

2010

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Produção e Sistemas

Maria Patrícia Gomes Carneiro

Avaliação Económica da Biomassa para a Produção de Energia

Trabalho realizado sob orientação da:
Professora Doutora Paula Ferreira

Maria Patrícia, MEI
Universidade do Minho
25-10-2010



É autorizada a reprodução integral desta tese apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Paula Varandas Ferreira do departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, pelos ensinamentos, pela permanente disponibilidade e indispensável ajuda prestada durante o período da pesquisa, pela sua compreensão, e também por ouvir com real interesse todas as questões, dúvidas e problemas que surgiram durante a realização deste projecto. Um particular agradecimento, por todo o tempo que dispensou e pela ajuda prestada na escrita da dissertação.

Aos meus pais, ao meu irmão e à minha amiga e colega Elsa Sousa pelo incentivo e compreensão. Um agradecimento especial ao Nuno Victor pela presença constante.

Resumo

A fim de reduzir a dependência energética e garantir a segurança do abastecimento nacional, o aumento do peso relativo da energia primária produzida em Portugal é um objectivo fundamental e estratégico. Isso só pode ser alcançado com a utilização crescente dos recursos energéticos endógenos, nomeadamente da biomassa. A importância da biomassa em Portugal foi recentemente sublinhada no Plano Estratégico Nacional para a Energia (ENE 2020), ressaltando a contribuição deste sector para os objectivos ambientais, económicos e sociais.

Pretende-se com base no estudo e no desenvolvimento do tema que se expõe, apresentar uma avaliação económica da produção de energia a partir de biomassa, através de um levantamento dos custos financeiros e sociais dos projectos. Na primeira etapa deste projecto procedeu-se á caracterização da produção de energia a partir da biomassa, detalhando a situação actual e perspectivas futuras na UE e em Portugal, recorrendo a pesquisa bibliográfica. A avaliação económica baseou-se no levantamento prévio dos custos financeiros e sociais tendo em consideração as diferentes formas de biomassa existentes. Na análise foi ainda tido em conta o sistema de apoio às energias renováveis, nomeadamente as tarifas *feed-in* em Portugal.

A análise foi baseada numa cultura energética (*miscanthus*) assumida como uma alternativa promissora para a região de Portugal. Os resultados da simulação económica indicaram que quando o custo social total (custos financeiros e externos) é considerado, a proposta da tarifa *feed-in* pode não ser suficiente para atrair investidores. Além disso, torna-se evidente que os preços dos combustíveis representam a maior fatia dos custos representando cerca de 43% do custo total financeiro. Desta forma, os trabalhos futuros deverão abordar mais detalhadamente a questão da escolha das culturas energéticas apropriadas para Portugal, um parâmetro que influencia significativamente a viabilidade financeira do projecto. Quanto aos aspectos sociais, a bioenergia pode trazer benefícios consideráveis para Portugal tanto a nível nacional como à escala regional. Embora os custos externos continuem a representar uma parte considerável do custo total social, é importante notar que é difícil determinar as externalidades de biomassa com precisão, devido à heterogeneidade desta fonte. Uma vez mais, os trabalhos futuros deverão contemplar a determinação destes custos externos para o caso particular de Portugal.

Abstract

In order to reduce the energy dependency and guarantee the security of national supply, the increase of the relative weight of the primary energy produced in Portugal is a strategic and fundamental objective. This may only be achieved with the growing utilization of endogenous energy resources. Biomass is expected to have fundamental role on the achievement of the energy goals, namely for electricity generation. The importance of biomass in Portugal was recently underline in the Energy National Strategic Plan (ENE 2020), highlighting the contribution of this sector for the environmental, economic and social objectives.

The main objective of this paper is to present an economic evaluation of electricity production from biomass. The study is based on a survey of the financial and social costs, to be included on the analysis of these projects in Portugal. In the first phase of this research the characterization of the energy production from biomass is presented, detailing the current situation and future perspectives in the European Union and in Portugal. Bibliographical research was undertaken for this matter. For the economic evaluation study, both financial and social costs were included and different biomass fuels were considered. The Portuguese support system and feed-in tariff for renewable energy sources were also taken into account.

The analysis was based in an assumed energy culture (*miscanthus*) as a promising alternative for the region of Portugal. The results of the economic simulation indicated that when the total social cost (financial and external costs) is to be considered, the proposed feed-in tariff may not be enough to attract investors. Also, it becomes evident that fuel prices represent the highest share of costs, reaching about 43% of the total financial cost. Future works should address in more detail the question of choosing the appropriate energy cultures for Portugal, a parameter that influences significantly the financial viability of the project. Regarding social aspects, bioenergy can bring considerable benefits to Portugal both at national and regional levels. Although the external costs still represent a considerable amount of the total social cost, it's important to notice that the heterogeneity of biomass turns difficult the precise determination of the externalities. Once again, the future works should contemplate the determination of these external costs for the specific Portuguese case.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	IV
Abstract.....	V
Índice.....	VI
Índice de tabelas.....	IX
Índice de figuras.....	XI
Lista de abreviaturas.....	XII
Definições	XIII
Símbolos.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos da Dissertação	4
1.3. Metodologia.....	4
1.4. Estrutura da Dissertação	5
2. CARACTERIZAÇÃO DO SECTOR DE ENERGIA	8
2.1. Introdução.....	8
2.2. Energia no Mundo e na Europa	9
2.3. Energia em Portugal.....	14
2.3.1. Centrais de Biomassa.....	18
2.4. Conclusões.....	19
3. ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	22
3.1. Introdução.....	22
3.2. Evolução Energética	23
3.3. Caracterização geral da Biomassa	26
3.3.1. Conversão da Biomassa em Energia	28

