foram considerados 18 cenários de AUS, baseados na combinação de 9 usos de referência do solo (5 cenários de prado e 4 cenários de culturas perenes) e 2 de uso atual do solo (girassol cultivado em regadio e em sequeiro). Na tabela 2 é apresentada a variação da quantidade de carbono causada pela conversão de áreas de prado e cultivos perenes em áreas de cultivo de girassol (regadio e sequeiro). A RED, EC (2009), recomenda a atribuição de uma bonificação de  $29 \text{ gCO}_2\text{eq MJ}^{-1}$  no cálculo das emissões de GEE quando há conversão de solos gravemente degradados. Este aspeto foi considerado na conversão de um prado gravemente degradado em cultivo de girassol, quer em regadio, quer em sequeiro.

Tabela 2. Variação na quantidade de carbono armazenado no solo devida a AUS.

Uso de referência do solo (R)		Emissões causadas pela conversão de R em A ( $\text{gCO}_2 \text{MJ}^{-1}_{\text{biodiesel}}$ )	
		Uso atual do solo (A)	
		Girassol de regadio	Girassol de sequeiro
Prado	Melhorado-am	40.0	199.8
	Melhorado-ae	51.8	256.9
	Grande degradação-am	-30.6	-20.8
	Intervenção mínima-am	26.5	138.6
	Degradação moderada-am	22.0	118.2
Cultura perene	Mobilização reduzida-ae (c/e)	163.9	774.7
	Mobilização reduzida -ae (s/e)	132.1	627.9
	Sem mobilização-ae (c/e)	174.5	823.6
	Sem mobilização-ae (s/e)	140.3	664.6

### 3. Resultados

O método de avaliação de impactos ambientais utilizado foi o ReCiPe, Goedkoop et al. (2009), tendo sido consideradas quatro categorias de impacto ambiental: alterações climáticas, eutrofização marinha, eutrofização de água doce e acidificação terrestre.

#### 3.1. Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV)

Na figura 2 são apresentados os resultados da AICV do biodiesel de girassol (com cultivo de regadio e sequeiro) para as categorias de impacto ambiental e métodos de alocação considerados. Comparando as duas alternativas de cultivo, verifica-se que o biodiesel de girassol com cultivo em regadio apresenta impactos ambientais superiores apenas para a categoria acidificação terrestre (+54%, devido à fertilização). O biodiesel de girassol com cultivo em sequeiro apresenta impactos ambientais superiores para as categorias alterações climáticas (+25%), eutrofização de água doce (+60%) e eutrofização marinha (+7%), essencialmente devido à baixa produtividade comparativamente ao biodiesel de girassol com cultivo de regadio.

O cultivo é a fase de ciclo de vida com maiores impactos ambientais, contribuindo entre 65% (alterações climáticas) e 99% (eutrofização marinha) no caso do biodiesel de girassol com cultivo em regadio e entre 74% (alterações climáticas) e 99% (eutrofização marinha) quando o cultivo é efetuado em regime de sequeiro. A segunda fase de ciclo de vida mais importante é a extração de óleo, que contribui para as alterações climáticas respetivamente com 18% (girassol em regadio) e 13% (girassol em sequeiro). A extração do óleo de girassol contribui em cerca de 13% para a categoria acidificação terrestre (cultivo em sequeiro) e menos de 6% para as outras categorias de impacto. As restantes fases de ciclo de vida (transporte, neutralização e transesterificação) representam em conjunto menos de 17% dos impactos.

