

# **Análise custo-benefício da utilização de filmes biodegradáveis vs filmes de polietileno: uma aplicação concreta a uma cultura de ciclo curto**

**Manuel Eduardo Paiva dos Santos**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Agronómica**

Orientador: Professora Doutora Elizabeth Fernandes Duarte

Coorientador: Professor Doutor José Manuel Lima Santos

## **Juri**

Presidente: Doutora Cristina Maria Moniz Simões de Oliveira, Professora Associada com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor José Manuel Osório de Barro de Lima e Santos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Francisco Ramos Lopes Gomes da Silva, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## **Agradecimentos**

Antes de mais, quero agradecer à minha família, pedra basilar da minha existência, pelo apoio e motivação que sempre me deram ao longo da vida e em especial aos meus pais, que sempre me proporcionaram todas as condições para seguir e atingir as minhas aspirações académicas.

À Valorfito, por me ter agraciado com a Bolsa Valorfito Armando Murta para a realização desta tese. Foi sem dúvida um reconhecimento que me instou a dar o melhor de mim mesmo e que ajudou a tornar este projeto realidade.

À Professora Doutora Elizabeth Fernandes, quem tive o gosto de conhecer devido à realização deste trabalho, e que desde o primeiro ao último momento acreditou em mim e na ideia. Sem o seu acolhimento, tão especial, esta dissertação não existiria.

Ao Professor Doutor José Lima Santos, um dos professores que mais me inspirou ao longo do meu percurso no ISA, pelo seu espírito crítico e pelos vastos conhecimentos que me transmitiu, que tornaram a realização deste trabalho um desafio tão interessante.

À equipa ligada ao AGROBIOFILM, especialmente ao Artur, pela sua disponibilidade contínua e incansável, que tanto contribuiu para a realização desta dissertação.

Por último, uma palavra de reconhecimento para todos aqueles, professores ou colegas que, não tendo contribuído directamente para este trabalho, desempenharam um papel fundamental na minha formação académica e pessoal.

## Resumo

Esta dissertação surge no âmbito do projeto AGROBIOFILM e consiste numa análise custo-benefício da utilização de filmes biodegradáveis em oposição aos filmes de polietileno.

Esta análise foi aplicada a uma cultura de ciclo curto, o pimento, sendo suportada com dados obtidos ao longo de um ensaio a decorrer no âmbito do referido projeto. Os impactos ambientais associados foram valorados e integrados nos resultados. Os principais objetivos eram: verificar qual dos materiais é mais atrativo para o produtor; verificar qual dos materiais é preferível para a sociedade como um todo; verificar se as políticas existentes são coerentes com os resultados obtidos nos pontos anteriores.

Concluiu-se que, beneficiando dos incentivos existentes, o plástico biodegradável é mais económico para o agricultor. Caso contrário, nas condições atuais, o filme de polietileno continua a ser a opção menos onerosa.

Em termos sociais, a utilização do plástico biodegradável parece ser preferível, pelo valor superior dos impactos associados ao filme de polietileno. Os incentivos existentes superam o custo externo associado à utilização do polietileno, mas podem justificar-se tendo em conta as características do setor.

Para aumentar a adesão dos agricultores aos plásticos biodegradáveis, seria recomendável rever a arquitetura das medidas existentes e promover a nova tecnologia.

**Palavras-chave:** filme de cobertura, AGROBIOFILM, biodegradável, pimento, análise custo-benefício, valoração

## **Abstract**

This work arises under the scope of AGROBIOFILM, and aimed to perform a cost-benefit analysis (CBA) on the use of biodegradable mulch films in opposition to polyethylene mulch films.

CBA is applied to a short cycle crop, bell-pepper, and is supported with data obtained from a trial in course under the referred project. Environmental impacts are valued and integrated in the results. The main objectives are: i) verify which material is more attractive to the pepper producer; ii) check which material is preferable for society as a whole; iii) check if existing policies are consistent with the previous results.

Conclusions are that benefiting from the existing incentives; biodegradable plastics are more economical for the farmer. Otherwise, under current conditions, the polyethylene mulch film remains the cheapest option.

In social terms, the use of biodegradable films is preferable due to the value of the additional impacts associated with the use of polyethylene. Existing incentives, although higher than the social optimum, can be justified by the characteristics of the sector and the dynamic effect they detonate. To increase adherence of farmers to biodegradable plastics would be useful to review the architecture of existing measures and to promote the new technology.

**Key words:** mulch, AGROBIOFILM, biodegradable, pepper, cost-benefit analysis, valuation

## Extended Abstract

This work aimed to perform a cost-benefit analysis (CBA) on the use of biodegradable mulch films in opposition to polyethylene mulch films. It arises under the scope of AGROBIOFILM, a project devoted to the creation and development of biodegradable mulch films. CBA methodology is applied to a short cycle crop, bell-pepper for industrial transformation, and is supported with data obtained from a trial in course in Alpiarça, Portugal, under the referred project. The main environmental impacts are valued and integrated in the results. This valuation includes CO<sub>2</sub> emissions, non-renewable energy use and eutrophication potential. These indicators came from a Life Cycle Assessment performed on an existent publication. The main objectives of the CBA are: i) verify which material is more attractive to the pepper producer; ii) check which material is preferable for society as a whole; iii) check if existing policies are consistent with the previous results.

Conclusions are that, under the current conditions, if the farmer does not belong to a producer's organization that chooses the existent incentive to buy biodegradable mulch films, the polyethylene films remains the cheapest option. Fulfilling this requirement and benefiting from existing incentives; biodegradable plastics are more economical for the farmer. Other factors that influence the farmer's decision are related to human resources management and previous negative experiences with degradable mulch films.

In social terms, the use of biodegradable films is preferable due to the value of the additional impacts associated with the use of polyethylene. These additional impacts were estimated in 40,2€ per ha in terms of CO<sub>2</sub>eq emissions, 11,9€ per ha derived from the use of non-renewable energy in primary energy production and 7,7€ per ha due the eutrophication potential. Comparing the total amount of incentives with the total amount of impact estimated, a high cost-benefit ratio is founded. However, existing incentives, although higher than the social optimum, can be justified by the characteristics of the sector and the dynamic effect they induce.

In the short run, to increase adherence of farmers to biodegradable plastics would be useful to review the architecture of existing measures and to promote the new technology. It also should be considered the integration of polyethylene mulch film in an integrated waste management system such as Valorfito. Additionally, there are other structural factors that could lead to an increase on the use of biodegradable mulch films. The main ones are the consumer's pressing to adopt more responsible and sustainable agricultural practices and the adoption of machinery that requires the use of this kind of material.

# Índice Geral

LISTA DE FIGURAS .....	1
LISTA DE TABELAS .....	1
LISTA DE ABREVIATURAS.....	2
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Plasticultura .....	6
2.1.1. O plástico – origens .....	6
2.1.2. O plástico – atualidade .....	7
2.1.3. O plástico na agricultura – Plasticultura .....	7
2.1.4. O filme plástico como cobertura do solo.....	8
2.1.5. A cultura do pimento.....	10
2.2. Material de base biológica e o desafio da sustentabilidade .....	11
2.2.1. O carbono, o efeito estufa e o aquecimento global .....	11
2.2.2. A mudança de paradigma na utilização de materiais .....	13
2.2.3. Material de base biológica .....	14
2.2.4. Material biodegradável .....	14
2.2.5. A caminho de uma agricultura mais sustentável.....	15
2.3. Análise custo-benefício, ciclo de vida e incerteza.....	16
2.3.1. A pertinência de uma Análise Custo Benefício.....	16
2.3.2. Valoração económica dos custos e benefícios.....	17
2.3.2. A necessidade de uma análise ao ciclo de vida.....	22
2.3.3. Análise de sensibilidade .....	23
3. METODOLOGIA .....	24
3.1. Estudo de caso e recolha de informação.....	24
3.2. Materiais .....	25
3.2.1. Filme convencional.....	27
3.2.2. Filme biodegradável.....	27
3.3. Método - Análise custo-benefício .....	28
3.3.1. Definição da política.....	28
3.3.2. Principais impactos e sua relevância .....	28
3.3.3. Quantificação dos impactos relevantes .....	30
3.3.5. Análise de sensibilidade .....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1. Políticas em vigor .....	34
4.2. Ótica do agricultor .....	35
4.3. Ótica do decisor político.....	36
4.4. Análise de sensibilidade.....	38
4.4.1. Ótica do agricultor.....	38
4.4.2. Ótica do decisor político .....	39
4.5. Outras considerações.....	40
5. CONCLUSÕES .....	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ALGUNS COMPONENTES DE PLÁSTICO, UTILIZADOS NA AGRICULTURA.....	8
FIGURA 2.2 O PLÁSTICO COMO COBERTURA DO SOLO .....	10
FIGURA 2.4. EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE COMBUSTÃO NO PLANETA TERRA .....	11
FIGURA 2.5. O CICLO TRADICIONAL DO CARBONO E A MUDANÇA DE PARADIGMA.....	13
FIGURA 2.6. EXEMPLIFICAÇÃO DE UMA CURVA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> EQ. 19	
FIGURA 3.1. PLANTAÇÃO MANUAL DO PIMENTO.....	25
FIGURA 3.2. RECOLHA DO PLÁSTICO UTILIZADO .....	26
FIGURA 4.1. ESTRUTURA DE CUSTOS DA UTILIZAÇÃO DE CADA FILME (EM %).....	38

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1. PRINCIPAIS INDICADORES RESULTANTES DA ACV .....	32
TABELA 3.2. VALORES DE IMPACTOS UTILIZADOS E SUA ORIGEM .....	33
TABELA 4.1. CUSTOS E BENEFÍCIOS ASSOCIADOS AO MATERIAL DE COBERTURA DO SOLO.....	35
TABELA 4.2. VALORAÇÃO DOS IMPACTOS ASSOCIADOS À UTILIZAÇÃO DO PE VS ABF .....	36
TABELA 4.3. ACB NA ÓTICA DO DECISOR POLÍTICO .....	37
TABELA 4.4. IMPACTO ASSOCIADO À UTILIZAÇÃO DO PE SEGUNDO VÁRIAS PERSPETIVAS.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABF – Agrobiofilm®

ACB – Análise custo-benefício

ASTM – American Society for Testing and Materials

CEN – Comité Europeu de Normalização

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DIN – Deutsches Institut für Normung

EN – Estratégia Nacional

EUA – Estados Unidos da América

FHWA – Federal Highway Administration

GEE – Gases com efeito estufa

GJ – Giga Joule (Sistema Internacional)

ISO – International Organization for Standardization

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado

LVT – Lisboa e Vale do Tejo

MT – Milhões de toneladas

Mt – Milhares de toneladas

MPB – Modo de Produção Biológico

NO<sub>3</sub> – Nitratos

OMAIAA – Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agroalimentares

OP – Organizações de Produtores

PBD – Polietileno de baixa densidade

PRODI – Modo de Produção em Proteção Integrada

PE – Polietileno

PO – Programa Operacional

UE – União Europeia



# 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nos primórdios da Humanidade, a procura de alimentos era a diretriz que orientava tanto as decisões quotidianas como as questões fulcrais da vida humana, nomeadamente em termos geográficos, sociais e mesmo culturais. Inicialmente praticada na base da subsistência, a agricultura passou por diversas fases e transformações possibilitadas pelo engenho humano aliado ao conhecimento da Natureza, desempenhando um papel preponderante no desenvolvimento económico e social. Esta feliz união fez emergir a força motriz que permitiu uma constante investigação e desenvolvimento de novas técnicas que fossem de encontro às necessidades contemporâneas. Foi o caso da descoberta do petróleo enquanto recurso energético e matéria-prima, que veio ao encontro das necessidades energéticas, e de todos os seus derivados e inúmeras aplicações nos mais variados setores de atividade, que possibilitaram um desenvolvimento sem precedentes na História da Humanidade. De entre este universo de aplicações, algumas revestem-se de especial importância. No que toca a agricultura, um claro exemplo foi a utilização de plástico nos campos agrícolas, em estufas e em filmes de cobertura ou ainda noutras aplicações. Estas práticas culturais ditaram uma pequena revolução na forma como se produzem alguns dos principais alimentos. Esta utilização, conhecida como plasticultura, abrange um vasto conjunto de técnicas, a maioria das quais continua a ter grande importância hoje em dia. Tal é o caso da aplicação de filmes de plástico como cobertura - uma técnica e uma modalidade sobre os quais se debruça este trabalho.

Os objetivos das diferentes práticas agrícolas têm sofrido profundas alterações ao longo do tempo. De uma ótica de subsistência passou-se para uma ótica de produção de quantidades máximas, sendo que hoje em dia o enfoque na qualidade e inocuidade ambiental do produto final e do processo produtivo é cada vez maior. Esta evolução é ditada sobretudo por um consumidor cada vez mais atento à qualidade dos alimentos que ingere e também mais informado sobre o mundo que o rodeia. Gradualmente, as pessoas têm tomado consciência que vivem num planeta em que quase todos os recursos são limitados e escassos, preocupando-se com a sua gestão e adquirindo hábitos mais sustentáveis. Não obstante, o ritmo desta alteração de comportamentos não tem sido o suficiente para garantir a mitigação dos impactos negativos decorrentes da atividade humana, persistindo e agravando-se problemas como o aquecimento global e todas as suas consequências. Para inverter esta tendência, têm sido estudadas e aplicadas novas tecnologias e políticas a todos os níveis, desde o global até ao local, de modo a encontrar soluções que garantam a sustentabilidade e a equidade intergeracional na partilha dos recursos que possibilitam a vida no planeta Terra.

No âmbito dessa busca global de soluções, surgiu o projeto AGROBIOFILM, um consórcio europeu de empresas, universidades e utilizadores finais, que procurou encontrar uma alternativa viável e mais sustentável aos filmes de cobertura de solos convencionais, através do desenvolvimento de novos filmes derivados de matérias-primas biodegradáveis. Os resultados alcançados foram bastante satisfatórios. Importava, no entanto, desenvolver uma análise custo-benefício (ACB) da utilização desta tecnologia, em oposição à convencional, visando obter resultados mais adaptados à realidade nacional e suportados em dados reais obtidos ao longo do projeto. Esta dissertação pretende colmatar esta lacuna, desenvolvendo uma ACB no caso concreto de uma cultura de ciclo curto, o pimento para processamento industrial. Este estudo tem por objetivos principais:

1) Verificar, através de uma ACB em termos privados, qual dos filmes de cobertura: convencional (PE) e biodegradável (ABF) é mais atrativo para o produtor de pimento nacional;

2) Verificar, através de uma ACB em termos sociais (incluindo a valoração económica dos principais impactos ambientais), qual dos materiais é mais atrativo para a sociedade quando se consideram todos os impactos significativos no bem-estar de qualquer sujeito, independentemente de esses impactos terem preço de mercado ou do momento em que virão a ocorrer;

3) Verificar se o nível de subvenção existente está a cobrir a totalidade dos benefícios não remunerados pelo mercado (incentivando assim o produtor a escolher o material mais atrativo para a sociedade), ou se deve ser alterado nesse sentido.