3.4.	Conclusões.....	29
4.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS: A BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA.....	32
4.1.	Introdução.....	32
4.2.	Situação Actual e Futura da Biomassa	34
4.2.1.	Potencial da Biomassa	35
4.3.	Produção Dedicada para Fins Energéticos - Culturas Energéticas.....	41
4.3.1.	Competição entre as Culturas Tradicionais e as Culturas Energéticas.....	47
4.3.1.1.	Culturas Agrícolas para a Produção de Energia.....	50
4.3.1.2.	Culturas Energéticas – Caso particular de Portugal.....	52
4.4.	Biomassa - Valorização de Resíduos	54
4.5.	Perspectivas Futuras para a Biomassa	58
4.1.	Conclusões.....	61
5.	ANÁLISE ESTRATÉGICA.....	63
5.1.	Introdução.....	63
5.2.	Análise <i>SWOT</i> da Biomassa aplicada ao caso Português	65
5.3.	Conclusões.....	74
6.	ANÁLISE SOCIAL	77
6.1.	Introdução.....	77
6.2.	Custos Sociais - Estudo de Externalidades	78
6.2.1.	Internalização das Externalidades.....	80
6.2.2.	Medição das Externalidades – Selecção de Indicadores de Sustentabilidade	82
6.2.3.	Quantificação dos Externalidades.....	84
6.3.	Conclusões.....	91
7.	ANÁLISE ECONÓMICA	93
7.1.	Introdução.....	93
7.2.	Custos de Projectos de Biomassa.....	95
7.2.1.	Custos de Investimento	95
7.2.2.	Custos de Operação e Manutenção	96
7.2.3.	Custos de Combustível	97

7.3.	Estimativas das variáveis económicas relevantes.....	102
7.3.1.	Capacidade Instalada	102
7.3.2.	Factor de carga.....	103
7.3.3.	Tempo de vida	104
7.3.4.	Custos de investimento	105
7.3.5.	Custos de operação e manutenção	106
7.3.6.	Custos de combustível	107
7.3.7.	Tarifas	109
7.3.8.	Custos externos	110
7.3.9.	Eficiência de conversão	111
7.3.10.	Parâmetros económicos	112
7.4.	Avaliação de projectos de Biomassa em Portugal.....	114
7.4.1.	Resultados e Conclusões.....	116
7.4.2.	Análise de Sensibilidade	123
7.5.	Conclusões.....	138
8.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	142
8.1.	Conclusões.....	142
8.2.	Trabalho Futuro	145
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
10.	ANEXOS.....	167

Índice de tabelas

Tabela 1 – Evolução da energia eléctrica produzida a partir da biomassa (GWh).....	16
Tabela 2 – As energias renováveis no balanço energético (Unidade: 10 ³ tep).....	18
Tabela 3 – Grandes Acordos Mundiais sobre o Meio Ambiente.....	23
Tabela 4 – Barreiras económicas da biomassa.....	60
Tabela 5 – Barreiras técnicas da biomassa.....	60
Tabela 6 – Barreiras logísticas da biomassa.....	60
Tabela 7 – Barreiras internacionais da biomassa.....	60
Tabela 8 – Custos externos para a produção de electricidade em alguns países da EU para as tecnologias de biomassa.....	86
Tabela 9 – Custos externos de diversas fontes energéticas (Euro-c/kWh).....	87
Tabela 10 – Custos financeiros da energia fornecida (Euro-c/kWh).....	88
Tabela 11 – Indicadores unitários e o total estimado para as tecnologias de biomassa e eólica para a geração de energia eléctrica.....	89
Tabela 12 – Externalidades de uma central de biomassa (20 MW) e de uma central a carvão (150 MW).....	90
Tabela 13 – Custos sociais da produção de electricidade através da central de biomassa e da central de carvão.....	90
Tabela 14 – Custos que contribuem para o custo total de um sistema de produção de culturas energéticas.....	101
Tabela 15 – Capacidade instalada para centrais de biomassa.....	102
Tabela 16 – Factor de carga do caso particular da biomassa em Portugal.....	104
Tabela 17 – Tempo de vida das centrais de biomassa.....	105
Tabela 18 – Custos de investimento das centrais de biomassa.....	105
Tabela 19 – Custos de Operação e Manutenção das centrais de biomassa.....	106
Tabela 20 – Custos de combustível.....	108
Tabela 21 – Tarifas de electricidade em Portugal.....	109
Tabela 22 – Tarifas <i>feed-in</i> para a biomassa em vários países da UE.....	109
Tabela 23 – Custos externos associados às centrais de biomassa.....	110
Tabela 24 – Taxa de desconto associada a projectos económicos de biomassa.....	113
Tabela 25 – Dados considerados para o caso de estudo das culturas energéticas em Portugal.....	116
Tabela 26 – Resultados para o cenário hipotético do <i>miscanthus</i>	116
Tabela 27 – Dados considerados para a biomassa florestal para o caso particular de Portugal.....	118
Tabela 28 – Dados considerados para os RSU para o caso particular de Portugal.....	118
Tabela 29 – Resultados para o cenário hipotético da biomassa florestal e do RSU em Portugal.....	119
Tabela 30 – Custos financeiros e sociais de uma central a gás natural, de um parque eólico e de uma central de biomassa proveniente de culturas energéticas em Portugal.....	122
Tabela 31 – Variação dos custos com a taxa de desconto para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	124
Tabela 32 – Variação dos custos com a taxa de desconto para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	125
Tabela 33 – Variação do factor de carga para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	126
Tabela 34 – Variação dos custos totais com o factor de carga para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	127
Tabela 35 – Variação da eficiência de conversão para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	128
Tabela 36 – Variação dos custos com a eficiência de conversão para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	129

