

Avaliação de ciclo de vida do óleo de girassol produzido em Portugal

F. Figueiredo^(a), É. G. Castanheira^(a), F. Freire^(a)

^(a) ADAI-LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Pólo II Campus, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, *fausto.freire@dem.uc.pt*

Sumário

O óleo de girassol representou em Portugal cerca de 44% do consumo global de gorduras e óleos vegetais em 2011. Este artigo apresenta uma avaliação de ciclo de vida (ACV) do óleo de girassol produzido em Portugal, avaliando os efeitos diretos de diferentes cenários de alteração do uso dos solos (AUS) e considerando duas práticas de cultivo do girassol: regadio e sequeiro. Os resultados obtidos mostram que as emissões na categoria de alterações climáticas (AC) variam entre 1 kg CO₂eq L⁻¹_{óleo} (conversão de um prado com grande degradação em girassol em regadio, alocação económica) e 38 kg CO₂eq L⁻¹_{óleo} (conversão de uma cultura perene, sem mobilização, com estrume, em girassol cultivado em sequeiro) (incluindo os resultados s/ AUS). As AUS contribuem entre 43% a 92% para as AC nos diferentes cenários analisados. O óleo produzido com girassol de sequeiro tem resultados superiores ao girassol de regadio no que respeita às categorias alterações climáticas e eutrofização marinha. Pelo contrário, os resultados nas categorias de acidificação terrestre e eutrofização de água doce são superiores no óleo produzido com girassol de regadio. A análise de sensibilidade aos métodos de alocação demonstrou que os menores resultados são obtidos quando a alocação mássica é adotada e os maiores quando se utiliza alocação económica.

Palavras-chave: Alteração do uso dos solos (AUS), cultivo, impactes ambientais, regadio, sequeiro

1. Introdução

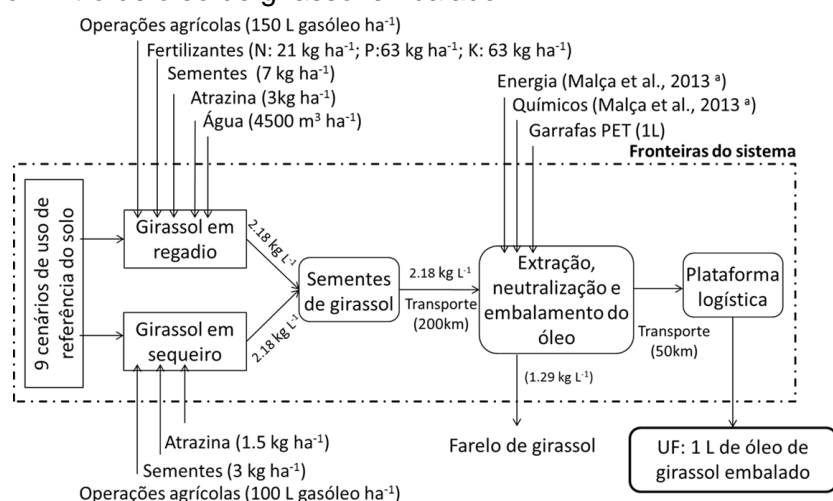
O óleo de girassol representou em Portugal cerca de 44% do consumo global de gorduras e óleos vegetais (incluindo o azeite) em 2011 (INE, 2013). O óleo de girassol é também utilizado como matéria-prima para a produção de biodiesel, em especial nos países do sul da Europa (Kallivrossis, 2002). A resposta às políticas Europeias de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis (EC, 2009/28/CE) pode potenciar um aumento da área de cultivo do girassol em Portugal, sendo importante avaliar os impactes associados a alterações do uso dos solos (AUS) e identificar os cenários mais favoráveis. O principal objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação de ciclo de vida (ACV) do óleo de girassol produzido em Portugal, tendo em conta os efeitos diretos da AUS e considerando duas práticas de cultivo do girassol: em regadio e em sequeiro.