Este trabalho pretende assim contribuir para a elaboração de uma matriz de suporte:

- às decisões privada e pública em matéria de escolha do material a usar na cobertura da cultura do pimento;
- às decisões políticas em matéria de (re)definição de eventuais medidas de apoio.

Visa-se assim permitir ao agricultor aceder a informação fiável sob o ponto de vista técnico-económico, de modo a selecionar a solução mais vantajosa para a sua atividade. Simultaneamente, visa também a constituição de uma ferramenta de análise que promova práticas mais sustentáveis junto dos decisores políticos. Para isso, efetua-se uma ACB dos prós e contras associados a cada um dos materiais, considerando inclusivamente os seus desempenhos relativos em termos de ciclo de vida. É precisamente neste enfoque que reside a principal inovação deste trabalho, uma vez que além da simples contabilização dos custos e benefícios associados a cada um dos materiais, incluiu também uma valoração económica dos principais impactos ambientais associados ao ciclo de vida de cada material,

nomeadamente as emissões de dióxido de carbono, a utilização de energia com origem em recursos fósseis e o potencial de eutrofização.

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 inclui uma introdução aos temas abrangidos e os motivos e objetivos da realização deste trabalho. O capítulo 2 constitui a revisão bibliográfica, que descreve o âmbito do estudo, caracteriza o estado da arte em diversas áreas relevantes e serve de suporte à posterior discussão dos resultados obtidos, dividindo-se em três secções principais dedicadas, respetivamente, à plasticultura, aos novos materiais de base biológica e à ACB. No capítulo 3, introduz-se a metodologia prosseguida neste trabalho, apresentando o caso de estudo, os materiais e os métodos aplicados. Segue-se o capítulo 4, que inclui os resultados obtidos e a sua discussão à luz das principais referências bibliográficas. No capítulo 5, delineiam-se as principais conclusões relativamente aos objetivos propostos. Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as referências bibliográficas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Plasticultura

#### 2.1.1. O plástico – origens

A palavra “plástico” provem do grego *plastikós*, que em latim originou o adjetivo *plasticus*, que define a propriedade de um material adquirir diversas formas devido a uma ação exterior (Parente, 2006). As primeiras referências a materiais utilizados pelo Homem por apresentarem esta característica remontam à civilização Olmeca (1500 - 400 a.C.), que utilizava bolas de borracha (Knight, 2014). Também no Antigo Testamento surgem referências a materiais utilizados como revestimentos, adesivos e enchimentos por apresentarem esta mesma característica. Estes materiais de origem natural são considerados os precursores dos plásticos modernos (SPI, nd).

No início do século XIX, a borracha é redescoberta e sujeita a experimentações físico-químicas que culminam na sintetização da ebonite por Charles Goodyear e Thomas Hancock em 1840, dando origem ao primeiro material plástico propriamente dito (Knight, 2014). Em 1870, John Wesley Hyatt submete uma mistura de nitrocelulose, cânfora e álcool a uma pressão elevada e consegue um produto que denomina celuloide. Esse produto teve sucesso, não só na produção das bolas de bilhar daquela época, mas também na fabricação de dentaduras, colarinhos de camisas e filmes fotográficos. Deu-se assim início a uma busca de novos materiais sintéticos, que resultou na obtenção, por exemplo, do celofane em 1892 e dos plásticos de caseína em 1897 (Silva, 2010). No final do século XIX, cientistas alemães descobrem acidentalmente, durante a manipulação do gás metano, um novo composto designado polimetileno. Trinta anos mais tarde, é sintetizado por Carl Shipp Marvel um composto de alta densidade através da sujeição do gás etileno a pressões elevadas. Estava descoberto o polietileno (Lester H., nd).

Durante todo o século XX, continuaram a surgir inovações em termos de materiais plásticos, tais como o fio de *nylon* em 1937 ou os para-choques de plástico em 1970. Já no século XXI, o desenvolvimento das próteses de plástico em 2013 é apenas mais um exemplo a acrescentar à longa lista de aplicações possíveis do plástico, que, progressivamente, se tem vindo a afirmar como um material imprescindível no dia a dia das sociedades modernas (Plastics Europe, 2013).

### *2.1.2. O plástico – atualidade*

A produção mundial de plástico em 2012 foi de 241 milhões de toneladas (Mt), produção encabeçada pela China, responsável por 23,9%, logo seguida pela Europa (EU27+2) que produziu 20,4% do montante global. A procura a nível europeu foi de 45.9 Mt, sendo o principal destino do plástico a indústria de embalagem (39,4%), seguida pelo setor da construção civil (20,3%) e pela indústria automóvel (8,4%). Em Portugal, o consumo de plástico ronda as 700 mil toneladas (mt), totalizando cerca de 1,5% do consumo europeu, que é liderado pela Alemanha que, só por si, representa 25% do mercado (Plastics Europe, 2013).

Inicialmente bafejada por um contexto de baixos preços do petróleo, pela facilidade de produção e pela excelente funcionalidade do produto, a indústria do polietileno preocupava-se hoje com questões como a reciclabilidade do produto, o seu efeito poluente e a sua eficiência energética, procurando desenvolver alternativas que possam competir com outros materiais ambientalmente mais responsáveis (Narayan, 1999).

### *2.1.3. O plástico na agricultura – Plasticultura*

A descoberta e desenvolvimento do polietileno, a partir de 1930, levaram à sua introdução na agricultura, a partir de 1950, sob a forma de filmes plásticos, coberturas, tubos de irrigação, gotejadores e fitas de rega, que revolucionaram a produção comercial de algumas culturas hortícolas (Lamont, 1999). Características como o seu baixo custo, boa resistência química, baixo coeficiente de atrito, fácil processamento, baixa permeabilidade à água, não toxicidade e o facto de ser inodoro (Marczak, 2004) levaram, durante a década de 60, a uma rápida disseminação das técnicas associadas a este material. Destas, destacam-se as estufas, os túneis, e o *mulch* ou filme de cobertura. O conjunto destas técnicas associadas à agricultura deu origem ao termo plasticultura, que se define como o sistema de produção agrícola no qual se obtém um benefício significativo por via da utilização de plástico (Lamont, 1999).

Descobertas mais recentes, como o cloreto de polivinil, o polipropeno e os poliésteres, e a sua aplicação em tubagens, equipamento de fertirrigação, filtros, acessórios, juntas e linhas de cobre fizeram aumentar ainda mais a utilização de plástico na agricultura. Atualmente considera-se que um sistema de plasticultura inclui componentes plásticos e não plásticos, que compreendem coberturas de plástico, material de irrigação por gotejamento, fertirrigação, quimigação, fumigação e solarização, quebra-ventos, a tecnologia de

estabelecimento de culturas, a tecnologia de extensão de temporada, gestão de pragas e as estratégias de cultivo e de comercialização (Lamont, 1999).

O consumo mundial de plásticos destinados à agricultura é da ordem dos 6,5 Mt (Scarascia-Mugnozza, 2011), ou seja aproximadamente 2,6% de todos os usos do plástico. Em 2012, o setor agrícola foi responsável por 4,2% do consumo europeu de plástico (Plastics Europe, 2013), totalizando 1,93 Mt, o que correspondeu a cerca de 30% do consumo mundial do setor. A nível europeu, os plásticos para fins agrícolas são sobretudo utilizados como filmes ou outras formas de cobertura do solo e aplicados principalmente na produção de flores, plantas ornamentais e vegetais, abrangendo mais de 625 000 hectares. Em Portugal, a área agrícola coberta com algum tipo de plástico ronda os 26 000 ha, dos quais 2 700 ha dizem respeito a estufas ou túneis altos, 450 ha a túneis baixos e os restantes 23 000 ha a cobertura através de filmes de plástico (Scarascia-Mugnozza, 2011).



**Figura 2.1. Alguns componentes de plástico, utilizados na agricultura**

#### *2.1.4. O filme plástico como cobertura do solo*

A cobertura do solo é uma técnica utilizada há muito tempo pelos agricultores, com o intuito de diminuir a lixiviação de nutrientes, manter a humidade do solo, evitar variações extremas de temperatura e controlar infestantes. Na sua génese, a prática consistia na deposição, sobre a superfície do solo, de uma camada protetora formada por areia ou materiais de origem vegetal como palhas, folhas secas ou serraduras (Sampaio & Araújo, 2001). Com o advento do polietileno, foram feitas as primeiras pesquisas relativamente à sua adequação a esta técnica e, no final da década de 70, a utilização de filmes de polietileno para cobertura do solo era já comum na maioria dos países desenvolvidos. Esta tecnologia teve especial adesão em países onde a terra é um fator bastante escasso (Briassoulis, 2012), como o Japão, a Coreia ou os países mediterrâneos. Desde então,

passou a ser prática corrente nas mais diversas latitudes, sendo o consumo global atual da ordem dos 2,6 Mt, das quais 4,1% dizem respeito à União Europeia (AGROBIOFILM, 2013). As 106,6 mt de consumo da União Europeia (UE) distribuem-se por mais de 385 000 ha, dos quais 120 000 ha em Espanha, 100 000 ha em França e 85 000 ha em Itália. Portugal surge como o 4º maior utilizador de filmes de cobertura a nível europeu (Scarascia-Mugnozza, 2011).

Em termos agronómicos a utilização de filmes de plástico para cobertura do solo justifica-se por diversas razões. O fato de serem impermeáveis à água impede a sua evaporação a partir do solo, ajudando a manter a humidade do solo e minimizando as perdas. Ao impedir a evaporação, evita também a migração ascendente de água rica em sais, que prejudica diversas culturas. A cobertura de plástico pode ainda facilitar a aplicação localizada de fertilizantes e reduzir a lixiviação de nutrientes. Atua também como barreira face a alguns organismos patogénicos do solo, diminuindo ainda os ataques de nemátodos. No caso de aplicação de filmes de plástico opacos, o controlo de infestantes é facilitado, uma vez que estas não recebem a luz necessária ao seu desenvolvimento. No caso de filmes refletores, a sua utilização repele certos insetos. A utilização de filmes como cobertura permite também manter uma maior temperatura no solo durante a noite, promovendo uma germinação mais rápida, assim como um melhor e mais rápido estabelecimento e crescimento do sistema radicular, incluindo uma melhor nodulação no caso das leguminosas. Por baixo da cobertura, desenvolve-se um microclima rico em dióxido de carbono, devido à maior atividade microbiológica que aí ocorre. Também por baixo da cobertura, a estrutura do solo é mantida durante o ciclo cultural e a erosão causada pela chuva é evitada. Por fim, quando comparados com os seus substitutos orgânicos, os filmes de plástico apresentam uma maior durabilidade (TNAU, nd). Todas estas razões concorrem para a obtenção de maiores produtividades, o que, em última instância, constitui o motivo pelo qual a aplicação de filmes plásticos como cobertura é prática generalizada na produção de diversas culturas, das quais se destacam o melão, a melancia, a abóbora, o pepino, o tomate, o quiabo, o milho doce e finalmente o pimento, entre muitas outras (Lament, 1993).



## **Figura 2.2 O plástico como cobertura do solo**

### *2.1.5. A cultura do pimento*

O pimento, *Capsicum annuum*, pertence à família das Solanáceas, e é uma das culturas hortícolas com maior importância económica a nível mundial. É cultivado um pouco por todo o mundo, sendo que a geografia das preferências de consumo está relacionada com o clima. A título de curiosidade, enquanto nas regiões temperadas os pimentos predominantes são os doces, nas regiões de climas quentes os pimentos preferidos são os pungentes. A região com maior produção é a Ásia, sendo que a China, por si só, produz cerca de metade dos 23 milhões de toneladas produzidas mundialmente em 1,6 milhões de hectares. Já a América do Norte e a Europa produzem 12% cada. No panorama Europeu a produção é liderada pela Espanha, que roça o milhão de toneladas, seguida da Itália e da Holanda. Em termos de produtividade média por hectare, Espanha destaca-se a nível mundial com 45,2 toneladas, bastante acima das 26,5 toneladas obtidas nos EUA e das 19,1 toneladas na China (Almeida, 2006).

Em Portugal são cultivados cerca de 1000 hectares de pimento, sobretudo nas regiões do Ribatejo e Oeste. Desta área, grande parte é destinada à produção de pimento para indústria. A produção nacional não cobre o consumo interno, importando-se cinco vezes mais pimentos do que se exporta. Espanha é simultaneamente o principal fornecedor e cliente. Em termos de produtividade média, Portugal apresenta resultados da ordem das 38,9 toneladas por hectare (INE, 2014), apresentando um elevado potencial de melhoria face às condições edafo-climáticas existentes.

O cultivo do pimento tem por objetivo a recolha dos seus frutos que podem ser utilizados para múltiplos fins. Estes vão desde o consumo em fresco até à utilização como corante e aromatizante na indústria alimentar, passando pela transformação industrial em produtos congelados e/ou desidratados. O fim a que se destinam os frutos recolhidos é determinante na escolha do sistema de cultura a utilizar. Em Portugal, tal como nos restantes países mediterrâneos, é prática corrente recorrer a filmes de plástico para cobrir o solo onde se instalam as plantas do pimento. Esta técnica permite aumentar a densidade de plantação, a precocidade e a produtividade da cultura, ao mesmo tempo que confere vantagens ao nível do combate às infestantes e da eficiência no uso da água (Almeida, 2006).



## 2.2. Material de base biológica e o desafio da sustentabilidade

### 2.2.1. O carbono, o efeito estufa e o aquecimento global

O carbono constitui o elemento base da satisfação das necessidades energéticas do Homem. Do carbono existente no planeta terra, 99,94% encontra-se em rocha e sedimentos oceânicos, e os restantes 0,06% distribuem-se pela atmosfera, oceanos, plantas e animais. Na atmosfera, apresenta-se na forma de dióxido ( $\text{CO}_2$ ), que corresponde a 0,035% desta (Berner & Lasaga, 1989). A utilização do carbono fóssil tem sido feita com base num ciclo com milhões de anos de duração que, resumidamente, passa pela transformação do  $\text{CO}_2$  da atmosfera em biomassa pela ação de plantas e microrganismos fotossintéticos; em certas condições (por exemplo, turfeiras), a biomassa produzida pela fotossíntese é transformada por micro-organismos em compostos muito estáveis que, com o tempo e sob pressão de estratos geológicos que os cobrem, se transformam em recursos fósseis. Estes vêm finalmente a ser extraídos e transformados em polímeros, químicos e combustíveis pela indústria petroquímica (Narayan, 1999). Nos últimos duzentos e cinquenta anos, a atividade humana tornou o até então insignificante processo de combustão de recursos de carbono fósseis num processo muito importante, o que levou ao aumento exponencial das emissões de  $\text{CO}_2$  e ao consequente desequilíbrio do ciclo do carbono, gerando um aumento do efeito de estufa que conduz ao aquecimento global da atmosfera (Dantas, 2008).