Tabela 37 – Variação dos custos com a capacidade instalada para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	130
Tabela 38 – Variação dos custos com a capacidade instalada para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	130
Tabela 39 – Variação dos custos com a tarifa <i>feed-in</i> para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	131
Tabela 40 – Variação dos custos de O&M para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	132
Tabela 41 – Variação dos custos de combustível para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	133
Tabela 42 – Variação dos custos de investimento para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	134
Tabela 43 – Agravamento dos custos de O&M para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	135
Tabela 44 – Agravamento dos custos de combustível para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.....	137

Índice de figuras

Figura 1 - Produção de energia – distribuição de combustíveis na UE (1997 – 2007).....	10
Figura 2 – Proporção das energias renováveis na energia primária mundial.....	11
Figura 3 – Peso da produção de energia eléctrica a partir de energias renováveis na produção bruta+saldo importador, em 2008.....	12
Figura 4 - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh).....	15
Figura 5 - Produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis - Ano Móvel (GWh) Portugal Continental.....	17
Figura 6 – Fontes de Biomassa.....	32
Figura 7 – Culturas energéticas classificadas de acordo com o tipo de matérias-primas que podem fornecer.....	51
Figura 8 – Esquematização de uma análise SWOT.....	63
Figura 9 – Impactos das várias tecnologias.....	86
Figura 10 - Evolução das horas anuais médias de produção equivalente para a biomassa em Portugal.....	103
Figura 11 – Distribuição dos custos para as culturas energéticas com uma taxa de 10%.....	117
Figura 12 – Distribuição dos custos para as culturas energéticas com uma taxa de 10%.....	117
Figura 13 – Distribuição dos custos para a biomassa florestal com uma taxa de 10%.....	120
Figura 14 – Distribuição dos custos para a biomassa florestal para a taxa de 10%, considerando custos externos..	120
Figura 15 – Distribuição dos custos para os RSU com uma taxa de 10%.....	121
Figura 16 – Distribuição dos custos para os RSU com uma taxa de 10%, considerando custos externos.....	121
Figura 17 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com a taxa de desconto.....	125
Figura 18 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com o factor de carga.....	127
Figura 19 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com a eficiência de conversão.....	129
Figura 20 – Representação gráfica do agravamento dos custos de O&M.....	136
Figura 21 – Representação gráfica do agravamento dos custos de combustível.....	138

Lista de abreviaturas

ACV - Análise do Ciclo de Vida.

ANPC – Autoridade Nacional de Protecção Civil.

CCE – Comissão das Comunidades Europeias.

CESE – Comité Económico e Social Europeu.

DGGE - Direcção-Geral de Geologia e Energia.

EEA – *European Environmental Agency*.

ETAR - Estações de Tratamento de Águas Residuais.

EMD – *EMD International A/S*.

EMFA - Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva.

FER - Fontes de Energia Renovável.

GEE - Gases de Efeitos de Estufa.

I&D- Investigação e Desenvolvimento.

PNAC - Plano Nacional de Mudanças Climáticas.

RSU- Resíduos Sólidos Urbanos.

SMG - Superfície Máxima Garantida.

UE- União Europeia.

UTC - Unidade de tratamento e conversão.

Definições

Biocombustíveis - São considerados biocombustíveis as substâncias combustíveis produzidas a partir da biomassa e neles se incluem o biodiesel, o bioálcool (etanol) e o biogás.

Bioenergia - A bioenergia é a energia obtida a partir da matéria orgânica, ou seja, a bioenergia é o resultado da conversão da radiação solar em energia química, realizada pela biomassa vegetal no seu processo de fotossíntese.

Biomassa - A biomassa constitui “a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos” (Directiva 2003/30/CE).