2. Métodos

2.1. Modelo e Inventário de Ciclo de Vida

Foi desenvolvido um modelo e inventário de ciclo de vida para o óleo de girassol produzido em Portugal. O modelo inclui a AUS (18 cenários alternativos) necessária para a expansão do cultivo do girassol em regadio e em sequeiro, o cultivo do girassol, extração, tratamento e embalagem do óleo e por fim o transporte (consideraram-se distâncias médias entre o cultivo no Alentejo, as fábricas extratoras na zona de Lisboa e as plataformas logísticas). Na figura 1 apresenta-se o modelo de ciclo de vida de produção de óleo de girassol, bem como os principais dados de entrada. Importa referir que os dois tipos de cultivo de girassol apresentam produtividades bastante distintas: 3000 kg ha⁻¹ para o cultivo em regadio e 650 kg ha⁻¹ para o cultivo em sequeiro (Gírio et al. 2010). Além de todas as entradas referidas para a fase de cultivo, são também incluídos no modelo, os resíduos do cultivo de girassol que são deixados no solo (contribuindo com azoto). Relativamente à fase de extração e

neutralização considerou-se o modelo definido por Malça et al. 2013. A unidade funcional selecionada foi 1 litro de óleo de girassol embalado.



a) [O modelo de ciclo de vida apresentado exclui a energia necessária à refinação e embalagem do óleo]

Figura 1. Fluxograma do ciclo de vida de produção de óleo de girassol com os dados de entrada principais.

2.2. Alteração do Uso dos Solos (AUS)

A alteração de carbono armazenado devido a AUS (e_i , kgCO₂eq kg⁻¹_{óleo}) foi calculada através da metodologia definida pelo IPCC Tier 1 (IPCC, 2006) e pela Diretiva das Energias Renováveis (EC, 2009). Foram considerados 18 cenários de AUS, baseados na combinação de 9 usos de referência do solo (5 cenários de prado e 4 de culturas perenes) e 2 de uso atual do solo (girassol cultivado em regadio e sequeiro). Na tabela 2 são apresentadas a variação de carbono causada pela conversão de áreas de prado e cultivos perenes em áreas de cultivo de girassol (regadio e sequeiro).

Tabela 1. Alterações do carbono armazenado devidas a AUS.

Uso do solo de referência (R)	Emissões causadas pela conversão de R em A (kgCO ₂ /kg ⁻¹ _{sementes})	
	Uso efetivo (A) girassol de regadio	Uso efetivo (A) girassol de sequeiro
Melhorado-am	0.98	4.9
Melhorado-ae	1.27	6.3
Prado Grande degradação-am	-0.04	0.2
Intervenção mínima-am	0.65	3.4
Degradação moderada-am	0.54	2.9
Mobilização reduzida-ae (c/e)	4.02	19.0
Cultura Mobilização reduzida -ae (s/e)	3.24	15.4
perene Sem mobilização-ae (c/e)	4.28	20.2
Sem mobilização-ae (s/e)	3.44	16.3

am-aporte médio; ae-aporte elevado; c/e-com estrume; s/e-sem estrume.

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 e da extração (Nemecek et al. 2007, Jungbluth, 2007, Patyk e Reinhardt 1997 e Althaus et al., 2007), produção da garrafa PET (Hischier, 2007) e dos transportes (Spielmann et al., 2007). As emissões contabilizadas decorrentes da fertilização foram: i) emissões diretas e indiretas de óxido nitroso (N₂O) para o ar (IPCC, 2006); ii) volatilização da amónia (NH₃) para o ar (IPCC, 2006); iii) lixiviação e escoamento do nitrato (NO₃⁻) para a água (IPCC, 2006); iv) emissões de óxidos de azoto (NO_x) para o ar (Veldkamp e Keller 1997). As emissões da lixiviação e escoamento do fosfato (PO₄) e a erosão de partículas que contêm fósforo (P) foram calculadas com base no modelo SALCA-P (Prasuhn, 2006).

2.3. Multifuncionalidade

A multifuncionalidade é considerada um aspeto crítico em estudos de avaliação de ciclo de vida (Malça e Freire 2011). Foi realizada uma análise de sensibilidade relativamente à influência do método de alocação nos resultados (ISO 14044), tendo sido considerados três métodos: mássico, energético e económico. Os respetivos fatores de alocação, assim como preços e poder calorífico inferior (PCI) dos co-produtos encontram-se apresentados na tabela 1.

Tabela 2. Fatores de alocação para o óleo de girassol (PCI: Poder calorífico inferior).