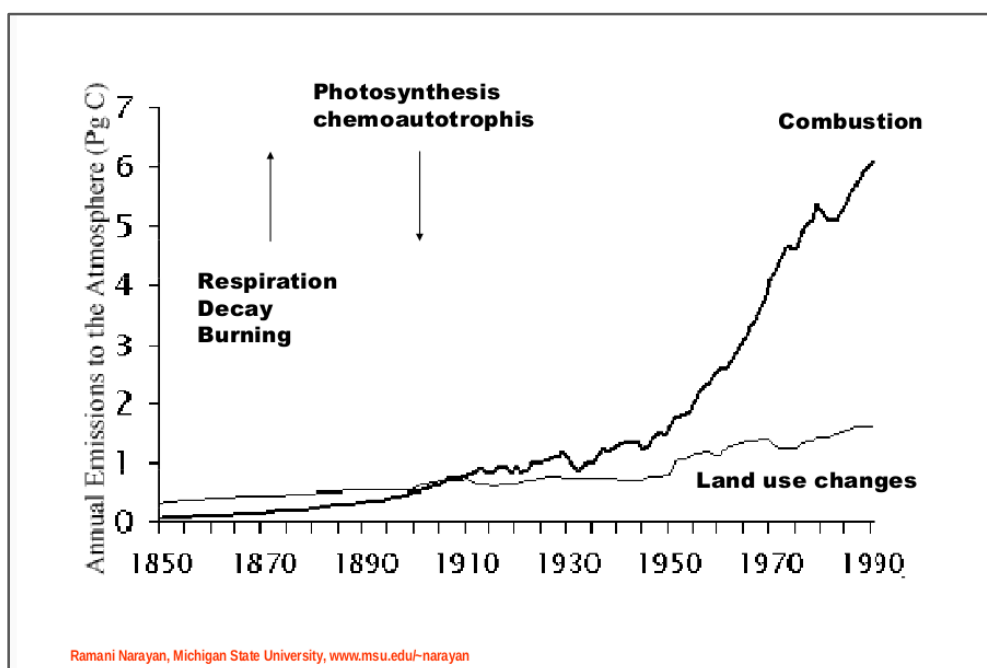


Figura 2.4. Evolução do processo de combustão no planeta terra

O efeito estufa pode ser descrito no facto de a camada de gases que envolve o planeta Terra deixar passar radiação solar recebida pelo planeta, que, por sua vez, é absorvida pela superfície e irradiada sob a forma de calor. Ora grande parte desta irradiação é absorvida pelos gases presentes na atmosfera, nomeadamente pelo CO<sub>2</sub>, comportando-se todo o sistema como uma estufa gigante (Bolin *et al*, 1986). Este efeito permite a manutenção de uma temperatura relativamente alta e estável em todo o planeta Terra. Sem ele, a temperatura média seria bastante negativa, dificultando a existência de vida humana. Ora, uma vez que o CO<sub>2</sub> corresponde a 60% dos gases com efeito estufa (GEE) emitidos pelo homem, a sua acumulação na atmosfera contribui ativamente para o agravamento desse efeito, sendo considerada como uma das principais causas do aquecimento global (Goldemberg e Villanueva, 2003).

Desde aproximadamente 1850 que a comunidade científica constata um aumento gradual da temperatura do planeta. Registos históricos sugerem que este tipo de alterações ocorre de forma natural ao longo de milénios, ou de forma brusca no espaço de décadas (Adams *et al*, 2007). O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (2007) considera “muito provável” que o aquecimento global verificado desde meados do século XX seja resultado do aumento observado nas emissões antrópicas de GEE. Segundo este estudo, onze dos doze anos mais quentes desde 1850 foram registados no período compreendido entre 1995 e 2006. Durante o século XX, a Terra aqueceu 0,76° C, sendo que a taxa de crescimento do aquecimento é cada vez maior. As evidências do aquecimento global são nítidas e inquestionáveis tendo em conta o aumento da temperatura do ar e do oceano, o aumento do nível do mar, o derretimento dos glaciares e a redução da cobertura de neve (Dantas, 2008). Estima-se que o aumento global da temperatura nos próximos 100 anos seja entre 2° e 6 °C, o que irá interferir na vida de milhões de pessoas que vivem em países e áreas costeiras mais baixas, assim como provocar a extinção de milhares de espécies, reduzir a precipitação em determinadas zonas, ao mesmo tempo que tornará mais frequente a ocorrência de fenómenos climáticos extremos (ANDI, 2014).

## 2.2.2. A mudança de paradigma na utilização de materiais

Na sequência das alterações provocadas pelo desequilíbrio do ciclo do carbono e consequentes impactos no clima da Terra, tem-se assistido a uma mudança de paradigma em termos dos materiais que o Homem procura utilizar na satisfação das suas necessidades (Zambon e Ricco, 2011). Desde o final do século XX, um pouco por todo o mundo, tem-se adotado progressivamente a lógica de uma ecologia industrial (Góes e Goulart, 2009). Uma das características-chave da ecologia industrial refere-se à sua abordagem sistémica, que procura estudar todas as interações entre os sistemas industriais e o seu ambiente. Dentro desta visão integrada, tenta-se otimizar o ciclo total dos materiais, desde a extração de matérias-primas ao destino final do resíduo – reutilização, reciclagem ou eliminação – procurando gerar soluções que repliquem os processos cíclicos dos ecossistemas (Graedel, 2010). A ecologia industrial representa um caminho que busca operacionalizar o conceito do desenvolvimento sustentável de uma forma economicamente viável. Isto porque fornece às empresas formas mais eficientes e, conseqüentemente, mais lucrativas de explorar os seus recursos e produtos, incluindo os seus resíduos (Erkman, 1997). Este fenómeno fomentou o nascimento de toda uma nova indústria bioquímica cujo objetivo é a produção de materiais ambientalmente responsáveis e sustentáveis. Essa responsabilidade é aferida com base no ciclo de vida do produto, que o permite classificar relativamente à sua origem de base biológica e/ou quanto à sua biodegradabilidade (Narayan, 1999).

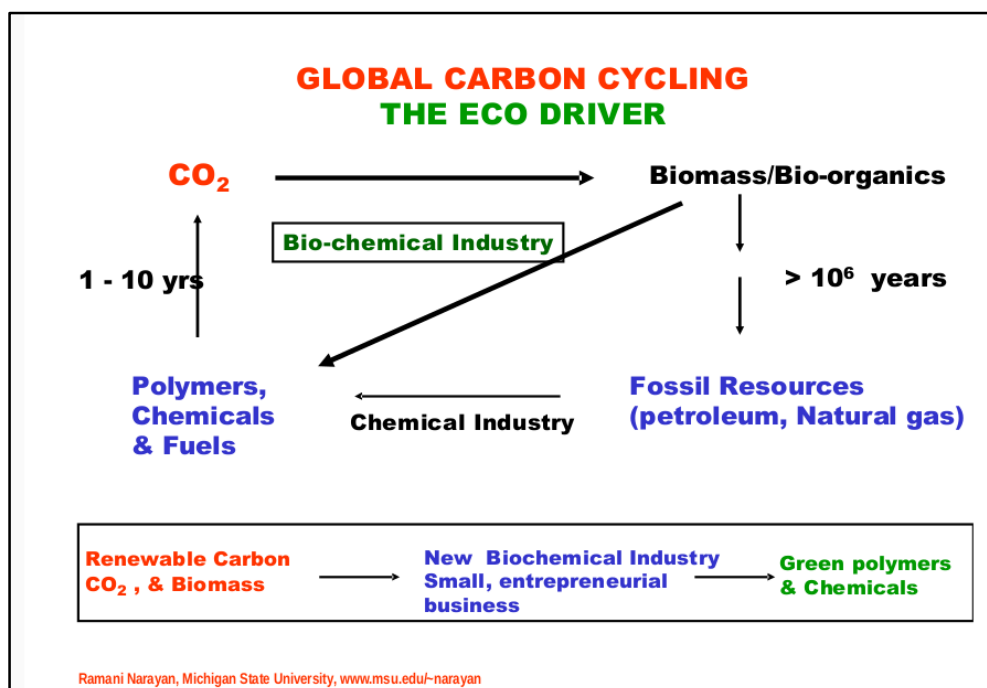


Figura 2.5. O ciclo tradicional do carbono e a mudança de paradigma

### *2.2.3. Material de base biológica*

Um material de base biológica é produzido com base num recurso renovável: o carbono orgânico recentemente fixado pela fotossíntese, proveniente de fontes biológicas. Pode ser constituído exclusivamente por este tipo de carbono ou conter proporções variáveis de carbono proveniente de combustíveis fósseis. Para o diferenciar, determina-se a proporção relativa de material de base biológica no carbono total nele contido (ASTM D6866).

A grande inovação da indústria dos materiais de base biológica é que encurta o circuito tradicional de utilização do carbono, produzindo polímeros, químicos e combustíveis diretamente a partir da biomassa, minimizando assim a utilização de recursos fósseis, logo os seus impactos negativos no clima. Este é o principal motivo pelo qual os materiais de base biológica são considerados ambientalmente responsáveis e sustentáveis, já que a sua utilização apresenta vantagens ao nível do controlo e redução das emissões de dióxido de carbono. Adicionalmente, poderá ainda contribuir para o desenvolvimento de uma nova área de atividade ligada ao mundo rural, baseada essencialmente numa fonte sustentável de recursos (Narayan, 2001).

### *2.2.4. Material biodegradável*

A degradabilidade de um material corresponde à facilidade de fragmentação sucessiva dos seus constituintes, sem a sua completa integração nos respetivos ciclos dos nutrientes. Já a biodegradabilidade depende da capacidade desse material para ser completamente degradado e assimilado pelos microrganismos do solo, que o decompõem nos seus constituintes básicos, que são assim integrados nos respetivos ciclos dos nutrientes. É um conceito com cada vez maior importância nos dias que correm e com grandes possibilidades de aplicação sobretudo ao nível de produtos consumíveis e embalagens de vida curta. A utilização incorreta deste conceito pode, no entanto, levar a graves problemas ambientais, sempre que os materiais em questão não sejam totalmente biodegradáveis ou que a sua biodegradação não ocorra em determinado horizonte temporal. Para atestar a biodegradabilidade de uma material foram convencionadas normas internacionais (EN 14995, DIN NF U52-001, ASTM D6400).

### 2.2.5. A caminho de uma agricultura mais sustentável

A utilização crescente e generalizada de plástico na agricultura permitiu aos agricultores aumentos significativos nas suas produções. Não obstante, a grande maioria dos plásticos utilizados são resistentes à degradação, colocando-se o problema de escolher que destino dar aos resíduos após a vida útil dos materiais (Kyrikou e Briassoulis, 2007). De acordo com a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável para o período de 2005 a 2015, no domínio dos resíduos deverá ser dada especial prioridade às ações de prevenção (diminuição do volume de resíduos e do seu grau de perigosidade), seguida de reutilização, reciclagem, valorização energética e, apenas como última solução, a eliminação segura do ponto de vista da saúde humana e do ambiente. Esta estratégia pressupõe a reconsideração do ciclo de produção, comércio, consumo e pós-consumo, pelo que qualquer contributo válido para alcançar estes objetivos deverá ser tido em conta (G.P.P., 2014).

Em termos de filmes de cobertura do solo, estima-se que o consumo anual mundial seja de 2.6 Mt, correspondendo o consumo europeu a 130 mt (Briassoulis & Dejan, 2010). Ora estes filmes têm uma vida útil de apenas alguns meses, findos os quais são retirados do campo e passam a ser considerados resíduos com necessidades de tratamento adequado (Kasirajan & Ngouajio, 2010). Uma nova geração de materiais biodegradáveis de base biológica tem sido apresentada como solução possível para este problema de acumulação de resíduos. Os filmes de cobertura biodegradáveis mantêm as suas características físicas e mecânicas ao longo do ciclo cultural, após o qual são enterrados e biodegradados por ação dos microrganismos. Podem ser fabricados com amido, celulose, quitosano, alginato e galactomananos; ao que tudo indica, parecem constituir uma alternativa técnica viável, e sustentável, aos tradicionais filmes de polietileno (Santagata *et al*, 2013).

## 2.3. Análise custo-benefício, ciclo de vida e incerteza

### 2.3.1. A pertinência de uma Análise Custo Benefício

Diversos estudos de desempenho agronómico equiparam os filmes biodegradáveis aos convencionais de polietileno tanto em termos de produção como de qualidade e controlo de infestantes, apresentando muito boa durabilidade para culturas de ciclo curto como o caso do pimento (Minuto *et al*, 2006). Através da sua utilização, economizam-se as etapas de remoção e tratamento de resíduos, ao mesmo tempo que se contribui para a manutenção ou melhoramento da fertilidade do solo, por via do fornecimento extra de nutrientes providos pelo próprio filme (Berglund, 2006). No entanto, para determinar se a utilização do plástico biodegradável é efetivamente uma opção viável, é necessário fazer um balanço global dos custos e benefícios associados à utilização de cada um dos materiais, incluindo os respetivos impactos.

Os custos e benefícios de adotar determinada prática ou conjunto de práticas podem ser estimados na perspetiva do agente económico que os adota (neste caso, o agricultor), caso em que interessa apenas considerar aqueles (benefícios) que este efetivamente recebe e aqueles (custos) em que este efetivamente incorre, e que, por isso, afetam o seu rendimento ou o seu bem-estar. Estes são geralmente custos e benefícios associados a bens transacionados no mercado e que, por isso, têm um preço. Esta perspetiva é frequentemente designada como análise custo-benefício (ACB) na perspetiva privada, análise de rendibilidade ou análise de investimentos. Uma abordagem diferente, designada ACB na perspetiva social ou simplesmente ACB social, implica incluir todos os impactos significativos da decisão em análise no bem-estar de qualquer sujeito, independentemente de ocorrerem no presente ou no futuro, ou de terem ou não um mercado (e portanto um preço).

A ACB é uma ferramenta de apoio à decisão que pode ser utilizada nos mais diversos domínios, sendo um dos principais métodos utilizados em economia agrária e gestão dos recursos naturais (Hoag *et al*, 2012). Começando por ser aplicada nos EUA, no início do século XX, no domínio dos recursos hídricos e projetos de investimento relacionados com a água, a sua aplicação à gestão ambiental remonta à década de 60. A literatura existente sobre ACB é vasta e um número considerável de estudos custo-benefício foram já conduzidos para avaliar investimentos ligados ao setor agrícola ou à otimização da utilização dos recursos naturais (Katerega, 2012). Tratando-se de uma metodologia económica, baseia-se em pressupostos teóricos que devem ser compreendidos e aceites, e, tal como qualquer outra metodologia económica, a sua abordagem tem variantes diversas. Os maiores desafios na utilização desta ferramenta são a valoração económica de custos e

benefícios sem mercado (e portanto sem preço), a escolha da taxa de atualização mais apropriada e o modo de integrar na análise o risco e/ou a incerteza associados à política em causa ou à quantidade e qualidade da informação disponível para o processo de tomada de decisão (Nick e Spash, 1993).