Biomassa energética agrícola – São biocombustíveis oriundo das plantações não florestais, originados de colheitas anuais.

Biomassa energética florestal – São biocombustíveis oriundo dos recursos florestais. Incluem basicamente biomassa lenhosa produzida de forma sustentável. Está associada à indústria de papel e celulose, serrarias, etc. O conteúdo energético refere-se à celulose e lignina contidas na matéria e ao seu baixo teor de humidade.

Biomassa florestal residual (BFR) - Consiste na fracção da biomassa florestal que é produzida como um resíduo das operações de exploração florestal (podas, desbastes, cortes, etc.) e refere-se aos topos, ramos, incluindo folhas ou agulhas, e cepos.

Ciclo de carbono - A renovação na biomassa dá-se através do ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou dos seus derivados provoca a libertação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ e água nos hidratos de carbono, que compõe a sua massa viva, libertando oxigénio.

Culturas energéticas - As culturas energéticas são aquelas que, a partir da biomassa que geram, permitem a produção de produtos energéticos, nomeadamente biocombustíveis, energia eléctrica e térmica.

Efeito de estufa - Consiste na absorção pela atmosfera de parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra em resultado da concentração de gases com efeito de estufa (GEE).

Energia primária - É o recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar).

Gases com Efeito de Estufa (GEE) – Gases que absorvem e emitem radiação Infravermelha. Ao irradiarem a Terra, parte dos raios luminosos oriundos do Sol são reflectidos para o espaço, outros são absorvidos e transformados em calor em consequência da concentração destes gases na atmosfera.

Recurso natural não renovável - Um recurso não renovável é um recurso natural que não pode ser produzido, regenerado ou reutilizado a uma escala que possa sustentar a sua taxa de consumo. Esses recursos existem muitas vezes em quantidades fixas, ou são consumidos mais rapidamente do que natureza pode produzi-los.

Símbolos

C – Carbono.

CO – Monóxido de carbono.

CO₂ – Dióxido de carbono.

CH₄ – Metano.

EJ – Exajoule (10^{18} J)

EJ/ano – Exajoule por ano.

g – Grama.

GWh – Giga Watt-hora ($3,6 \times 10^{12}$ J).

Gha – Global Hectare.

ha – Hectare. É uma unidade de área igual a 10.000 metros quadrados.

HFC – Hidrofluorcarbonetos.

J – Joule. $1\text{J} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$.

kJ – Quilojoules.

km² – Quilómetro quadrado.

m – Metro.

m³ – Metro cúbico.

m³/ha – Metro cúbico por hectare.

Mha – Milhões de hectares.

Mtep – Milhões de toneladas equivalente de petróleo.

Mtoe – Milhões de toneladas de óleo equivalente.

MW – Mega watt. Unidade de medida correspondente a 10^6 watts.

N₂O – Óxido nitroso.

PFC – Perfluorcarbonetos.

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre.

tep – Tonelada equivalente de petróleo. $1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ}$.

t./ha – Tonelada por hectare.

W – Watt é a unidade SI para potência. É equivalente a um joule por segundo (1 J/s).

Introdução

1. Introdução

1.1. Enquadramento

No final do século XX, a União Europeia (UE) foi confrontada com um grande desafio: como manter um aumento contínuo de produção de energia necessária ao crescimento económico e, simultaneamente, minimizar os efeitos adversos da sua produção e utilização no ambiente, nos ecossistemas e no bem-estar humano (Tzimas e Peteves, 2005). O aumento da poluição, as limitações nas reservas de combustíveis fósseis e a ausência de regulações no sector de distribuição de energia, são preocupações que a nível global estão a alarmar a humanidade. Estas questões representam uma forte motivação para a investigação e desenvolvimento de novas fontes de energia amigas do ambiente, como por exemplo, a biomassa e o biogás, que são altamente eficientes e com ciclos de vida renováveis. Existe assim uma evidente ligação entre a energia, o ambiente e o desenvolvimento sustentável.

Em 1987, foi criado o relatório *Brundtland*, com o objectivo de analisar as questões sociais, económicas, culturais e ambientais a nível mundial e formular soluções globais. Através do relatório *Brundtland*, a Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento, definiu o desenvolvimento sustentável como um desenvolvimento capaz de atender às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades. De acordo com Cordani (1995) o paradigma do desenvolvimento sustentável inclui, necessariamente, equilíbrio de desenvolvimento socioeconómico, preservação e conservação do ambiente, e também o controlo dos recursos naturais essenciais, como água, energia e alimentos. Cordani (1995) defende que Sustentabilidade não pode ser definida em termos económicos, ou seja, o nosso ecossistema global não pode ser caracterizado no sentido de adequar-se às nossas necessidades e desejos. Necessariamente, são estes últimos que têm de ser definidos a partir das limitações impostas pelo sistema. A procura de um desenvolvimento sustentável passa por conciliar quatro sistemas: económico, tecnológico, social e produtivo, de modo a ser possível a geração de excedentes e know-how técnico em bases confiáveis e constantes, uma procura constante de novas soluções e a preservação da base ecológica do desenvolvimento.