Co-produto	Alocação mássica		Alocação energética ^(a)		Alocação Económica ^(b)	
	Fator	PCI (MJ kg ⁻¹)	Fator	Preço (US\$ t ⁻¹)	Fator	
Extração do óleo	Óleo	40.80%	36	63.30%	1218	76.70%
	Farelo	59.20%	14.4	36.70%	255	23.30%

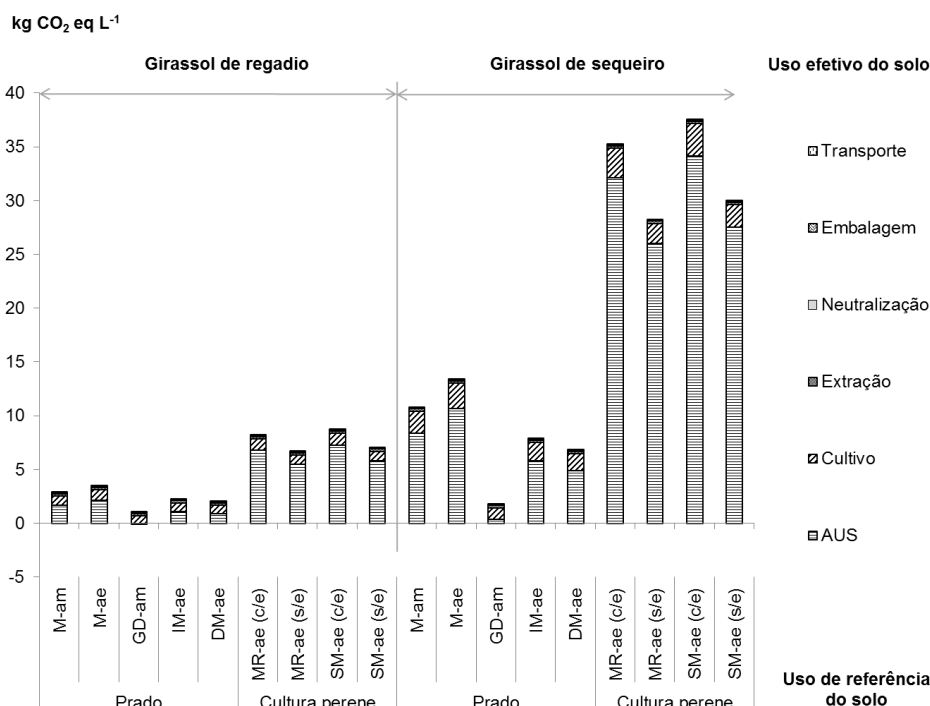
^(a) [Biograce, 2011; JEC, 2008]; ^(b) [FAO, 2013]

3. Resultados

A avaliação de impactes de ciclo de vida (AICV) foi realizada com o método ReCiPe (Goedkoop et al., 2009) para quatro categorias de impacte ambiental: alterações climáticas, eutrofização marinha, eutrofização de água doce e acidificação terrestre. Os resultados obtidos na categoria alterações climáticas para os diferentes cenários de AUS e cultivo de girassol são apresentados na subsecção 3.1. (as emissões de carbono e nitratos devidas à AUS contribuem para as alterações climáticas e eutrofização marinha mas, por limitações de espaço, apenas se apresentam os resultados das alterações climáticas para os diferentes cenários de AUS). Na subsecção 3.2. apresentam-se os resultados para todas as categorias de impacte analisadas e para os diferentes cenários de cultivo, considerando os três tipos de alocação.

3.1. Alterações climáticas: cenários de AUS e cultivo

Na figura 2 são apresentados as alterações climáticas associadas a 1 litro de óleo de girassol, por fase de ciclo de vida, para os 18 cenários de AUS (valores apresentados com alocação económica). Os resultados dependem significativamente (1 e 38 kg CO₂eq L⁻¹_{óleo}) do cenário de AUS considerado. O impacte mais elevado verifica-se para a conversão de uma cultura perene (sem mobilização, com estrume) em girassol cultivado em sequeiro. Por outro lado, o impacte 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 dióxido de carbono, na conversão em girassol de regadio), nos restantes cenários a AUS contribui entre 44%-79% quando o uso de referência do solo é o prado e de 82%-92% quando o uso de referência do solo é uma cultura perene. À exceção do prado com grande degradação, o cultivo representa entre 18% a 37% dos impactes e as restantes fases de ciclo de vida representam na globalidade menos de 18% para os restantes cenários.



M-melhorado; GD-grande degradação; IM-intervenção mínima; DM-degradação moderada; MR-mobilização reduzida; SM-sem mobilização; am-aporte médio; ae-aporte elevado; c/e-com estrume; s/e-sem estrume; AUS-alteração do uso dos solos.