### *2.3.2. Valoração económica dos custos e benefícios*

Para a realização de uma ACB social, é necessário atribuir valores monetários a todos os custos e benefícios relevantes na perspetiva do bem-estar de todos os seres humanos, presentes ou futuros, afetados, incluindo todos os impactos ambientais significativos. A não contabilização destes impactos pode levar a ignorar danos irreversíveis no meio ambiente que condicionarão o bem-estar das gerações futuras (Rodrigues *et al*, 2011). Se, por um lado, os custos de mercado associados à utilização de determinada técnica ou material são mais fáceis de valorar, porque têm um preço, já os impactos no ambiente, na saúde pública, nas comunidades rurais, ou nas gerações futuras, entre outros, podem ser alvo de diversas abordagens cujo grau de dificuldade é maior. Estes impactos são geralmente considerados externalidades, podendo ser positivas ou negativas consoante o sinal do seu efeito nas pessoas afetadas. Por definição, uma externalidade ocorre quando a atividade de um agente económico afeta, de modo não intencional, o bem-estar de outro(s), sem que este efeito traga um benefício (externalidade positiva) ou um custo (externalidade negativa) para o agente causador da externalidade. Muitas vezes, as externalidades não são contabilizadas pelos mercados habituais, pelo que o agente causador tende a ignorar esses efeitos externos das suas decisões (Rosen e Gayer, 2010).

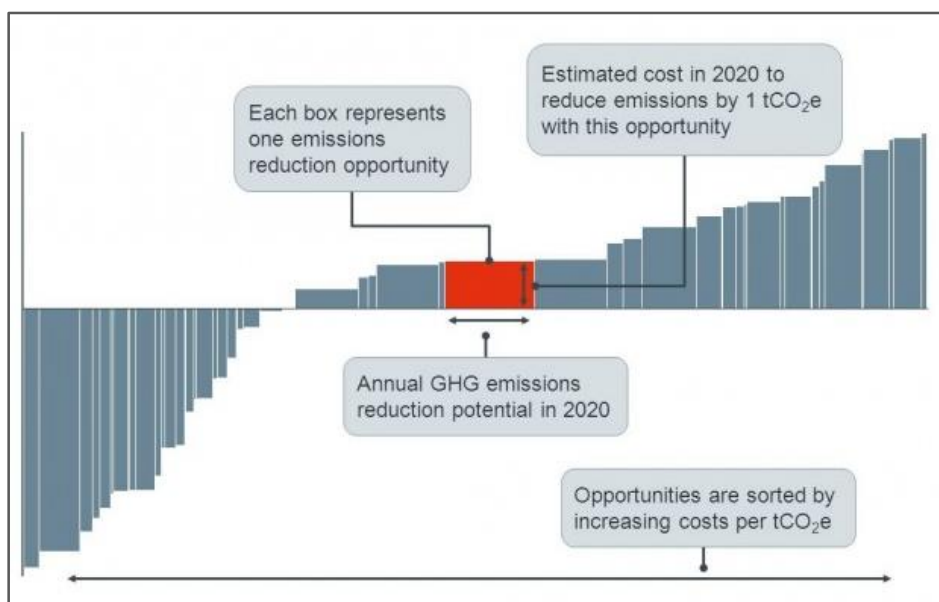
As externalidades negativas da atividade agrícola costumam partilhar algumas características como a negligência dos custos externos envolvidos, o seu lapso no tempo (externalidades intertemporais), a não representação (e mesmo dificuldade de identificação) dos agentes afetados, a dificuldade de identificação do causador da externalidade e/ou da própria externalidade (ex: poluições difusas) e ainda a adoção de políticas que não maximizam o bem-estar da sociedade (Pretty *et al*, 2000). As principais diferenças em termos de externalidades geradas pela utilização de cada um dos materiais de cobertura do solo em análise neste trabalho são relativas à emissão de GEE, à utilização de energia proveniente de fontes não renováveis (ENR) e ao potencial de eutrofização de cada um dos materiais, ao longo do respetivo ciclo de vida (nos três casos).

### **Emissões de Gases com Efeito Estufa**

Desde a década de 90 que a comunidade internacional tem procurado diminuir o impacto da atividade humana no clima global. Um dos principais tratados oriundos deste esforço foi o chamado Protocolo de Quioto, que visa a redução das emissões de seis gases com efeito estufa. Esta redução deveria ser feita em relação a um ano base e em proporções relacionadas com o grau de desenvolvimento do país em causa. A UE, que sempre liderou os esforços mundiais para a redução das emissões de gases com efeitos estufa, assumiu as metas mais ambiciosas no âmbito deste tratado, comprometendo-se a reduzir as suas emissões em 8% em relação ao ano base. Para o conseguir, delineou políticas comunitárias a curto, médio e longo prazo, sendo a redução das emissões de CO<sub>2</sub> um dos principais indicadores para aferir o seu sucesso, já que é o gás com efeito estufa mais facilmente monitorizável (Agência Portuguesa do Ambiente). Neste sentido têm também sido propostos diferentes sistemas e métodos de valoração das emissões de CO<sub>2</sub> na tentativa de estimar o valor económico desta externalidade negativa, os quais variam segundo a abordagem. Nestas propostas é comum utilizar, enquanto medida das emissões, o índice dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq), que, além das emissões de CO<sub>2</sub> propriamente ditas, inclui também a massa emitida dos restantes GEE, convertida na massa equivalente de CO<sub>2</sub>, em função do seu impacto sobre o sistema climático (dos Santos e Fernandes, 2012).

Uma das principais abordagens para o cálculo do valor económico do carbono baseia-se no custo marginal da redução das emissões (ou sequestro) de carbono e outros GEE. Este custo reflete os custos unitários (por tonelada de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente evitadas) de cada alternativa de redução (ou sequestro), bem como o seu potencial de redução total de GEE (geralmente medido em toneladas de emissões CO<sub>2</sub>eq que podem ser evitadas por essa via). Ordenando estas alternativas por custo unitário de redução (ou sequestro) crescente, o custo marginal de redução é o custo unitário da última tonelada de emissões evitada, o que depende obviamente do total de toneladas a reduzir, das alternativas de redução possíveis, e ainda do custo unitário e do potencial de redução total de cada alternativa (Motta e Castro, 2012).





Fonte: ClimateWorks Australia, 2013

**Figura 2.6. Exemplificação de uma curva de redução de emissões de CO<sub>2</sub>eq**

Esta relação (em forma de escada com diversos patamares) permite sinalizar aos decisores políticos onde estão as principais oportunidades de mitigação de emissões, considerando a relação entre o custo por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente evitada e a quantidade de toneladas que uma determinada alternativa de redução, realizada por um determinado setor, seria capaz de evitar. Além disso, esta relação pode ser utilizada para estimar as quantidades de direitos de emissão de carbono que serão oferecidas e procuradas pelos diferentes setores de uma economia, bem como o preço a que serão transacionados estes direitos, caso se implementem metas de redução de emissões através de um sistema de *cap-and-trade* (Couto, 2012). O mercado europeu de carbono (EU ETS) está baseado neste princípio, que consiste no estabelecimento de limites às emissões totais e na possibilidade de negociação dos direitos de emissão entre empresas com custos de redução mais baixos (vendedoras potenciais) ou mais elevados (compradoras potenciais) (União Europeia, 2013).

Num mercado competitivo de direitos, o preço dos direitos é aproximadamente igual ao custo marginal de redução das emissões, ou seja ao benefício que a indústria poderia obter por poder emitir um pouco mais de CO<sub>2</sub> equivalente. Assim, o preço dos direitos (ou o custo marginal de redução que este preço reflete) pode ser usado para valorar cada tonelada de redução de emissões (ou de sequestro) resultante de um determinado projeto, como por exemplo a substituição de PE por ABF enquanto material de cobertura. Neste caso, o valor da redução de emissões (ou sequestro) resulta do benefício de poder emitir uma quantidade igual e, ainda assim, continuar a respeitar o limite de emissões (*cap*).

Uma outra abordagem ao problema da valoração do carbono emitido parte das premissas constantes no Relatório “Economia das Alterações Climáticas” (Stern, 2006), que procura contabilizar não só os custos atuais, mas sobretudo os custos ambientais futuros decorrentes das emissões do presente. Este estudo é considerado uma das análises mais precisas sobre a relação custo-benefício da adoção ou não de políticas de combate ao aquecimento global, apresentando uma visão holística das consequências decorrentes do aumento da concentração de gases de efeito estufa (Romeiro, 2012). Nele estão patentes questões como a redistribuição intergeracional do bem-estar, a ocorrência de fenómenos catastróficos, a perda de biodiversidade, entre outros. Na ótica deste relatório, estas questões do futuro, resultam geralmente das emissões presentes e, constituem por isso, o seu verdadeiro custo social (independentemente do tempo e espaço em que ocorrem os respetivos impactos). Os principais efeitos das alterações climáticas geradores destes custos sociais serão o derretimento dos glaciares, as quebras nas colheitas, a acidificação dos oceanos, o aumento do nível do mar e a perturbação de ecossistemas, entre outros. Estes representam ameaças a elementos básicos da vida humana como a alimentação, a saúde, o uso da terra e do meio ambiente, e acarretam consequências cada vez mais graves à medida que o tempo passa e o aquecimento global aumenta.

Para determinar um valor no presente de algo que ocorrerá no futuro, é então necessário atualizar o seu valor, ou seja aplicar uma taxa de desconto. Em termos de análise de investimento, a taxa de desconto é o custo de oportunidade atribuído ao capital. Normalmente, considera-se que o custo de oportunidade corresponde ao preço ou taxa de rentabilidade mais alta que esse capital obteria se aplicado na melhor alternativa possível. Pode ser calculado de diferentes formas, dependendo das premissas de partida. Numa ótica de mercado a tendência é igualar o custo de oportunidade do capital ao custo de oportunidade do empreendedor privado (taxas de juro praticadas), o que revela uma maior apetência pelo presente. Já numa ótica social, têm-se em linha de conta outros fatores, alguns intertemporais, pelo que se favorece os investimentos capital-intensivos com uma taxa de desconto mais baixa, acautelando, de certo modo, o futuro.

### **Taxa de desconto no âmbito das alterações climáticas**

Devido aos efeitos de uma maior concentração de CO<sub>2</sub> virem a ocorrer algures no futuro, a escolha da taxa de desconto é crítica em análises económicas que contemplem as mudanças climáticas. Alguns economistas, como Stern (Stern, 2006) propõem a utilização de taxas de desconto baixas em programas de abatimento de emissões, já que ao aplicar-se uma maior taxa de desconto, diminui-se a importância relativa dos danos futuros, mesmo catastróficos, que podem advir das alterações climáticas. Outros, como Nordhaus (Nordhaus, 2013) defendem que só será possível satisfazer as necessidades das futuras

gerações se se investirem, no presente, os recursos disponíveis em programas com maiores retornos ambientais, sociais e económicos, o que não acontecerá se a taxa de desconto aplicada for significativamente inferior ao custo de oportunidade do capital. A base desta discussão reside na endogeneidade ou não das taxas de juro de referência. O modelo idealizado por Stern, considera as taxas de juro futuras endógenas, ou seja, como parte integrante desse mesmo modelo e por isso mesmo dependentes dos seus resultados ao longo do tempo. Já Nordhaus, utiliza taxas de juro exógenas, assumindo que a sua determinação, algures no futuro, não estará dependente dos eventuais impactos das alterações climáticas, mas unicamente das condições de mercado vigentes nessa altura.

O relatório de Stern estima os custos da não mitigação das emissões em até 20% do produto interno bruto (PIB) mundial até ao final do século, face a 1% do PIB mundial de investimento anual necessário para contrariar essa tendência (custo de redução, tal como foi definido acima). Na ótica de Stern, a verificar-se essa redução no PIB mundial, as futuras taxas de juro seriam afetadas negativamente pelo que o retorno futuro do capital seria diminuído por via das alterações climáticas a ocorrer. Segundo Nordhaus, os mercados encontrariam o seu próprio equilíbrio, pelo que as taxas de juro seriam independentes das condições futuras proporcionadas pelas alterações climáticas. Ora este detalhe pode levar a grandes diferenças no cálculo do custo social do carbono.

### **Utilização de Energia Não Renovável**

A UE tem de enfrentar grandes desafios no domínio da energia, tanto em termos de sustentabilidade e de emissões de gases com efeito de estufa, como de segurança do abastecimento e da dependência das importações (Comissão Europeia, 2007). A matriz energética (estrutura de produção, distribuição e consumo) de cada país é composta por diferentes fontes de energia. As possibilidades de escolha e as opções seguidas em termos de investimentos energéticos causam vários tipos de respostas e danos económicos, ecológicos e/ou sociais em diferentes níveis de sustentabilidade (Silva e Primo, 2013). Neste âmbito foi definida uma política energética europeia com três grandes objetivos: i) garantir a segurança no abastecimento, uma vez que a Europa não dispõem de energias fósseis no respetivo território, apresentando-se as fontes renováveis, nesta medida, também como um objetivo geopolítico para reduzir a dependência europeia relativamente aos países produtores de petróleo e gás natural; ii) promover uma política ambiental responsável, que tem constituído uma bandeira central da política internacional europeia; iii) alcançar uma nova matriz energética, diferente da tradicional, que permita captar novos investidores (Dias e Soares, 2014).

Os custos relacionados com as diferenças em termos de utilização de Energias Não Renováveis (ENR), ao longo do ciclo de vida de cada um dos materiais em análise neste trabalho, não se resumem aos respetivos impactos em termos de emissões de GEE, havendo outros componentes a considerar. A produção de eletricidade causa danos substanciais no ambiente e na saúde humana, que estão diretamente relacionados com o local e a forma de produção. A maior parte destes danos não estão contabilizados no preço de mercado e como tal também devem ser considerados externalidades. Estas externalidades podem ser divididas em categorias de impactos, que normalmente se agrupam em: i) poluição sonora, ii) saúde humana; iii) materiais utilizados; iv) produção agrícola; v) perturbação dos ecossistemas; vi) aquecimento global (Comissão Europeia, 2003). Os principais estudos realizados até à data no sentido de atribuir e apurar o valor das externalidades da produção de eletricidade são, a nível europeu o projeto ExternE (ExternE, 2005) e os relatórios publicados pelo Paul Scherrer Institute (Hirschberg *et al*, 2004; Rafaj, 2005), enquanto nos EUA se destaca um estudo do MIT (Greenstone e Looney, 2012).