Segundo o relatório *Brundtland*, de 1987, uma série de medidas devem ser tomadas pelos Estados Nacionais, entre as quais: a diminuição do consumo de energia e o desenvolvimento de tecnologias que admitem o uso de fontes energéticas renováveis (FER). Assim sendo, a União Europeia declarou o compromisso de aumentar a utilização de fontes de energia renováveis. O interesse crescente que se vem a assistir pelas FER deve-se principalmente ao aumento da procura de electricidade, a volatilidade dos preços de combustíveis fósseis, a dependência de energia externa e os interesses ambientais.

Em Março de 2007, o Conselho Europeu aprovou 2 metas obrigatórias para 2020: (i) aumentar a percentagem de fontes de energia renováveis utilizadas no consumo de energia na União Europeia em pelo menos 20%, e (ii) aumentar a proporção de biocombustíveis no sector dos transportes rodoviários em pelo menos 10% em cada Estado Membro (Council of the European Union, 2007).

Para Ericsson *et al.* (2009), a biomassa pode contribuir para o fornecimento de energia em três sectores, electricidade, aquecimento/arrefecimento e no sector de biocombustíveis, e pode assim desempenhar um papel-chave para o cumprimento das metas das fontes de energia renováveis.

A meta do tratado de Quioto para Portugal até 2012 é de reduzir em 27,0% as emissões dos gases de efeito de estufa (European Environment Agency (EEA), 2009). A principal origem das emissões dos gases de efeito de estufa em Portugal está relacionado com o sector energético, mais especificamente com a combustão dos combustíveis fósseis. Os sectores de produção de energia, isto é, as centrais energéticas, as refinarias de petróleo, os transportes e a indústria são os que contribuem mais para a produção de gases de efeito de estufa (Ferreira *et al.*, 2009).

De acordo com Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE 2008a), Portugal importava em 2008, 10,744 GWh de energia eléctrica do estrangeiro e exportava 1,313 GWh, dando um total no saldo importador de energia eléctrica de 9,431 GWh. No respeitante à importação de produtos energéticos verificou-se que, em 2008 a seguinte estrutura da importação de produtos energéticos: 77,1% de petróleo, 6,2% de electricidade, 12,2 de gás natural, 3,8% de hulha e coque de petróleo (DGGE 2008b). Sendo que a importação de energia em Portugal representa actualmente 85% do consumo total de energia. Este cenário demonstra que Portugal

encontra-se muito dependente da utilização de energias fósseis importadas. Esta situação tem consequências directas na economia, uma vez que o custo dos combustíveis fósseis importados encarece a produção de bens e serviços em território nacional. As respostas a este problema passam pelo aumento da eficiência no consumo de energia e o aproveitamento do potencial de energias renováveis, que em Portugal é assinalável.

A bioenergia é vista como uma das principais opções para abrandar as emissões dos gases de efeito de estufa e para substituir os combustíveis fósseis. Isto é evidente na Europa, onde um conjunto de actividades e programas foi implementado para estimular o uso da biomassa para a produção de energia. Estas comunicações surgem na União Europeia com o objectivo de conseguir que 10% do fornecimento de energia seja coberto pela biomassa em 2010 (Ferreira *et al*, 2009).

Para Field *et al.* (2007), o aumento da produção de biomassa para energia tem potencial para compensar o uso substancial de combustíveis fósseis. Na mesma linha de pensamento, Loução (2008) considera que a biomassa assume especial relevância na Estratégia Nacional para a Energia, não sendo a solução directa para substituir os combustíveis fósseis, no entanto, aparece como mais um contributo para uma política mais adequada, tanto a nível ambiental como a nível económico, para o sector energético português, permitindo a integração entre as políticas florestais e ambientais com as políticas energéticas.

Pretende-se assim, com base no estudo e no desenvolvimento do tema que se apresenta, fazer uma avaliação económica da produção de energia a partir de biomassa, através de um levantamento dos custos financeiros e sociais dos projectos de produção de energia a partir de biomassa, verificando por fim a sua viabilidade. Este projecto pretende contribuir para o tema da análise das FER e do seu potencial de redução da dependência de energia externa e do aquecimento global.

1.2. Objectivos da Dissertação

O principal objectivo do trabalho é efectuar uma avaliação económica da produção de energia a partir da biomassa, analisando o caso particular de Portugal. Os objectivos específicos podem ser resumidos como se segue:

1. Caracterização da produção de energia a partir da biomassa, detalhando a situação actual e perspectivas futuras na UE e em Portugal.
2. Análise das consequências ambientais e sociais da produção de energia a partir de biomassa, com apresentação dos casos particulares das culturas energéticas dedicadas e da valorização de resíduos. Estudo de externalidades e valorização dos impactos.
3. Avaliação financeira, estratégica e económica de projectos de produção de energia a partir de biomassa.