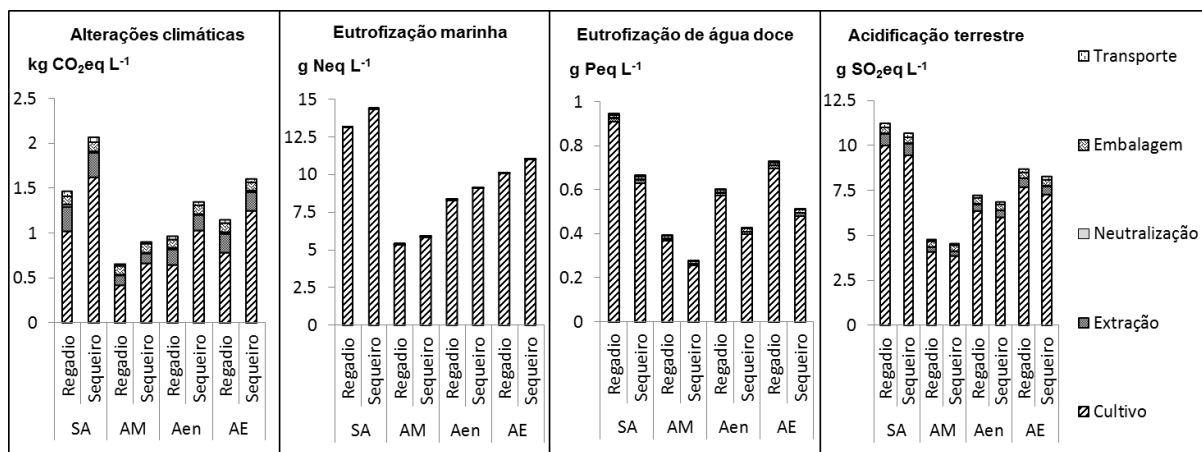
Figura 2. Intensidade de GEE por fase de ciclo de vida do óleo de girassol (Alo. económica).

3.2. Avaliação de impactes de ciclo de vida (AICV)

Na figura 3 são apresentados os resultados da AICV do óleo de girassol (com cultivo de regadio e sequeiro) para quatro categorias de impacte ambiental, três métodos de alocação e sem se considerar alocação. O óleo de girassol com cultivo em regadio apresenta impactes ambientais superiores para as categorias acidificação terrestre (+5%) (devido à fertilização) e eutrofização de água doce (+30%) (devido à produção e utilização do fertilizante superfosfato triplo). O óleo de girassol com cultivo em sequeiro apresenta impactes ambientais superiores para as categorias alterações climáticas (+29%) e eutrofização marinha (+9%), essencialmente devido à baixa produtividade comparativamente ao óleo de girassol com cultivo de regadio (650 kg ha⁻¹ para o girassol de sequeiro e 3000 kg ha⁻¹ para o girassol de regadio).

Para todas as categorias, o cultivo é a fase de ciclo de vida que apresenta maiores impactes, contribuindo entre 71% (alterações climáticas) a 99% (eutrofização marinha) para o óleo de girassol com cultivo em regadio e entre 80% (alterações climáticas) a 99% (eutrofização marinha) para a situação de cultivo em sequeiro. À exceção da categoria alterações climáticas, onde a extração representa respetivamente 18% e 13% dos impactes totais para o óleo de girassol com cultivo em regadio e sequeiro, para as restantes categorias esta fase representa menos de 10% dos impactes totais. A embalagem do óleo de girassol representa menos de 6% dos impactes em todas as categorias. O transporte associado ao óleo de girassol revelou ter pouco significado nos impactes ambientais, pois são curtas as distâncias percorridas. No entanto, se fossem analisados cenários de exportação, os resultados poderiam ser diferentes.

No que respeita aos métodos alocação, verifica-se que a alocação económica é a que apresenta os impactes ambientais mais elevados (devido ao elevado preço do óleo de girassol quando comparado com o farelo), seguindo-se a alocação energética e, por fim, a alocação mássica. Os impactes para a alocação económica são entre 44% a 47% superiores comparativamente à alocação mássica e 16% a 17% superiores à alocação energética. Relativamente à alocação energética, os seus impactes são entre 32% a 35% superiores à alocação mássica.



SA- Sem alocação; AM-Alocação mássica; AEn-Alocação energética; AE-Alocação económica

Figura 3. AICV por fase de ciclo de vida do óleo de girassol com três métodos de alocação.