### **Potencial de eutrofização**

A eutrofização é um processo pelo qual as águas de um rio ou lago enriquecem em nutrientes, minerais e orgânicos, originando um excesso de vida vegetal que dificulta e aniquila a vida animal por falta de oxigénio (Infopedia, 2004). Deste modo, quando se comparam técnicas ou práticas que apresentam diferentes potenciais em termos de eutrofização, estas diferenças devem ser tidas em conta, para uma completa análise. Apesar da valoração e a integração dos impactos decorrentes de um maior ou menor potencial de eutrofização em análises custo-benefício ser ainda pouco comum (Klimont *et al*, nd), existem alguns estudos que se debruçaram sobre esta temática, como “Eutrophication in UK” (Pretty *et al*, 2003), “Eutrophication Baltic (Gren *et al*, 2008) e TEEB/COPI (CE, 2008).

### *2.3.2. A necessidade de uma análise ao ciclo de vida*

A medição e valoração válida de todos os custos e benefícios da utilização de cada um dos materiais, requer a inclusão não só dos impactos diretos na produção mas também de todos os impactos significativos ao longo da totalidade do ciclo de vida de cada um deles.

A análise ao ciclo de vida (ACV) é um processo adequado para avaliar o consumo de recursos e os seus impactos no meio ambiente associados a um produto, processo ou atividade, assim como os impactos dos resíduos desse produto, processo ou atividade no

meio ambiente (Caldeira-Pires *et al*, 2002). A ACV permite a estimativa dos impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, muitas vezes incluindo impactos não considerados em análises mais tradicionais (por exemplo, a extração de matérias-primas, material de transporte, disposição final do produto etc.) (Giannetti *et al*, 2008). Ao incluir os impactos ao longo do ciclo de vida do produto, a ACV oferece uma visão abrangente dos efeitos ambientais do produto ou processo e uma imagem mais precisa do verdadeiro trade-off (balanço entre prós e contras) da seleção do produto e ou de processos (Willers *et al*, 2013), daí o seu potencial contributo para uma ACB mais completa. Neste trabalho, procuramos levar tão longe quanto possível esta integração entre ACV e ACB.

A análise do ciclo de vida surge a partir das normas International Organization for Standardization (ISO) 14000, padronizadas pelas normas ISO 14040 e ISO 14044 e constitui-se como instrumento que permite o desenvolvimento de critérios e procedimentos com o objetivo de avaliar o impacto ambiental total líquido de produtos e processos (Campos de Oliveira, 2013).

### *2.3.3. Análise de sensibilidade*

A análise do risco e da incerteza na agricultura nunca é completamente abrangente, uma vez que, pela multiplicidade de fatores envolvidos, é difícil categorizar e medir todos os riscos envolvidos (ou mesmo os mais significativos), e lidar com outros eventuais problemas de (deficiente) informação como a ambiguidade ou a ignorância. Na análise de um sistema agrícola, a quantidade e qualidade de informação sobre os impactos e os preços relacionados, assim como as suas consequências sobre as decisões a tomar, podem desempenhar um papel determinante no resultado final, pelo que merecem especial cuidado.

No contexto de uma ACB, que se pretende o mais robusta possível, pode-se utilizar a Análise de Sensibilidade (AS) para resolver problemas relacionados com a incerteza. A AS é uma técnica que permite investigar o impacto de eventuais alterações nas variáveis chave, a partir do cenário mais provável (Chaddad *et al*, 2005). É um método sistemático para avaliar a sensibilidade de uma ACB face aos fatores que lhe são determinantes, sejam eles *inputs* ou pressupostos teóricos (FHWA, 2002).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Estudo de caso e recolha de informação

A aplicação de uma ACB a uma cultura de ciclo curto, mais especificamente ao pimento, decorreu do facto de existir um ensaio em curso, no âmbito do projeto AGROBIOFILM, com o objetivo de comparar o desempenho do plástico biodegradável vs plástico convencional, enquanto materiais de cobertura do solo. Desta forma, foi possível recolher os dados necessários para a análise que se pretendeu levar a cabo, fosse através do acompanhamento de várias etapas culturais ou através da informação constante na folha de cultura do agricultor. O facto de se basear numa realidade ao nível da exploração agrícola e em relação a uma cultura em específico, constitui o fator chave para a sua eventual utilidade, já que forneceu uma perspetiva integral que permitiu descortinar os fatores mais decisivos nas decisões tomadas.

Os pimentos cultivados no âmbito deste ensaio tiveram como destino a indústria de congelados. A sua produção enquadra-se num sistema de produção horto-industrial ao ar livre, com recurso à cobertura do solo. Esta cobertura foi feita com recurso a um filme de plástico convencional ou com recurso a um filme biodegradável. O tipo de cobertura aplicada constituiu o cerne da questão sobre a qual o trabalho se debruça. Neste sistema de cultura, a rega é feita por rampas de gotejadores, vulgo fitas de rega, colocadas sob a cobertura. Apesar de se tratar de uma planta perene, o pimenteiro é cultivado como anual, sendo a plantação (no caso do ensaio, manual) efetuada entre abril e maio e a colheita a partir de meados de julho do mesmo ano. A colheita foi também manual e escalonada, uma vez que a maturação dos frutos não é uniforme, o que obriga a várias passagens. O ensaio em causa decorreu num campo localizado em Alpiarça, na região do Ribatejo.

De modo a alargar as fontes de informação e procurar obter uma visão o mais abrangente possível, procurou-se estabelecer contacto com diversos intervenientes do setor. Para as questões relativas ao plástico biodegradável, contactou-se telefonicamente a Silvex, única produtora nacional de plásticos biodegradáveis e fornecedora do material utilizado no ensaio. Para informações sobre as políticas existentes e os seus resultados, contactou-se via e-mail o Gabinete de Planeamento e Políticas, entidade responsável pela definição de políticas para o setor agrícola em Portugal. A Recipolymers, empresa que se dedica à recolha e reciclagem dos filmes de plástico convencionais utilizados na agricultura, optou por não responder às perguntas que lhe foram colocadas relativamente ao processo de reciclagem e à valorização do plástico reciclado. Tiveram-se ainda conversas informais com outros agricultores, produtores de pimento da região.





**Figura 3.1. Plantação manual do pimento**





**Figura 3.2. Recolha do plástico utilizado**



## 3.2. Materiais

### 3.2.1. Filme convencional

O filme de plástico utilizado no cultivo do pimento foi um filme convencional de polietileno de baixa densidade (PBD). Na sua forma comercial, este é vendido em rolos com um comprimento entre os 2000 e os 3000 m, podendo vir já furado, caso se proceda a uma plantação manual.

O PBD é fabricado a partir de etileno sob alta pressão (entre 1000 e 3000 bar) e temperatura (entre 80 e 100°C) na presença de ínfimas partículas de oxigénio. A sua transformação é feita através de um processo de extrusão durante o qual o plástico é derretido e misturado com aditivos que determinam as características finais em termos de cor, resistência mecânica, absorção e retenção de radiação, sendo o conjunto posteriormente arrefecido e formatado em filmes (Lepoutre, nd).

### 3.2.2. Filme biodegradável

O filme biodegradável utilizado no ensaio apresenta o nome comercial de Agrobiofilm® (ABF), sendo comercializado pela Silvex, uma empresa portuguesa localizada em Benavente e integrante do projeto europeu AGROBIOFILM. A produção do filme é feita através do processo de extrusão para o qual é necessário o composto Mater-bi, fornecido pela empresa italiana Novamont. O Mater-bi é um polímero de base biológica derivado de amido que possui uma estrutura natural formada por cadeias lineares de amilose e cadeias ramificadas de amilopectinas. A produção deste material implica uma rutura da estrutura original da molécula de amido e a sua posterior reordenação em complexos de estruturas entre amiloses e moléculas naturais, que aumentam a resistência à água e originam mudanças na estrutura mecânica do amido (Graci et al, 2008). O Mater-bi é fabricado com amido de milho sem qualquer tipo de alteração genética (AGROBIOFILM, 2013). A biodegradabilidade de produtos com origem Mater-bi foi certificada por diversas normas standard internacionais, assim como a sua não-toxicidade e compostabilidade.

### 3.3. Método - Análise custo-benefício

As principais etapas de uma ACB de uma política passam pela definição da política, a identificação dos respetivos impactos e a seleção dos impactos considerados economicamente relevantes segundo os critérios de relevância previamente estabelecidos (impacto na rentabilidade privada do decisor, ou no bem-estar social, consoante se trate de uma ACB em termos privados ou sociais). Posteriormente procede-se a uma quantificação física dos impactos relevantes e à sua valoração monetária. Caso seja necessário procede-se à atualização dos fluxos de custo e benefício através da escolha de uma taxa de desconto, que permitirá calcular o valor atualizado líquido da política. Para finalizar, efetua-se uma análise de sensibilidade aos principais fatores intervenientes (Nick & Spash, 1993).

#### *3.3.1. Definição da política*

Através da ACB da utilização de filmes plásticos de polietileno vs filmes biodegradáveis na cultura do pimento, pretendeu-se fazer um balanço das vantagens e desvantagens associadas a cada um dos materiais. O seu resultado constitui uma proposta de suporte à decisão que permita ao agricultor ter informação fiável sob o ponto de vista técnico-económico que o leve a selecionar a solução mais vantajosa para a sua atividade. Simultaneamente, pretende averiguar a pertinência de uma maior promoção da utilização de filmes biodegradáveis por parte dos decisores políticos.

#### *3.3.2. Principais impactos e sua relevância*

O campo de cultivo de pimento pressupõe uma série de processos físicos químicos e biológicos que ocorrem num ecossistema artificializado. Esses processos estão relacionados com técnicas utilizadas no decorrer do processo de produção, técnicas cuja utilização determina impactos. Para a elaboração da ACB, de entre os diversos impactos gerados pelo sistema “campo de cultivo de pimento”, consideraram-se os devidamente estudados e empiricamente relacionados com o tipo de cobertura utilizada, sendo esta de filmes convencionais de PBD ou de filmes biodegradáveis. Estes impactos, positivos ou negativos e medidos em maior ou menor escala podem ser diferenciados segundo a etapa

do ciclo de vida do material em questão (Iles A & Martin, A, 2013). Os principais impactos e diferenças entre os sistemas de produção resultam das diferenças ao nível da produção e transporte dos plásticos convencionais e biodegradáveis (origem dos recursos e emissões associadas), da sua operacionalidade na exploração agrícola e do destino final dado aos resíduos.

### **Produção e transporte**

A produção de bioplásticos, entre os quais se encontram os filmes biodegradáveis, aumenta a procura de inputs como terra, combustíveis fósseis, químicos e água (Searchinger et al., 2008). O processo de fabrico é intensivo em energia, e por vezes requer a utilização de solventes de origem fóssil potencialmente tóxicos. Ao longo do processo é utilizada água para fermentação, arrefecimento e aquecimento, daí resultando efluentes com necessidades de tratamento (Ahman and Dorgan, 2007).

Para a produção de polietileno além da própria matéria-prima de origem fóssil, são também necessárias grandes quantidades de energia. Adicionalmente são produzidos resíduos durante o processo de extrusão, para o que também concorre qualquer interrupção ou avaria na linha de produção.

### **Operacionalidade ao nível da exploração agrícola**

**I. Provisão de produtos vegetais:** Em termos de provisão de produtos vegetais foi assumido que a utilização de filmes biodegradáveis permite obter produtividades e níveis de qualidade idênticos aos obtidos com a utilização de filmes plásticos convencionais, uma vez que estudos desenvolvidos no âmbito do projeto AGROBIOFILM (Costa *et al*, 2014; Saraiva *et al*, 2012) apontam nesse sentido. Desta forma, considerou-se que a receita obtida pelo agricultor pela venda dos seus produtos será idêntica para os dois casos, sendo por isso irrelevante na análise custo benefício.

**II. Aplicação no campo de cultivo:** A aplicação dos filmes no solo, é feita através de uma máquina própria para o efeito, que é acoplada ao trator e vai desenrolando e enterrando o filme à medida que se avança no terreno. É ainda necessário um trabalhador a seguir o conjunto de modo a controlar tensões ou outros eventuais obstáculos que dificultem a correta aplicação da cobertura. A máquina utilizada é a mesma para os filmes de polietileno e para os filmes biodegradáveis, e os tempos de aplicação não apresentam diferenças significativas.

**III. Recolha e/ou incorporação:** Relativamente à recolha dos filmes de polietileno do campo de cultivo no final da cultura, é necessário proceder a uma série de operações. O primeiro passo é a passagem do trator com um destroçador de mato de modo a triturar os principais resíduos vegetais deixados pela cultura. Seguidamente são desenterradas as

extremidades enterradas do filme através de uma alfaia apropriada acoplada a um trator, que é seguido por uma equipa de trabalhadores que vai enrolando e fazendo pequenos montículos de filme ao mesmo tempo que efetua uma triagem dos maiores torrões e resíduos da cultura. Posteriormente passa um trator com um cesto montado para o qual são carregados os montículos manualmente. Após a remoção da cobertura de plástico recolhe-se a fita de rega. Esta recolha na maioria dos casos é manual, processando-se de forma análoga à dos filmes. No entanto alguns agricultores especializados neste tipo de culturas desenvolveram as suas próprias máquinas de enrolamento de fita de rega, o que lhes permite poupar tempo e mão de obra. Uma vez recolhidos, os filmes de polietileno são amontoados à beira da estrada ou depositados em contentores apropriados e posteriormente transportados até ao ponto de recolha. No caso dos filmes biodegradáveis, procede-se igualmente a uma passagem com o destroçador de mato, seguida da recolha das fitas de rega. Para uma maior rapidez na biodegradação dos filmes é ainda aconselhável efetuar uma passagem com uma alfaia agrícola que aumente a fragmentação dos pedaços de filme e os coloque numa camada subsuperficial, embora usualmente esta operação coincida com início da preparação do terreno para a cultura seguinte.

#### **Destino final dos resíduos**

Após a remoção do plástico convencional, o destino dado aos resíduos recolhidos é muito importante na análise custo benefício. Originalmente, muitos destes resíduos eram queimados ou enterrados na própria exploração agrícola, práticas associadas a graves danos ambientais. Posteriormente passou a ser corrente a sua deposição em aterros e hoje em dia é prática comum serem entregues a centros de recolha e reciclagem de resíduos. Nestes centros, os resíduos são pesados e classificados em termos de nível de impurezas, apurando-se um valor que é diretamente pago ao agricultor ou transportador. Procede-se então a uma limpeza e separação dos diferentes componentes, sendo o plástico reciclável transformado em granulado. Este granulado pode ser diretamente extrudido em novos filmes plásticos, ou pode ser vendido como matéria-prima para outras utilizações (Recipolymers, nd).

#### ***3.3.3. Quantificação dos impactos relevantes***

No âmbito desta ACB, para uma quantificação completa dos impactos ao nível do ciclo do carbono e da pegada energética é necessário entrar em linha de conta com o ciclo de vida de cada um dos materiais. As diferentes categorias de impactos ambientais

utilizadas estiveram de acordo com as recomendações da European Food Sustainable Consumption and Production Round Table que são baseadas no ILCD handbook (Comissão Europeia, 2012).