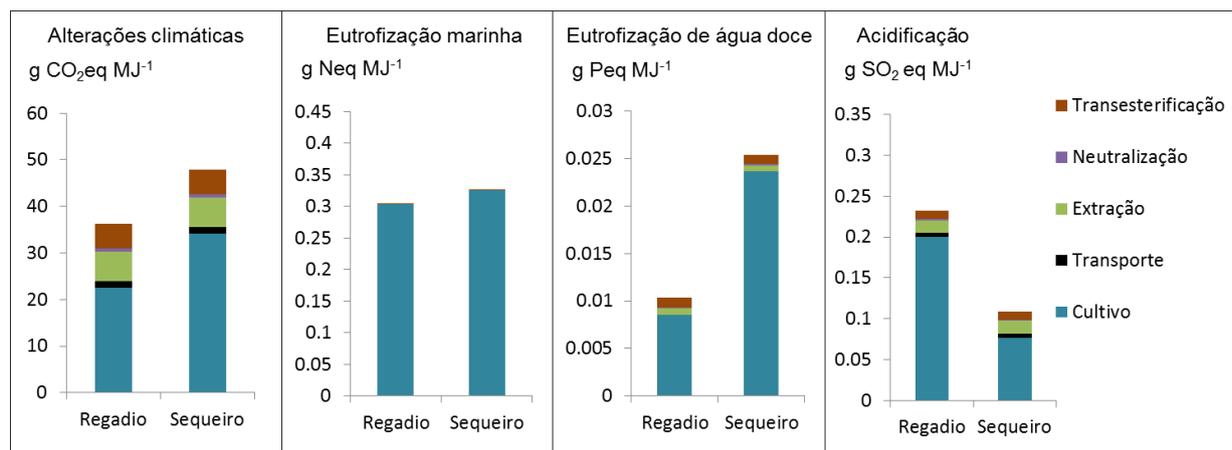


Figura 2. AICV do biodiesel de girassol, por fase de ciclo de vida e para alocação energética.

## 3.2. Alterações climáticas

### 3.2.1 Alteração do uso dos solos

Na figura 3 são apresentados os resultados das alterações climáticas associados à produção de 1 MJ de biodiesel de girassol, por fase de ciclo de vida e para os 18 cenários de AUS considerados (valores apresentados com alocação energética). Os resultados dependem significativamente do cenário de AUS considerado e variam entre -1 e 863 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup><sub>biodiesel</sub>. O impacto mais elevado verifica-se para a conversão de uma cultura perene (sem mobilização, com estrume) numa cultura de girassol em regime de sequeiro. O impacto mais baixo ocorre para a conversão de um prado com grande degradação em girassol cultivado em regadio. À exceção da conversão de um prado com grande degradação, onde ocorre armazenamento de carbono (na conversão em girassol de regadio obtém-se um armazenamento de 1g de CO<sub>2</sub>eq por MJ de biodiesel produzido), nos restantes cenários a AUS contribui entre 43% e 87% quando o uso de referência do solo é o prado e entre 82% e 95% quando o uso de referência do solo é uma cultura perene. À exceção do prado com grande degradação, o cultivo representa entre 3% e 35% dos impactos e as restantes fases de ciclo de vida representam na globalidade menos de 23%.