4. Conclusões

Neste artigo foi apresentada uma ACV do óleo de girassol com duas práticas agrícolas distintas (regadio e sequeiro). Relativamente à categoria alterações climáticas do óleo de girassol, obteve-se um elevado intervalo de variação (1 – 38 kg CO₂eq L⁻¹_{óleo}) essencialmente devido à AUS, que representa entre 44% a 92% das emissões totais de ciclo de vida, à exceção da conversão de um prado com grande degradação em girassol cultivado em regadio onde ocorre um armazenamento de carbono. O menor impacte de alterações climáticas verifica-se para a conversão de um prado (grande degradação) em girassol cultivado em regadio. Em contrapartida, as emissões mais elevadas verificam-se para a conversão de uma cultura perene (sem mobilização, com estrume) em girassol cultivado em sequeiro. Quando a AUS não é considerada, o cultivo é a fase de ciclo de vida com maiores impactes ambientais, (71% a 99%). O óleo de girassol com cultivo em sequeiro apresenta impactes ambientais superiores para as categorias alterações climáticas (+29%) e eutrofização marinha (+9%). O óleo com cultivo em regadio apresenta impactes ambientais superiores para as categorias eutrofização de água doce (+30%) e acidificação terrestre (+5%). A análise de sensibilidade efetuada aos métodos de alocação permitiu concluir que os menores impactes ambientais ocorrem para a alocação mássica e os maiores para a alocação económica.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do projeto ECODEEP (Eco-eficiência e Eco-gestão no setor Agro-Industrial, FCOMP-05-0128-FEDER-018643) e à Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito dos projetos MIT/SET/0014/2009, PTDC/SEN-TRA/117251/2010.

Referências

- Althaus et al., - **Life Cycle Inventories of Chemicals**. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 8 (2007), Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich. [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.ecoinvent.org>
- Biograce, Excel based biofuel GHG calculations. BioGrace Project – Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas (GHG) emissions in Europe – Version 4, (2011).[Consult. Maio. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.biograce.net/>.
- European Commission - Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. **Official Journal of the European Union**, L140/16 (2009).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). [Consult. Maio. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.fao.org/economic/est/prices>.

Gírio, F. M. Matos, C.T. Oliveira, C.A. Silva, L. Bogel-Lukasik, R. Aguiar, R - **Typical greenhouse gas emissions in the cultivation phase of raw materials for the production of biofuels** - report from Portugal drawn up pursuant to Article 19(2) of Directive 2009/28/EC. 1st edition (2011). [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/emissions_en.htm.

Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm R. - **ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. 1st edition Report I (2009). Disponível em WWW: <http://www.lcia-recipe.net>

Hischier, R. **Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Papers**. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 11 (2007), Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich. [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.ecoinvent.org>

INE, I.P. - **Estatísticas Agrícolas 2012**. Lisboa-Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013. ISBN 978-989-25-0198-7.

IPCC - **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Hayama, Japan, (2006). [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

ISO (International Organization for Standardization), ISO 14040 - **Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework**, Genève, Switzerland, 2006.

JEC - **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, (2008), Concawe JRC EUCAR. [Consult. Maio. 2013]. Disponível em WWW: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT%20App%202%20v30%20181108.pdf>

Jungbluth, N. - **Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen**. Final report Ecoinvent data v2.0, Vol. 6 (2007), Swiss Centre for LCI, PSI, Dübendorf and Villigen. Disponível em WWW: <http://www.ecoinvent.org>

Kallivroussis, L. Natsis, A. Papadakis, G - The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece. **Biosystems Engineering**. doi:10.1006/bioe.2001. 81: 3 (2002), 347–354.

Malça, J. Freire, F - Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, 15(1): (2011), 338-351.

Malça, J. Castanheira, E. Figueiredo, F. Carvalho, R. Freire, F - 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. - **Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems**. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 15 (2007), Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich. [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.ecoinvent.org>

Patyk, A. Reinhardt, G. A. - **Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen**. Braunschweig/Wiesbaden, Germany: Vieweg Verlagsgesellschaft, (1997).

Prasuhn, V. - **Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor**. AgroscopeReckenholz - Tänikon ART, (2006).

Veldkamp, E. Keller, M. - Fertilizer-induced nitric oxide emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, vol. 48 (1997), 69-77.

Spielmann, M. Bauer, C. Dones, R. Tuchs Schmid, M. **Transport services**. Ecoinvent report version 2.0, Vol. 14 (2007), Swiss Centre for LCI, ART, Duebendorf and Zurich. [Consult. 28 Ago. 2013]. Disponível em WWW: <http://www.ecoinvent.org>