O ciclo de vida tradicional de um filme de PBD passa pela sua produção, 1º transporte, aplicação no solo, remoção e 2º transporte até uma estação de recolha de resíduos ou aterro. No caso de um filme biodegradável, o seu ciclo resume-se à produção, 1º transporte, aplicação no campo de cultivo e incorporação.

Produção e 1º transporte: sendo etapas comuns aos dois materiais, concorrem para a sua diferenciação os *inputs* necessários à sua fabricação, a energia necessária ao processo e ainda o local de produção que é determinante pela distância de transporte mas também pela estrutura primária de produção da energia elétrica necessária.

Aplicação e remoção: As etapas intermédias de aplicação e remoção prendem-se sobretudo com questões operacionais ao nível da exploração agrícola, não apresentando diferenças significativas em termos de emissões de CO<sub>2</sub> ou utilização de energia.

2º transporte dos resíduos do filme de PBD: assume relevância sobretudo nos casos em que os centros de recolha ou aterros se encontrem a elevadas distância do campo de cultivo já que nesses casos o impacto ao nível do carbono sobrepõe largamente o da simples incorporação do filme biodegradável no solo, pelas emissões adicionais de CO<sub>2</sub> associadas a esse transporte.

Destino final dado aos resíduos de PBD: é determinante, sendo a reciclagem ou a deposição em aterro as práticas mais comuns. A primeira hipótese pode ser dificultada pela contaminação do plástico com pedaços de solo e/ou produtos químicos, pela necessidade de equipamento específico para a recolha dos plásticos (Garth and Kowal, 1993), sendo que todos estes fatores acarretam custos adicionais de energia. A segunda, está sujeita a uma taxa de deposição em aterro que internaliza todos os impactos daí derivados, tendo sido a considerada nesta ACV.

A ACV utilizada neste trabalho baseia-se na avaliação levada a cabo no âmbito do projeto AGROBIOFILM (AGROBIOFILM, 2013), que compara os filmes convencionais aos filmes biodegradáveis através de diversos indicadores. Destes, em termos de relevância para a ACB destacam-se a quantidade de CO<sub>2</sub>eq emitida, a quantidade de energia não renovável utilizada e o potencial de eutrofização aquática (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1. Principais indicadores resultantes da ACV**

INDICADOR	TIPO DE FILME		
	PE convencional	Agrobiofilm®	Diferença (PE-ABF)
Emissões de CO <sub>2</sub> eq (t/ha)	3,9	3,52	0,38
Utilização ENR (GJ/ha)	57,5	49,3	8,2
Potencial eutrofização (kg NO <sub>3</sub> /ha)	224	213	11

Fonte: AGROBIOFILM, 2013

### 3.3.4. Valoração dos impactos considerados

Após uma investigação e consideração das várias metodologias existentes, optou-se por uma abordagem diferente para cada um dos três indicadores considerados relevantes para a análise.

Relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>eq, de entre as duas principais abordagens referidas na revisão bibliográfica, considerou-se que a abordagem representada pelo relatório Stern seria mais abrangente e pertinente para o problema em causa por apresentar uma visão holística relativamente à questão das alterações climáticas, não se limitando aos mecanismos de mercado existentes. Utilizou-se então o valor de 108,2€ (valor médio entre os 101,8€ relativos a 2010 e os 114,5€ relativos a 2020) por tonelada de CO<sub>2</sub>eq emitida, que vem referido no relatório de Watkiss e Downing, "The Social Cost of Carbon" (2008). Este, seguindo as normas convencionadas no Reino Unido (Green Book, 2004), utiliza uma taxa de desconto decrescente ao longo do tempo, começando nos 3,5% e terminando nos 1% para prazos superiores a 300 anos.

Em termos das externalidades geradas pela maior utilização de energia gerada a partir de combustíveis fósseis, cruzou-se a informação relativa à matriz de produção b de energia europeia, com os resultados apresentados no relatório External Costs (Comissão Europeia, 2003), que incluem um valor de impacto segundo a fonte de energia em questão para a produção de energia na Alemanha. Feita a devida ponderação chegou-se a um valor de 1,45€ por GJ. Aqui é necessário referir que para evitar a dupla contabilização, não foram considerados os impactos relativos às emissões de GEE.

Por fim, em relação ao potencial de eutrofização, utilizou-se o valor constante no estudo "Costs and benefits of nitrogen in the environment" (Brink *et al*, 2011), que referindo-se à contaminação de lençóis de água por nitratos considera um impacto de 0,7€ por kg de NO<sub>3</sub>-N utilizado.

**Tabela 3.2. Valores de impactos utilizados e sua origem**

INDICADOR	Valor UNITÁRIO (€)	ORIGEM
Emissões de CO <sub>2</sub> eq (t)	108,2	The Social Cost of Carbon (Watkiss e Downing, 2008)
Utilização ENR (GJ)	1,45 <sup>1</sup>	External Costs (Comissão Europeia, 2003)
Potencial de eutrofização (kg NO <sub>3</sub> )	0,7	Costs and benefits of nitrogen in the environment (Brink <i>et al</i> , 2011),

<sup>1</sup> Média ponderada dos impactos de cada fonte de ENR consoante a sua proporção na matriz europeia de produção

### 3.3.5. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade pode ser feita variando um dos fatores *ceteris paribus*, ou simulando a variação de mais fatores em simultâneo. No caso da presente ACB, a variação foi feita até ao ponto em que a utilização dos plásticos biodegradáveis fosse tão ou mais apetecível que a dos plásticos convencionais segundo o ponto de vista do agricultor. Isto tanto na ótica do agricultor como na ótica do decisor político, uma vez que sendo os agricultores as unidades de decisão autónoma com maior influência na consecução dos objetivos da política em questão, faz todo o sentido que qualquer desenho de políticas tenha em conta a sua perspetiva.

O primeiro exercício que se efetuou consistiu em variar negativamente o preço do filme biodegradável, de forma a determinar a redução necessária para que este, sem qualquer tipo de incentivo, se tornasse tão económico quanto o filme convencional. O segundo partiu do montante de incentivo atual, reduzindo sucessivamente o seu valor de forma a determinar até que nível seria possível diminuí-lo, mantendo-se a opção pelo filme biodegradável beneficiando dos apoios, mais económica. No terceiro, considerando uma perspetiva de longo prazo, fixou-se o incentivo ao nível do custo externo associado à utilização do polietileno e determinou-se a redução necessária no preço do filme biodegradável para este se tornar economicamente preferível. Por fim, considerou-se pertinente apresentar os diferentes valores atribuídos ao impacto de um dos indicadores utilizados na análise custo-benefício, a emissão de CO<sub>2</sub>eq, segundo diferentes abordagens.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Políticas em vigor

Atualmente existe um apoio à utilização de filmes biodegradáveis, que se enquadra na Estratégia Nacional (EN) para Programas Operacionais Sustentáveis (PO) das Organizações de Produtores (OP) de frutas e produtos hortícolas. Este apoio enquadra-se num leque de 9 medidas que constituem o quadro ambiental da EN, sendo obrigatório que qualquer (PO) apresente 2 medidas ambientais ou 10% da sua despesa em ações ambientais, ou que 80% dos membros produtores produzam em modo de Proteção Integrada (PRODI) ou modo de Produção Biológica (MPB), sendo o recurso ao filme biodegradável uma das opções disponíveis no quadro ambiental. Desta forma, apenas produtores membros das OP que cumpram esses requisitos e tenham escolhido a medida de recurso ao filme biodegradável podem aceder ao incentivo (G.P.P., 2009).

O apoio é justificado pelo facto de a utilização de plásticos biodegradáveis permitir evitar a libertação no meio ambiente de resíduos que contaminam os solos, reduzindo a produção de resíduos que por vezes pode acontecer quando se utilizam plásticos convencionais. A adesão a esta medida (ação 7.6) é uma das escolhas possíveis dentro de um leque predefinido, podendo ser cumulativa e independente da escolha de outras medidas. O incentivo consiste numa taxa fixa *standard* de 52,2% comparticipada à OP, relativamente ao montante gasto em plásticos biodegradáveis (sendo que o IVA não é elegível), atribuído mediante a apresentação de fatura. Em termos de adesão, tendo por referência o ano de 2011, das 83 OP, 51 executaram PO e 3 OP da região de Lisboa e Vale do Tejo apresentaram despesas na ação 7.6, num total de cerca de 5000€, numa despesa global do conjunto dos PO, de 15 829 440€.

Estando-se atualmente numa fase de transição para um novo quadro comunitário, irá ser delineada uma nova EN, na qual se prevê que se mantenha esta medida, podendo haver alguma alteração quanto ao valor e/ou modo de comparticipação, em função das decisões que vierem a ser tomadas. No entanto, as perspetivas relativamente à evolução e ao incentivo desta prática no novo quadro de apoios comunitários são positivas, já que o quadro ambiental continua a ser obrigatório e a adesão à medida parece ter tendência a aumentar.



## 4.2. Ótica do agricultor

Do ponto de vista do agricultor, partido do princípio que as produtividades possíveis de obter são as mesmas, a decisão entre a utilização de filme convencional ou biodegradável baseia-se essencialmente no custo monetário associados à utilização de cada tipo de filme. A Tabela 4.1 faz uma listagem exemplificativa das principais rúbricas e custos associados ao material utilizado, tendo origem na conta de cultura do agricultor.

**Tabela 4.1. Custos e benefícios associados ao material de cobertura do solo na produção de pimento para fins industriais**

Unidade: €/há RÚBRICA	FILME DE COBERTURA UTILIZADO		
	PE Convencional	ABF s/ apoio	ABF c/ apoio
Aquisição do filme	382	779	Idem
Aplicação no campo	218	233	Idem
Remoção do campo	131	Não se aplica	Idem
Retorno plástico usado	42,5	Não se aplica	Idem
Apoios (Medida 7.6)	Não se aplica	Não se aplica	406,6
Custo total	688,5	1012	605,4
Diferença face ao PE	-	+323,5	-83,1

Não tendo acesso aos apoios existentes, a utilização do filme de PE convencional é a opção mais económica para o agricultor, conduzindo a uma redução de custos de 323,5€ por ha face à utilização do plástico biodegradável sem qualquer tipo de apoio. Nestas condições, a decisão lógica para o agricultor será continuar a utilizar os filmes plásticos convencionais.

Caso o agricultor faça parte de uma OP que tenha subscrito a medida 7.6 e reúna as condições para usufruir dos apoios existentes, então a opção pelo plástico biodegradável será mais vantajosa, custando menos 83,1€ por ha que o PE convencional. No entanto, uma vez que cada OP faz a escolha dos investimentos do seu PO conforme a sua disponibilidade orçamental e as necessidades e prioridades da OP e dos seus membros, é de realçar que a elegibilidade para este apoio não depende exclusivamente da vontade de cada agricultor, mas sobretudo do entorno organizacional em que este se insere.

### 4.3. Ótica do decisor político

A Tabela 4.2 constitui uma proposta de valoração dos impactos associados à utilização do PE convencional em comparação com a utilização do filme ABF, tendo como base as metodologias explicadas e aplicadas ao longo deste trabalho.

**Tabela 4.2. Valoração dos impactos associados à utilização do PE vs ABF**

INDICADOR	Diferença por ha (PE-ABF)	Valoração unitária (€)	Valor total do impacto (€/ha)
Emissões de CO <sub>2</sub> eq (t)	0,38	105,8	40,2
Utilização ENR (GJ)	8,2	1,45	11,9
Potencial de eutrofização (kg NO <sub>3</sub> )	11	0,7	7,7
	Custo externo do PE evitado com ABF		59,8

Pelos valores apurados, pode-se concluir que o custo associado à diferença em termos de toneladas de CO<sub>2</sub>eq adicionais emitidas pela utilização do PE convencional em oposição ao filme biodegradável é de 40,2€ por ha. Considerando apenas a maior necessidade de energia não renovável aquando da utilização de filmes convencionais, o valor dos impactos derivados ronda os 11,9€ por ha. Relativamente ao potencial de eutrofização, pode-se constatar que a utilização de plásticos biodegradáveis é também preferível, uma vez que evita impactos avaliados em 7,7€ por ha.

Na ótica do decisor político, deve-se incentivar determinadas práticas em detrimento de outras, se isso trouxer uma melhoria para a sociedade no seu todo. Os requisitos para que determinada mudança seja considerada uma melhoria nem sempre são consensuais, mas atualmente é comumente aceite que são preferíveis menores emissões de CO<sub>2</sub>, menor necessidade de energia de origem fóssil e um potencial de eutrofização gerado por determinada prática o menor possível. Não obstante, uma vez que estas assunções podem variar consoante o decisor em causa, decidiu-se apresentar os resultados da ACB social em função dos critérios considerados (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3. ACB na ótica do decisor político**

Critérios considerados	Custo externo da utilização PE (€/ha)	Rácio C/B Apoios (custo dos apoios = 406.6€/ha)
Emissões CO <sub>2</sub> eq (A)	40,2	10,1
Utilização de ENR (B)	11,9	34,2
Potencial de eutrofização (C)	7,7	52,8
A+B	52,1	7,8
A+B+C	59,8	6,8
	Custo total da utilização PE (€/ha)	Diferença face ABF s/apoio
Custo para o agricultor (D)	688,5	-323,5 €
D+A	728,7	-283,3 €
D+A+B	740,6	-271,4 €
D+A+B+C	748,3	-263,7 €

Considerando os três indicadores estudados, a utilização do filme de PE convencional em comparação com a utilização do filme ABF biodegradável representa um custo externo adicional de cerca de 60€ por ha, o que justifica a existência de incentivos à utilização de filmes biodegradáveis até esse montante.

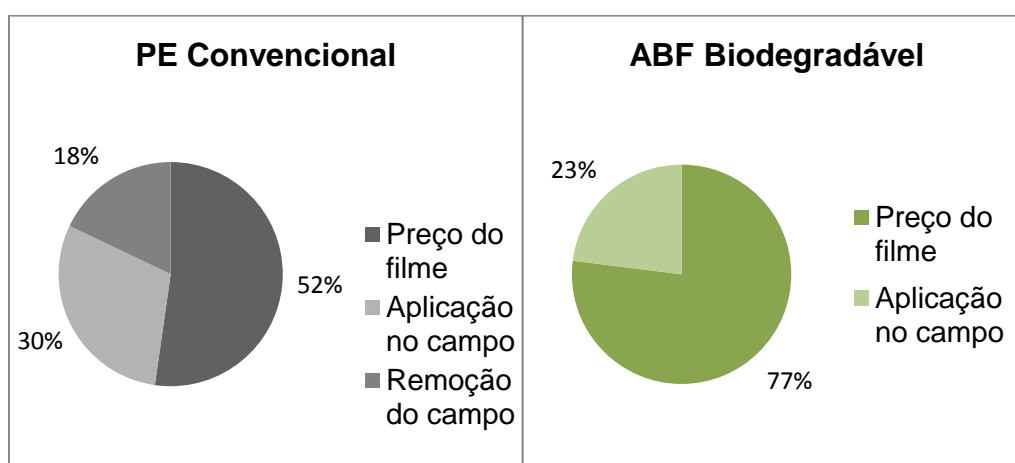
Numa primeira abordagem, o rácio custo-benefício dos apoios concedidos poderá parecer demasiado alto, uma vez idealmente não deveria ser superior a 1. A título de exemplo, considerando unicamente as emissões de CO<sub>2</sub>eq, são concedidos 10,1€ por cada 1€ de emissões reduzidas. Considerando os três critérios, o custo social total ascende aos 59,8€ e traduz-se num rácio custo-benefício de 6,8. No entanto, uma vez que a política em causa pressupõe adoção de uma nova técnica (mais especificamente, de um novo material), há que ter em conta uma grande resistência à mudança por parte dos agricultores, sobretudo num período inicial. Adicionalmente há que salientar que esta é uma análise estática, pelo que não inclui os efeitos dinamizadores que uma política deste género tem, no desenvolvimento de todo um setor associado a uma nova tecnologia. Este tipo de dinâmica desempenha um papel essencial no progresso tecnológico e desenvolvimento económico, pelo que o montante de subvenção atual, motor dessa dinâmica, poderá ser considerado não excessivo.