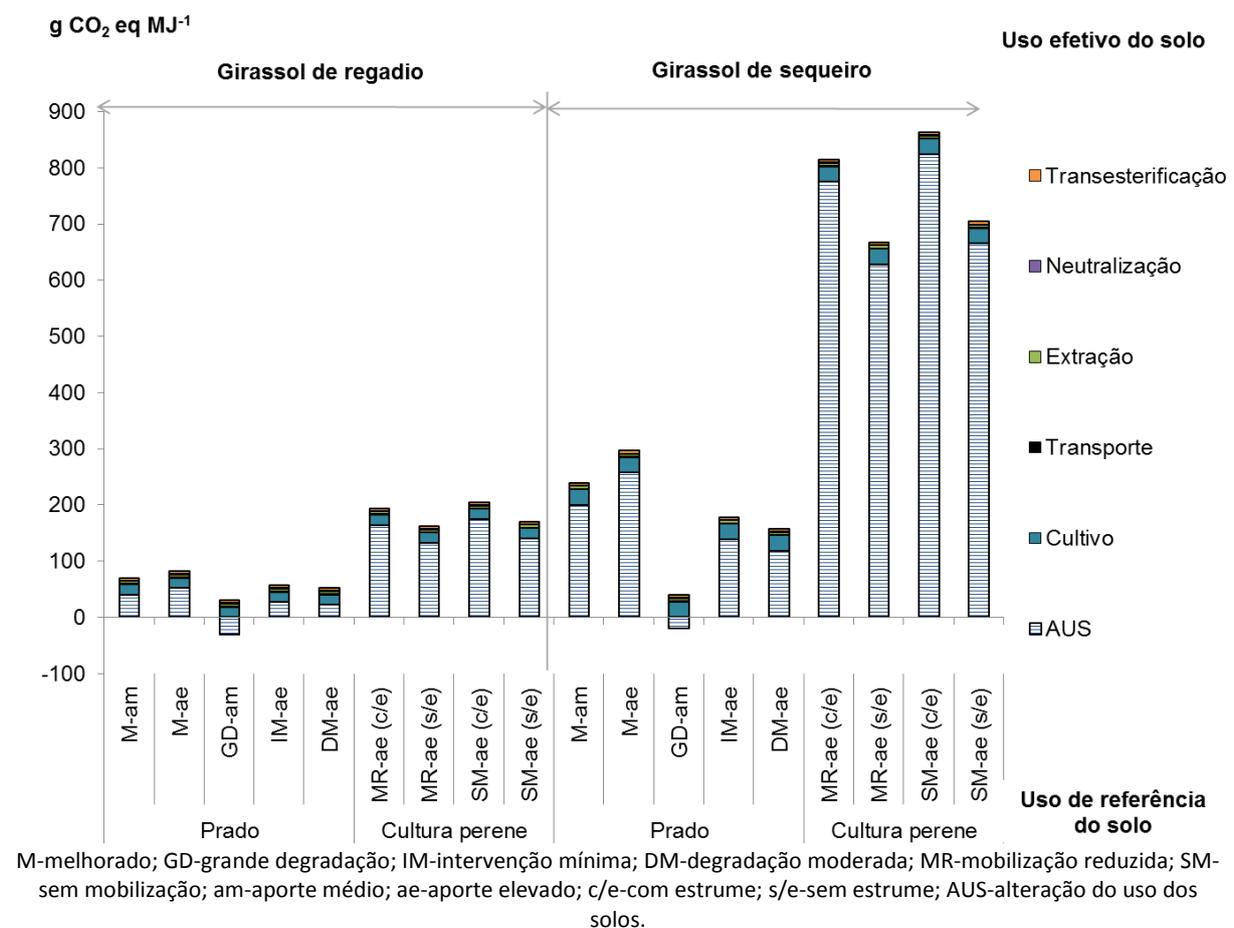


Figura 3. Intensidade de GEE por fase de ciclo de vida do biodiesel de girassol (aloc. energética).

### 3.2.2. Análise de sensibilidade: biodiesel vs gásóleo fóssil

Na figura 4 faz-se uma comparação entre biodiesel de diferentes origens (girassol produzido em Portugal, colza importada da Alemanha e França e soja importada do Brasil), Malça et al. (2013), e gásóleo fóssil. O gásóleo é o que apresenta maiores emissões de GEE por MJ produzido: 87,6 g CO<sub>2</sub>eqMJ<sup>-1</sup>, Biograce (2011). A produção de biodiesel apresenta as seguintes reduções de emissões de GEE comparativamente ao gásóleo: i) 46% para o biodiesel de colza; ii) 67% para o biodiesel de soja; e iii) 66% e 56% para o biodiesel de girassol, cultivado em regadio e sequeiro, respetivamente. Verifica-se que o biodiesel de girassol com cultivo em regadio apresenta sensivelmente as mesmas emissões que o biodiesel de soja e emissões 37% inferiores comparativamente ao biodiesel de colza. Relativamente ao biodiesel de girassol com cultivo em sequeiro, verifica-se que este apresenta impactes ambientais 25% superiores aos do biodiesel de soja e 17% inferiores aos do biodiesel de colza.