1.3. Metodologia

Durante a pesquisa, uma procura de literatura foi realizada através de fontes primárias, secundárias e terciárias, incluindo teses, publicações de organismos governamentais, relatórios das companhias que operam no sector eléctrico, livros, artigos publicados em revistas científicas e sites. O objectivo era obter uma compreensão do problema e das possíveis abordagens, formando a base teórica do trabalho.

O trabalho inclui igualmente um levantamento de dados, que se centrou principalmente no sector eléctrico português. A informação estatística foi obtida a partir dos relatórios publicados pelas companhias a operar no sector e nos dados publicados pela direcção-geral portuguesa para a geologia e energia (DGGE).

As características técnicas das centrais existentes foram obtidas principalmente a partir de artigos publicados em revistas científicas. As características esperadas para futuras centrais

vieram de obras publicadas por organizações como a Agência Internacional de Energia (por exemplo IEA, 2009/ NEEDS, 2008).

1.4. Estrutura da Dissertação

O trabalho foi conduzido de acordo com os objectivos acima e organizado da seguinte forma:

No capítulo 2 aborda-se o sector de energia a nível mundial, europeu e no caso particular de Portugal. Neste capítulo é caracterizado o consumo energético no Mundo e na Europa e são apresentadas as previsões para o estado futuro do abastecimento energético na Europa. O capítulo 3 estabelece a ligação entre o desenvolvimento sustentável e energético, demonstrando a importância das FER em particular da biomassa.

O capítulo 4 apresenta uma introdução teórica fazendo referência a vários estudos que abordam o tema da geração de electricidade a partir da biomassa. Expõem-se ainda as diferentes perspectivas de diversos autores sobre o papel da bioenergia em relação à segurança no abastecimento energético. Este capítulo começa por descrever a situação actual e futura da biomassa. O potencial da biomassa do ponto de vista das alterações climáticas e da sociedade é apresentado. Os impactos da geração energética por parte da biomassa são descritos neste capítulo, juntamente com as vantagens e impactos negativos das culturas energéticas em relação às culturas tradicionais. Na última secção do capítulo apresentam-se as culturas possíveis para a produção de energia, analisando o caso particular de Portugal.

O capítulo 5 consiste na aplicação de uma análise estratégica para o caso da geração de energia através da biomassa em Portugal, baseada numa análise detalhada dos pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que a caracterizam. No capítulo 6 pretende-se demonstrar a importância da internalização dos impactos sociais e ambientais nas actividades de produção eléctrica. Um estudo das externalidades juntamente com a sua medição e quantificação é indicado neste capítulo.

No capítulo 7 apresenta-se a avaliação financeira e económica de projectos de produção de energia a partir de biomassa procedendo-se também à análise de sensibilidade dos resultados obtidos. O capítulo 8 visa as conclusões finais da dissertação, onde os principais resultados são descritos.

Caracterização do Sector de Energia

2. Caracterização do Sector de Energia

2.1. Introdução

O consumo de energia num país depende de um conjunto variado e complexo de determinantes, que inclui aspectos tão diversos como os preços da energia, o clima, os hábitos de consumo, o comportamento dos cidadãos, o peso relativo dos vários sectores de actividade e, naturalmente, o nível global de actividade económica, medido pela riqueza produzida no país. De acordo com Loução (2008) num mercado de energia é essencial atingir três objectivos energéticos:

- **Competitividade:** um mercado competitivo diminuirá os custos para os cidadãos e para as empresas e incentivará a eficiência energética e o investimento.

- **Sustentabilidade:** um mercado sustentável é vital para permitir que a aplicação efectiva de instrumentos económicos, como o mecanismo de comércio de emissões, funcione correctamente.

- **Segurança do aprovisionamento:** um mercado interno de energia que funcione eficazmente e que seja competitivo pode trazer grandes vantagens em termos de segurança do aprovisionamento e normas elevadas de serviço público. Com incentivos reais para que as empresas invistam em novas infra-estruturas, capacidades de interconexão e novas capacidades de geração, podem evitar-se cortes totais de electricidade e aumentos desnecessários dos preços.

Dentro do sector energético, a energia eléctrica é um factor chave para o desenvolvimento das economias. A produção de energia eléctrica apresenta uma das maiores quotas no consumo final de energia (Eurostat, 2009a). Tem um impacto directo no desempenho económico das empresas e é igualmente considerada uma força motriz para o bem-estar social. É fundamental atingir o equilíbrio entre o uso da energia, necessária para o desenvolvimento, e a preservação do ambiente uma vez que o uso excessivo e de forma insustentável pode conduzir a impactos ecológicos negativos (Ferreira, 2007).