Considerando o montante de apoios concedidos no âmbito desta medida (cerca de 5000€ em 2011) e o montante de apoio por ha (estimado em 406,6€), chega-se à diminuta área de 12,3 ha cultivados com plástico biodegradável no âmbito da medida existente. Ora uma tão fraca adesão face a um benefício económico evidente para o agricultor (recorde-se, 83,3€ por ha beneficiando dos apoios à utilização do filme biodegradável), leva a crer que, ou existe uma forte oposição (ou simplesmente desconhecimento) à utilização destes materiais ou a arquitetura da política leva as OP a não apostar nesta medida.

## 4.4. Análise de sensibilidade

### 4.4.1. Ótica do agricultor

Pela ótica do agricultor, como anteriormente se concluiu, as decisões são baseadas essencialmente no custo que cada opção representa, uma vez que o objetivo final é o máximo lucro e a produção é a mesma em ambos os casos. Partindo deste princípio, considera-se que o agricultor apenas optará pela utilização de plásticos biodegradáveis caso os custos inerentes à sua utilização sejam iguais ou inferiores aos do plástico convencional. Através da análise da estrutura de custos de cada opção (Figura 4.1) é possível distinguir os diferentes fatores e a respetiva contribuição para o custo total.



**Figura 4.1. Estrutura de custos da utilização de cada filme (em %)**

A aplicação dos plásticos no campo destaca-se por representar uma importante fatia dos custos totais, correspondendo a 30% no plástico convencional e a 23% no plástico biodegradável. É, no entanto, pouco relevante para a análise de sensibilidade uma vez que a diferença absoluta entre o custo de aplicação dos dois tipos de plásticos é diminuta (mais 25€ no caso dos biodegradáveis), e a própria natureza destes custos, dependentes da mesma maquinaria e mão-de-obra em ambas opções, não favorece que ocorram evoluções contrárias. O mesmo não ocorre para o preço de aquisição do plástico, maior rubrica nas duas opções, uma vez que é expectável que o preço dos plásticos biodegradáveis venha a diminuir, à medida que a tecnologia se for banalizando e o número de fabricantes vá aumentando. Neste cenário, e sem o acesso a qualquer tipo de apoio, uma redução do preço do plástico biodegradável em 42% tornaria a sua utilização preferível para os agricultores.

#### 4.4.2. Ótica do decisor político

Na ótica do decisor político, a análise de sensibilidade reveste-se de especial importância, já que as repercussões de cada decisão podem afetar de forma diferente os diversos grupos de interesse dentro de cada sociedade. Desta forma, há que ponderar adequadamente não só os efeitos de determinada política, mas sobretudo estar consciente da sensibilidade desses efeitos face aos fatores externos que lhes são determinantes.

No longo prazo, fixando os apoios ao nível do custo social total (60€), seria necessário uma redução do preço do filme biodegradável em 34% para a sua utilização fosse economicamente mais vantajoso. No entanto, é expectável a manutenção do nível de subvenção, se bem que seria possível reduzir os apoios em até 20% (o que corresponde a uma taxa de comparticipação em relação ao preço de compra do plástico biodegradável de 42%), e a opção pelo biodegradável continuar a ser economicamente preferível.

Em termos dos indicadores utilizados a este nível na análise custo-benefício, considerou-se pertinente efetuar uma análise de sensibilidade ao valor do impacto associado à utilização do PE segundo diferentes abordagens ao problema de valoração do carbono.

**Tabela 4.4. Impacto associado à utilização do PE segundo várias perspetivas**

Valor do impacto associado (€/ha)	Valor atribuído à tonelada de CO <sub>2</sub> eq				
	min EU ETS (2007)	max EU ETS (2008)	Valor médio The Social Cost of Carbon (Watkiss, 2011)	max Tokyo Cap and Trade Program	max Stern Review, 2006
Diferença nas Emissões de CO <sub>2</sub> eq (t/ha) entre PE e ABF	0,10 €	30,00 €	105,8 €	109,23 €	300,00 €
0,38	0,04 €	11,40 €	40,2 €	41,51 €	114,00 €
ACB Social (Diferença de custos entre PE e ABF)	-303,87 €	-292,51 €	-263,71 €	-262,40 €	-189,91 €

Partindo de um impacto de 40,2€ por ha considerado nesta ACB, chega-se a um intervalo de valores de impacto entre os 0,04€ e os 114€ por ha. Esta gama de valores contrastantes é compatível com a multiplicidade de abordagens possíveis relativamente à valoração das emissões de CO<sub>2</sub>. Numa análise puramente estática, nem mesmo considerando o valor calculado por Stern, tornaria a ACB favorável ao nível de subvenção atual (recorde-se, 406,6€ por ha). Uma vez mais, há que lembrar as barreiras existentes e o efeito tecnológico dinâmico deste género de política, que justificam este nível de incentivos.

## 4.5. Outras considerações

Além do fator económico, outra das principais reservas que os agricultores portugueses manifestam face à utilização dos filmes biodegradáveis prende-se com a sua adequação às necessidades da cultura e às características do ano em vigor. Isto porque uma primeira geração de plásticos degradáveis chegou a ser amplamente divulgada e experimentada durante a última década, não apresentando resultados satisfatórios em termos agronómicos.

Um outro facto a ter em conta, na ótica do agricultor, prende-se com a disponibilidade da mão-de-obra face às necessidades. Apesar de alguns estudos sugerirem que a utilização de plástico biodegradável poderá facilitar a adoção de uma colheita mecanizada na cultura do pimento num futuro próximo, este facto ainda não pesa na decisão do agricultor. Isto porque nas condições atuais de relativa abundância de mão-de-obra, e na imprescindibilidade desta para certas tarefas (sobretudo se o agricultor se dedica a outras culturas), é preferível manter um nível relativamente constante de dependência do trabalho manual de forma a otimizar os recursos ao longo da campanha agrícola. Não obstante, uma vez que forem ultrapassados os principais condicionantes da colheita mecanizada de pimento, sobretudo em termos da homogeneidade da maturação, e se torne claramente mais vantajoso esse nível de mecanização, o plástico biodegradável tornar-se-á bastante mais atrativo senão mesmo imprescindível.

Da parte dos produtores do plástico biodegradável, os elevados preços praticados, justificam-se, entre outros fatores, pela reduzida quantidade procurada em termos nacionais, que não justifica a existência de uma unidade de produção unicamente dedicada a este produto. Devido aos custos fixos inerentes à produção de qualquer quantidade de filme biodegradável, o seu preço está muito relacionado com o intervalo de quantidade procurado. No entanto, se a adesão a este material for aumentando, poder-se-ão obter maiores economias de escala na sua produção, o que permitirá praticar preços mais atrativos para os agricultores.

Relativamente às necessidades dos consumidores, estes têm-se tornado cada vez mais conscientes e exigentes no que toca as características do produto final e sobretudo do seu processo de produção, assumindo um papel cada vez mais ativo que tem vindo a impor alterações na relação produtor-distribuidor-consumidor. Este fenómeno deu origem à expressão “from fork to farm” contrariando a antítese mais conhecida, e tem ocorrido com especial incidência em mercados mais desenvolvidos como o Reino Unido e os países

nórdicos, mercados-alvo de algumas exportações agroindustriais de relevância, como o caso do pimento. Ora, parte das exigências reivindicadas por consumidores destes países, estão relacionadas com o modo de produção dos produtos, sendo dada primazia a práticas consideradas mais amigas do ambiente. Neste âmbito, não é de excluir que nos próximos anos se gere uma pressão ao nível do consumidor no sentido da adoção dos plásticos biodegradáveis, o que por sua vez obrigaria a rever as boas praticas impostas pelas agroindústrias exportadoras aos seus agricultores.

Em termos das políticas em vigor, os apoios concedidos à utilização de plásticos biodegradáveis só são possíveis de obter cumprindo determinados requisitos mas o seu cumprimento não é condição suficiente para aceder a esse apoio. A título de exemplo, pode dar-se o caso de um agricultor ser membro de uma OP, cumprir todos os requisitos e estar interessado em usufruir do apoio à utilização de PB e não o poder fazer por esse apoio não constar da lista de prioridades da sua OP. Há pois que questionar se a arquitetura destas políticas é a que mais se adequa à realidade das explorações agrícolas do país, face aos objetivos que se propõem alcançar e tendo em conta as exigências da UE.

Por fim, uma outra possibilidade para mitigar os impactos ambientais decorrentes da utilização de filmes de PE, seria enquadrá-los num sistema de compensações como o Valorfito, à semelhança do que ocorre com outros resíduos provenientes da agricultura nomeadamente as embalagens dos produtos químicos utilizados. Uma vez que já existe um circuito em funcionamento que preconiza a reciclagem e a reutilização dos resíduos de PE, as vantagens de um sistema deste género seriam por um lado a pressão em alta sobre o preço de mercado dos filmes de PE que tornaria mais atrativa a utilização do plástico biodegradável, e por outro a geração de um fluxo financeiro que poderia ser diretamente aplicado em ações de carácter ambiental (como por exemplo a plantação de árvores).

## 5. CONCLUSÕES

Ao nível de desempenho técnico, toda a pesquisa realizada no âmbito do projeto em que esta dissertação se enquadra, sugere que o filme biodegradável permite obter desempenhos equiparáveis aos do plástico convencional. A nível económico, a sua utilização é preferível, caso o agricultor se encontre em condições de beneficiar dos incentivos existentes. Caso não tenha acesso a esses apoios, a utilização do filme de PE convencional continua a ser mais económica.

Além do fator económico existem outras razões pelas quais a adesão a este tipo de material é ainda bastante limitada. Existe, por exemplo, uma forte resistência à adoção deste material, fruto de más experiências com plásticos degradáveis de gerações anteriores e motivos relacionados com a gestão da mão-de-obra ao longo da campanha agrícola. Pode-se também admitir um desconhecimento da existência de apoios à adoção desta prática ou o acesso aos mesmos se encontrar dificultado pela própria arquitetura da medida. Sem qualquer tipo de subvenção, seria necessário uma redução de 42% no preço do filme biodegradável para que este se tornasse economicamente vantajoso face ao PE.

Em termos dos impactos associados à utilização do PE, chegou-se à conclusão que, quando comparados com os filmes ABF, os filmes convencionais acarretam um custo externo adicional, sobretudo por via das diferenças em termos de emissões de CO<sub>2</sub>eq ao longo do ciclo de vida de cada um dos materiais. Ora este facto, no contexto das alterações climáticas e das metas europeias de redução de emissões de GEE, justifica a existência de incentivo à adoção da prática mais sustentável. Este argumento pode ainda ser reforçado, se se tiver em linha de conta os impactos derivados do maior potencial de eutrofização e da maior quantidade de energia não renovável necessária para a produção do filme de plástico convencional.

Relativamente ao doseamento dos apoios, tendo em conta a resistência à mudança por parte dos agricultores e o efeito dinâmico associado a este género de políticas, torna-se aceitável o seu elevado rácio custo-benefício e recomendável a manutenção do nível de incentivo atual. No longo prazo, será desejável aproximar o valor atribuído por ha ao custo social estimado, para evitar a existência de distorções permanentes no mercado. O enquadramento dos filmes de PE num sistema semelhante ao Valorfito seria uma outra possibilidade bastante interessante para a internalização e mitigação dos impactos considerados.



Tendo como objetivo o aumento da utilização dos filmes biodegradáveis, uma maior facilidade no acesso aos apoios concedidos, podendo essa decisão ser tomada diretamente pelo agricultor, traria resultados bastante positivos. Simultaneamente, seria útil que os agentes interessados promovessem uma campanha no sentido de clarificar alguns mitos e de distinguir os diferentes tipos de plástico degradável existentes no mercado.