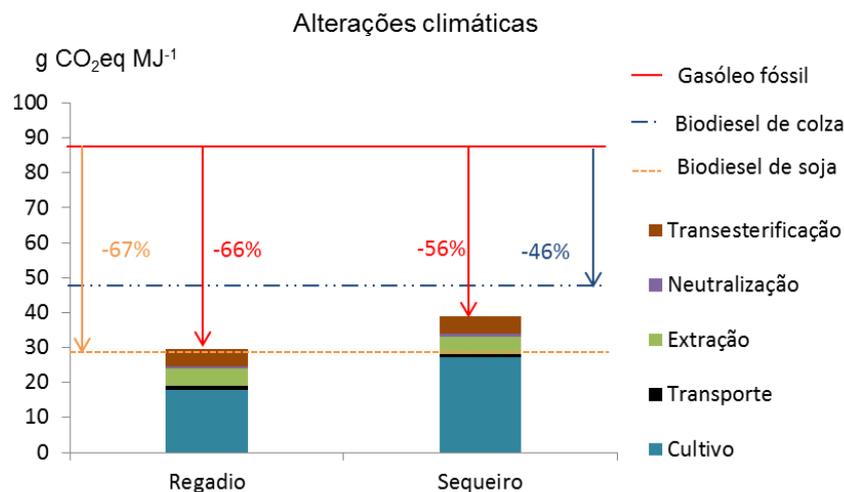


Fig.4. Biodiesel vs. gásóleo fóssil: comparação de emissões de ciclo de vida de GEE.

## 4. Conclusões

Neste artigo foi desenvolvida uma avaliação de ciclo de vida do biodiesel de girassol, considerando duas práticas agrícolas distintas (regadio e sequeiro). As diferenças entre o biodiesel de girassol cultivado em regadio e cultivado em sequeiro devem-se essencialmente à fertilização e à grande diferença de produtividades entre ambos. O biodiesel de girassol com cultivo em sequeiro apresenta impactes ambientais superiores para as categorias alterações climáticas (+25%), eutrofização de água doce (+60%) e eutrofização marinha (+7%). O biodiesel de girassol cultivado em regadio apresenta impactes ambientais superiores para a categoria acidificação terrestre (+54%). A alteração do uso dos solos revelou ser um aspeto crítico no que respeita às emissões de gases de efeito de estufa associadas à produção de biodiesel, com uma grande variação nos resultados obtidos, entre -1 e 863 g CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup><sub>biodiesel</sub>. A comparação de biodiesel produzido com diferentes matérias-primas permitiu concluir que o biodiesel de colza é o que apresenta maiores emissões de GEE e o biodiesel de soja as menores. No entanto, todas as cadeias de biodiesel consideradas – girassol, colza e soja – apresentam reduções efetivas de emissões

de GEE relativamente ao gásóleo fóssil, com percentagens de redução de 66% (regadio), 56% (sequeiro), 46% e 67%, respetivamente.

## Referências

- Althaus, H.J., Chudacoff, M., Hirschler, R., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A. (2007). Life Cycle Inventories of Chemicals. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 8, Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich.
- Biograce. (2011). Excel based biofuel GHG calculations. BioGrace Project – Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas (GHG) emissions in Europe – Version 4.
- Comissão Europeia (2009). —Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Jornal oficial da União Europeia L140/16 (2009).
- Gírio, F.M., Matos, C.T., Oliveira, C.A., Silva, L., Bogel-Lukasik, R., Aguiar, R. (2010). Typical green-house gas emissions in the cultivation phase of raw materials for the production of biofuels. Report from Portugal.
- Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm R. (2009). A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. 1st edition Report I.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Japan.
- ISO (International Organization for Standardization), ISO 14040. (2006). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, Genève, Switzerland.
- JEC. (2008). Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways, Wellto-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European Context. WELL-TO-TANK Report Version 3.0, Concawe JRC EUCAR.
- Jungbluth, N. (2007). Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report Ecoinvent data v2.0, Vol. 6, Swiss Centre for LCI, PSI, Dübendorf and Villigen.
- Malça, J., Castanheira, É., Figueiredo, F., Carvalho, R., Freire, F. (2013). Comparative GHG assessment of biodiesel produced from rapeseed, soybean and sunflower. Energy for Sustainability 2013, Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, 8-10 September 2013, Coimbra, Portugal.
- Nemecek, T., Kägi, T., Blaser, S. (2007). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 15, Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich.
- Patyk, A., Reinhardt, G. A. (1997). Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen. Braunschweig/Wiesbaden, Germany: Vieweg Verlagsgesellschaft.
- Prasuhn, V. (2006). Erfassung der PO<sub>4</sub>-Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor. AgroscopeReckenholz - Tänikon ART.
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M. (2007). Transport services. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 14, Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich.
- Veldkamp, E., Keller, M. (1997). Fertilizer-induced nitric oxide emissions from agricultural soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems, vol. 48, pp. 69-77.