Um dos temas mais pertinentes da actualidade relacionado com o sector energético diz respeito ao contínuo aumento da dependência energéticas da maioria dos países nos últimos anos. Entre 1996-2006 a taxa de dependência energética da UE-27, apresentou um aumento de

cerca de 22%. Em 2006, 53,8% da energia consumida na UE foi importada em vez dos 44,1% obtidos em 1996 (Eurostat, 2008). Porém, a situação é ainda mais preocupante em Portugal, onde a importação de energia representa 85% do consumo total de energia (Ferreira *et al.*, 2009). O mercado energético Português é baseado em grande parte nos combustíveis importados (petróleo, carvão e gás natural). Dois terços das necessidades eléctricas de Portugal são cumpridas pelos combustíveis fósseis, enquanto o restante provém de energias renováveis, incluindo a hídrica, eólica e biomassa. A procura de energia em Portugal tem vindo a aumentar a uma taxa ligeiramente acima da taxa de crescimento económico e, por conseguinte, a intensidade da energia na economia é 4% superior ao que era em 1991, e 10% acima da média da UE (Eurostat, 2009c). A importação de petróleo de Portugal em 1998 representava 6% das importações totais, aumentando para 15,5% em 2007 (DGGE, 2007a). Com esta dependência de energia, e uma das intensidades energéticas mais elevadas da União Europeia, Portugal têm que enfrentar um dos desafios mais importantes no domínio da energia.

Na próxima secção será dada uma visão geral do sistema energético no Mundo e da União Europeia, juntamente com as previsões relacionadas com este sector. Após esta introdução, a situação actual do sistema eléctrico Português será apresentada. O Capítulo termina com algumas conclusões.

2.2. Energia no Mundo e na Europa

A União Europeia no seu conjunto é responsável pelo consumo de 14% a 15% de energia, apesar de representar apenas 6% da população mundial. Este consumo representa 19% de todo o petróleo consumido no mundo, 16% do gás natural, 10% de carvão e 35% do urânio (Costa, 2007). Na opinião de Ferreira *et al.* (2009) o risco de um fracasso no abastecimento é uma possibilidade uma vez que as previsões realizadas pela IEO (2010) apontam para um aumento de 49% do consumo de energia entre 2007 e 2035, nos países da OCDE, e de 84% nos países não pertencentes à OCDE. No caso específico da UE, o facto de esta ser dependente das importações torna-a bastante vulnerável no caso de uma crise de abastecimento internacional (Asikainen *et al.*, 2008).

Segundo dados fornecidos pela Eurostat (2010), a produção de energia na UE em 2007 era dominada pela energia nuclear, representando 28% do total da produção, seguido pelo gás natural (20%), como descrito na figura 1. As energias renováveis representaram os combustíveis com o maior incremento observado no período de 1997-2007, sobretudo originado com o rápido crescimento dos preços energéticos neste período, combinado com as preocupações ambientais e as emissões dos gases de efeito de estufa.

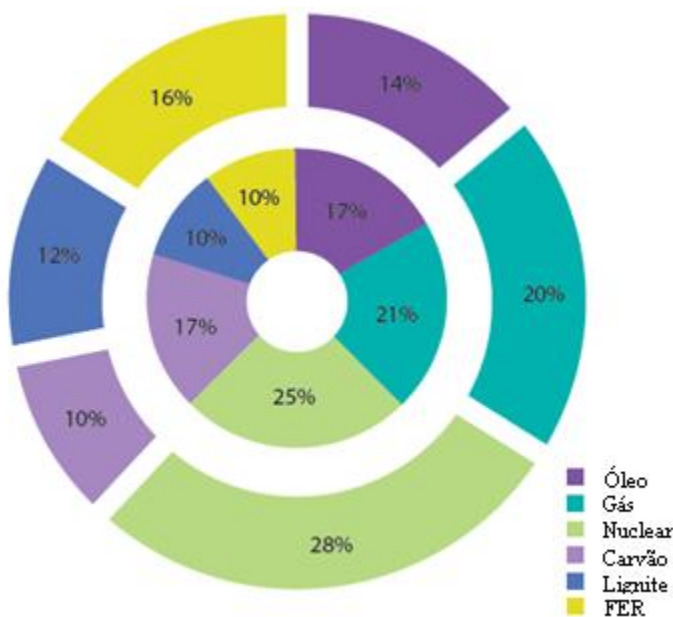


Figura 1 - Produção de energia – distribuição de combustíveis na UE (1997 – 2007). Fonte: Eurostat (2009c)

Por sua vez, a contribuição das diferentes tecnologias energéticas na energia primária mundial em 2007 encontrava-se distribuída de acordo com a figura 2. Segundo dados fornecidos pela IEA Bioenergy (2010), a produção de energia mundial em 2007 era dominada pelo óleo, representando 35% do total da produção, seguido do carvão (25%), como descrito na figura 2. Ao contrário do que acontece na UE, a energia nuclear foi a que menos contribuiu para a produção da energia primária mundial.