Relativamente a outras alterações expectáveis que poderão ocorrer no sentido de uma maior adoção do plástico biodegradável, destaca-se a possibilidade da imposição da sua utilização por parte de algumas agroindústrias pressionadas pelos consumidores de mercados mais exigentes, ou então uma inovação tecnológica que faça da colheita mecânica uma prática generalizada e indissociável do plástico biodegradável.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J., Maslin, M., e Thomas, E. (2007). Sudden climate transitions during the Quaternary. Progress in Physical Geography [www.esd.ornl.gov/projects/qen/transit.html](http://www.esd.ornl.gov/projects/qen/transit.html)
- Ahmann, D. e Dorgan, J.R. (2007) Bioengineering for Pollution Prevention through Development of Biobased Energy and Materials: State of the Science Report. EPA, Washington DC
- Agência Portuguesa do Ambiente. [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt), consultado a 24/04/2014
- AGROBIOFILM (2013). Compostable Films for Agriculture. [www.agrobiofilm.eu/pt/](http://www.agrobiofilm.eu/pt/)
- Almeida, D. (2006). Manual de Culturas Hortícolas. Volume II. Editorial Presença, Lisboa
- Almeida, D. e Reis, M. (2009). Engenharia Hortícola. 4. Cobertura do solo. Vida Rural 1752:41-42.
- ANDI, Agência de Notícias dos Direitos da Infância (2014). Projeto Mudanças Climáticas e Mídia. [www.mudancasclimaticas.andi.org.br/](http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/)
- ASTM D6400-04 Standard specifications for compostable plastics. ASTM International
- ASTM D6866-12 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis. ASTM International
- Berner, R.A. e Lasaga, A.C. (1989). Modeling the geochemical carbon cycle
- Berglund, R. (2006). Organic Production of Strawberries – Focus on practical applications. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences
- Bolin, B., Döös, B. R., Jäger, J., e Warrick, R. A. (1986). The greenhouse effect, climatic change and ecosystems. John Wiley & Sons
- Boscolo, M., Vincent, J. R., e Panayaotou, T. (1998). Discounting Costs and Benefits in Carbon Sequestration Projects. Environment Discussion Paper No. 41
- Briassoulis, D. (2004). An overview on the mechanical behavior of biodegradable agricultural films. Journal of Polymers and Environment 12:65-81
- Briassoulis, D. (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. Polymer Degradation and Stability 91: 1256-1272
- Briassoulis, D. e Dejean, C. (2010). Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics. Part 1. Biodegradation in soil. Journal of Polymers and Environment, 18:384-400
- Briassoulis, D., Hiskakis, M., Babou, E., Antiohos, S. K., e Papadi, C. (2012). Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential. Waste Management 32:1075.109
- Brink, C. e van Grinsven, H. (2011). Costs and benefits of nitrogen in the environment. The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press
- Caldeira-Pires, A., Rabelo, R.R. e Xavier, J.H.V. (2002). Uso potencial da Análise do Ciclo de Vida (ACV) associada aos conceitos da produção orgânica aplicados à agricultura familiar. Cadernos de ciência e tecnologia, 19 (2), 149-178. [seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8802](http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8802)
- Campos de Oliveira, G. C. C. (2013). Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Biomassa Torrefada para a Gaseificação. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas. Publicação: ENM.DM-202A

Chaddad, F. R., M. L. Cook, e T. Heckelei (2005). Testing for the presence of financial constraints in us agricultural cooperatives: An investment behaviour approach. *Journal of Agricultural Economics* 56 (3), 385–397

ClimateWorks Australia (2013). How to read a marginal abatement cost curve.  
<http://www.climateworksaustralia.org/project/national-plan/how-read-marginal-abatement-cost-curve>

Comissão Europeia (2012). The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook

Comissão Europeia (2008). The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB). Interim report 2008

Comissão Europeia (2007). Comunicação da Comissão ao Conselho Europeu e ao Parlamento Europeu: "Uma política energética para a Europa"  
[europa.eu/legislation\\_summaries/energy/european\\_energy\\_policy/l27067\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27067_pt.htm)

Comissão Europeia (2003). External Costs – Research results on socioenvironmental damages due to electricity and transport

Costa, R. Saraiva, A., Carvalho, L. e Duarte, E. (2014). The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. *Scientia Horticulturae* 173 65–70

Couto, L. C. C. B. (2012). Custos Marginais de Abatimento de Gases de Efeito Estufa no Brasil: Uma Análise Industrial  
[ww2.ie.ufrj.br/images/gema/Gema\\_Monografias/Monografias\\_2012/MONOGRAFIA\\_Lilia\\_ps\\_defesa.pdf](http://ww2.ie.ufrj.br/images/gema/Gema_Monografias/Monografias_2012/MONOGRAFIA_Lilia_ps_defesa.pdf)

Dantas, G. A. (2008). O Impacto dos Créditos de Carbono na Rentabilidade da Cogeração Sucroalcooleira Brasileira. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Economia e Gestão.

Dias, C. A. e Soares, S. (2014). Direito das Energias Renováveis. Leya.

DIN NF U52-001(2005). Biodegradable materials for use in agriculture and horticulture - Mulching products - Requirements and test methods

dos Santos, M.C. e Fernandes, A. C. (2012). Modelo Dinâmico de Sistemas para Avaliar Emissões Atmosféricas na Indústria de Petróleo e Gás. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

EN 13206 – Comité Europeu de Normalização CEN/TC 249. Documento prEN 13206:1998 Covering thermoplastic films for use in agriculture and horticulture. Brussels

EN 13655 – Comité Europeu de Normalização CEN/TC 249. Documento prEN 13655:2001 (draft European Standards). Plastics – mulching thermoplastics films for use in agriculture and horticulture. Brussels

EN 14995 – Comité Europeu de Normalização CEN/TC 249. Documento EN 14995:2006 Plastics - Evaluation of compostability - Test scheme and specifications. Brussels

Erkman, S. (1997). Industrial ecology: an historical view. *Journal of cleaner production*, 5(1), 1-10  
[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652697000036](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652697000036)

FHWA (2002). Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: 2002 Conditions and Performance Report. United States Department of Transportation.  
[www.fhwa.dot.gov/policy/2002cpr/ch10.htm](http://www.fhwa.dot.gov/policy/2002cpr/ch10.htm)

Garth, J. e Kowal, P. (1993). Resource Recovery, Turning Waste into Energy. State Agricultural College Agricultural and Biological Engineering and Council for Solid Waste Solutions

Giannetti, B. F., Almeida, C., Bonilla, S. e Ribeiro, C. (2008). Inventário de ciclo de vida da manufatura de seringas odontológicas. *Produção*, v. 18, n. 1, p. 155-169  
[www.scielo.br/pdf/prod/v18n1/a12v18n1.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/v18n1/a12v18n1.pdf)

Góes, F. e Goulart, I. (2009). *Ecologia Industrial - Artigo sobre o Ecoprojeto*. Centro de Desenvolvimento Profissional e Tecnológico. [www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-Ambiental/ecologia-industrial-artigo-sobre-o-ecoprojeto.html](http://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-Ambiental/ecologia-industrial-artigo-sobre-o-ecoprojeto.html)

Goldemberg, J. e Villanueva, L. D. (2003). *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo:EDUSP

Graedel, T. E. (2010). *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. School of Forestry and Environmental Studies. Yale University

Graci, A., Luciano, A., Zaragoza, C. L. e Aibar, J. L. (2008). *Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta de suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.  
[zaguan.unizar.es/record/1883/files/TUZ\\_0006\\_AA\\_polietileno.pdf](http://zaguan.unizar.es/record/1883/files/TUZ_0006_AA_polietileno.pdf)

Green Book (2004). *Appraisal and Evaluation in Central Government*. HMT. [http://www.hm-treasury.gov.uk/economic\\_data\\_and\\_tools/greenbook/data\\_greenbook\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/economic_data_and_tools/greenbook/data_greenbook_index.cfm)

Greenstone, M. e Looney, A. (2012). *Paying Too Much for Energy? - The True Costs of Our Energy Choices*. MIT Center for Energy and Environment Policy Research

Gren, I.M., Jonzon, Y. e Lindqvist, M. (2008). *Costs of Nutrient Reductions to the Baltic Sea: Technical Report, Working paper 2008:1*. Department of Economics, SLU, Uppsala

G.P.P., Gabinete de Planeamento e Políticas (2014). [www.gpp.pt/](http://www.gpp.pt/), consultado a 21/03/2014

Iles, A. e Martin, A. (2013). *Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry*. *Journal of Cleaner Production*. Volume 45:38-49

INE, Instituto Nacional de Estatística (2014). *Estatísticas Agrícolas 2013*

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*

Hanley, N. e Spash, C. (1993). *Cost-benefit analysis and the environment*. Edward Elgar, Akldershot, pp. 3-126.

Hirschberg, S., Dones, R., Heck, T., Burgherr, P. Schenler, W. e Bauer, C. (2004). *Sustainability of Electricity Supply Technologies under German Conditions: A Comparative Evaluation*. Comprehensive Assessment of Energy Systems (GaBe). Paul Scherrer Institute.  
[www.psi.ch/ta/ilkEN/ILK\\_PSI%20Report\\_04-15.pdf](http://www.psi.ch/ta/ilkEN/ILK_PSI%20Report_04-15.pdf)

Hoag, D.L.K., Luloff, A.E. e Osmond, D.L. (2012). *Socioeconomic Analysis: National Institute of Food and Agriculture – Conservation Effects Assessment Project*. Soil and Water Conservation Society.  
[www.swcs.org/documents/filelibrary/conservation\\_programs\\_to\\_protect\\_water\\_quality/Chapter6\\_796F5CE52945.pdf](http://www.swcs.org/documents/filelibrary/conservation_programs_to_protect_water_quality/Chapter6_796F5CE52945.pdf)

Kasirajan S. e Ngouajio, M. (2012). *Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review*. *Agronomy for Sustainable Development* 32:501-529.

Kateregga, E. (2012). *Economic analysis of strengthening the governance of pesticide management in Uganda's agriculture setor*. *International Journal of Development and Sustainability Online*, Volume 1, Number 2: Pages 527-54. [idsnet.com/ijds-v1n2-36.pdf](http://idsnet.com/ijds-v1n2-36.pdf)

- Knight, L. (2014). A brief history of plastics, natural and synthetic. BBC News Magazine. [www.bbc.com/news/magazine-27442625](http://www.bbc.com/news/magazine-27442625)
- Kyrikou I. e Briassoulis D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. *J Polym Environ* 15:125–150
- Lament, WJ (1993). Plastic Mulches for the Production of Vegetable Crops. *HortTechnology* January-March 1993 vol. 3 no. 1 35-39. [horttech.ashspublications.org/content/3/1/35.short](http://horttech.ashspublications.org/content/3/1/35.short)
- Lamont, W. (1991). The Use of Plastic Mulches for Vegetable Production. [www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110815112145](http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110815112145)
- Lamont, W. (1999). Vegetable Production Using Plasticulture. [www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110808093747](http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110808093747)
- Lepoutre. (nd). The manufacture of polyethylene. [nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10J.pdf](http://nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10J.pdf)
- Lester, Gabriel (nd). History and Physical Chemistry of HDPE. The Plastics Pipe Institute Inc.. [plasticpipe.org/pdf/chapter-1\\_history\\_physical\\_chemistry\\_hdpe.pdf](http://plasticpipe.org/pdf/chapter-1_history_physical_chemistry_hdpe.pdf)
- Marczak, R. J. (2004). Polímeros como materiais de engenharia. Porto Alegre. UFRGS
- Minuto, G., Guerrini, S., Versari, M., Pisi, L., Tinivella, F., Bruzzone, C., Pini, S. e Capurro, M. (2006). Use of biodegradable mulching in vegetable production. 16th IFOAM Organic World Congress
- Motta, R. S. D., Couto, L. C., e Castro, L. (2012). Curvas de custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil: resenha e oportunidades de mitigação. [repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1053](http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1053)
- Narayan, R. e Pettigrew, C. (1999). ASTM Standards Help Define and Grow a New Biodegradable Plastics Industry. *ASTM Standardization News*. [www.msu.edu/~narayan/astmarticlebiodegplastics.pdf](http://www.msu.edu/~narayan/astmarticlebiodegplastics.pdf)
- Narayan, R. (2001). Drivers for biodegradable/compostable plastics and role of composting in waste management and sustainable agriculture. *Bioprocessing of Solid Waste and Sludge*. [www.msu.edu/~narayan/germanycompostingpaper.htm](http://www.msu.edu/~narayan/germanycompostingpaper.htm)
- Nordhaus, W. (2011). Estimates of the Social Cost of Carbon, Background and Results from the RICE-2011 Model. *Cowles Foundation Discussion Paper No. 1826*. [www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/CFDP1826.pdf](http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/CFDP1826.pdf)
- Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agroalimentares. [www.observatorioagricola.pt/](http://www.observatorioagricola.pt/)
- Parente, Ricardo Alves (2006). Elementos estruturais de plástico reciclado. Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde19072006095941/publico/2006ME\\_RicardoAParente.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde19072006095941/publico/2006ME_RicardoAParente.pdf)
- Plastics Europe (2013). *Plastics – the Facts 2013*. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Association of Plastic Manufacturers. [www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts2013.aspx?FoIID=2](http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts2013.aspx?FoIID=2)
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D. e van der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural systems*, 65(2), 113-136. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X00000317](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X00000317)

- Rafaj, P. (2005). Analysis of Policies Contributing to Sustainability of the Global Energy System Using the Global Multiregional. Paul Scherrer Institute.  
[www.psi.ch/eem/PublicationsTabelle/dis2005\\_rafaj.pdf](http://www.psi.ch/eem/PublicationsTabelle/dis2005_rafaj.pdf)
- Recipolymers, Reciclagem de Polímeros (nd). Brochura de apresentação. Grupo Ambrigoup.  
[www.ambigroup.com/documentos/brochura\\_recipolymers.pdf](http://www.ambigroup.com/documentos/brochura_recipolymers.pdf)
- Rodrigues, W., Magalhães, K. A., Silveira, M. A. e Filho, L. N. M. (2011). Análise Econômica da Sustentabilidade da Cadeia Produtiva de Etanol de Batata-Doce no Estado do Tocantins //e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/viewArticle/5056
- Romeiro, A. R. (2012). Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. Dossiê Sustentabilidade. Estudos avançados, vol.26, no.74. [www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100006&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100006&script=sci_arttext&tlng=es)
- Rosen, H. e Gayer, T. (2010). Public Finance. McGraw-Hill/Higher Education.
- Sampaio, R. A. e Araújo, W. F. (2001). Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. Agropecuária Técnica v.22 nº1/2. Areia, PB, CCA-UFPB
- Santagata, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Schettini, E., Scarascia Mugnozza, G. e Vox, G. (2014). An Overview of Biodegradable Films and Spray Coatings as Sustainable Alternative to Oil-Based. SHS Ata Horticulturae 1037. [www.actahort.org/books/1037/1037\\_122.htm](http://www.actahort.org/books/1037/1037_122.htm)
- Saraiva, A., Costa, R., Carvalho, L. e Duarte, E. (2012). The use of biodegradable mulch films in muskmelon. Journal of Agricultural Science and Review Vol. 1(4) p. 8-95 October 2012
- Scarascia-Mugnozza G., Sica C. e Russo G. (2011). Plastic materials in European agriculture: atual use and perspectives, Journal of Agricultural Engineering. 3, 15:28
- Searchinger, T. Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D. e Yu, T. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science 319:1238.  
[www.ic.ucsc.edu/~wxcheng/envs23/lecture18/Searchinger\\_etal\\_Science08.pdf](http://www.ic.ucsc.edu/~wxcheng/envs23/lecture18/Searchinger_etal_Science08.pdf)
- Silva, R. M. e Primo, M. A. M. (2013). Framework para Análise da Sustentabilidade de Fontes de Energia. Interciencia 2013 38 (11). [www.interciencia.org/v38\\_11/760.pdf](http://www.interciencia.org/v38_11/760.pdf)
- SPI (nd). Plastics Industry Trade Association. History of plastics.  
[www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=670&navItemNumber=1117](http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=670&navItemNumber=1117)
- Stern, N. H. (2006). Stern Review: The economics of climate change. London: HM treasury
- TNAU (nd). Tamil Nadu Agricultural University. Plastic Mulching for Crop Production.  
[/www.agritech.tnau.ac.in/agricultural\\_engineering/plastic\\_mulching.pdf](http://www.agritech.tnau.ac.in/agricultural_engineering/plastic_mulching.pdf)
- União Europeia (2013). The EU Emissions Trading System (EU ETS). Publications Office
- Watkiss, P. e Downing, T. E. (2008). The social cost of carbon: Valuation estimates and their use in UK policy. The Integrated Assessment Journal Vol. 8 Iss 1 Pp. 85-105
- Willers, C. D., Rodrigues, L. B. e Silva, C. A. (2013). Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. Production, 23 (2), 436-447.
- Zambon, B. P., e Ricco, A. S. (2011). Sustentabilidade empresarial: uma oportunidade para novos negócios.