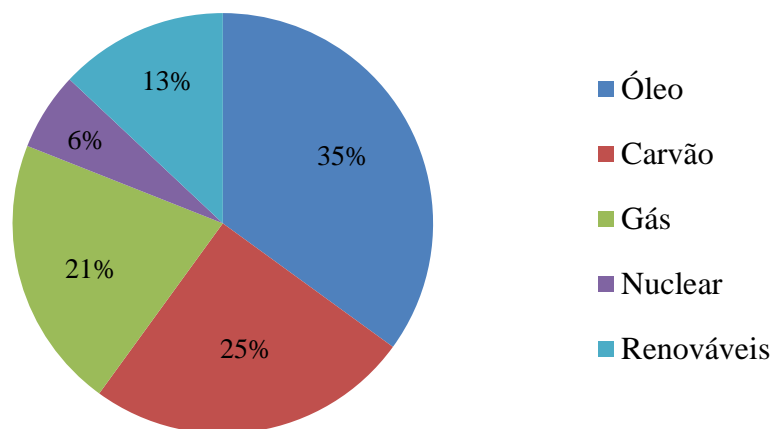


Figura 2 – Proporção das energias renováveis na energia primária mundial. Fonte: IEA Bioenergy (2010)

As renováveis contribuíam em 2007 com apenas 13% para a energia primária mundial. Dentro das renováveis, a hídrica contribuía com 15%, a bioenergia com 77% (4% de resíduos industriais e municipais, 9% de culturas agrícolas e sub-produtos, 87% de resíduos florestais) e as restantes fontes energéticas com 8%.

Na maior parte dos países da UE15, principalmente na Áustria, Suécia, Finlândia e Portugal, a fonte de energia renovável que mais contribuiu em 2008 para a produção de energia eléctrica foi a hídrica, como demonstrado na figura 3. Portugal é o quinto país da União Europeia com maior incorporação de energias renováveis com uma percentagem de 26.5%, contribuindo maioritariamente a hídrica com 46.6%, a eólica com 39.1% e a biomassa com 12,6% (DGGE 2010). Em comparação com os países da OCDE, a Nova Zelândia (64.2%) e o Canadá (64%) apresentam a maior incorporação de energias renováveis. Os Estados Unidos com apenas 9.8% encontram-se no 15º lugar dos países da OCDE.

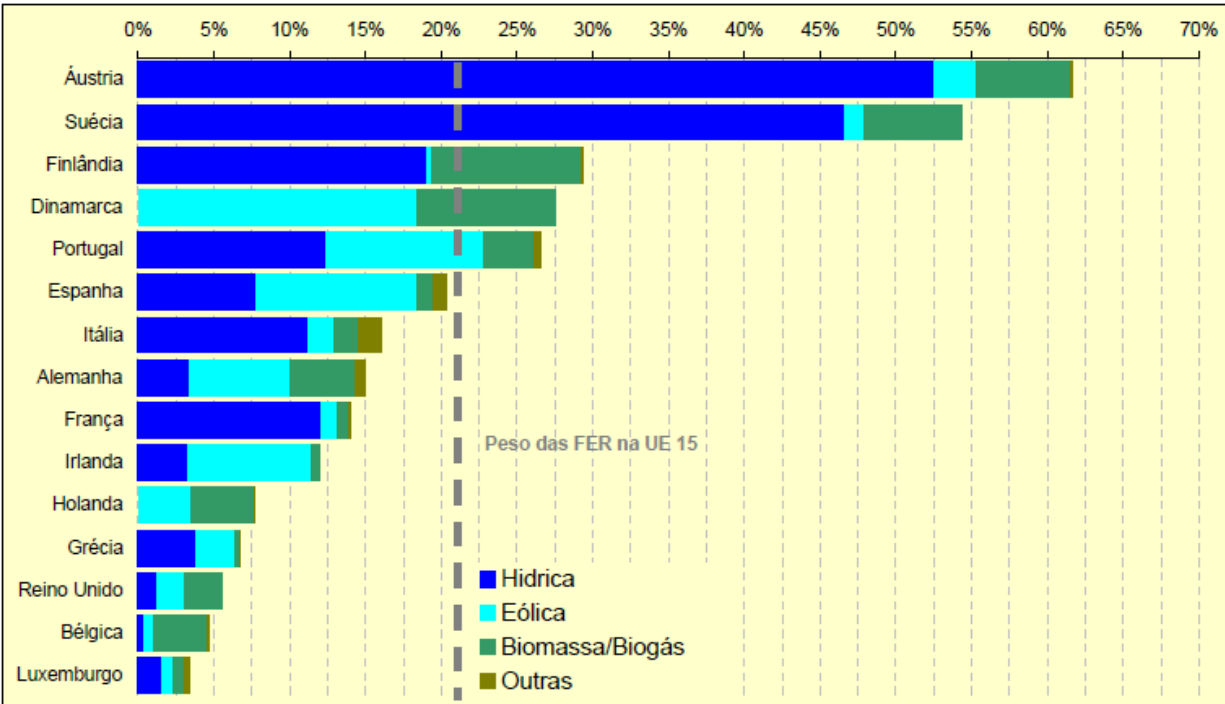


Figura 3 – Peso da produção de energia eléctrica a partir de energias renováveis na produção bruta+saldo importador, em 2008.
Fonte: DGGE (2010)

Todavia, ainda que as energias renováveis apresentem atributos positivos tanto a nível ambiental como a nível de segurança energética, a maior parte destas fontes não são capazes de competir economicamente com os combustíveis fósseis até 2035. As estimativas obtidas através da IEO (2010), referem que os combustíveis fósseis continuarão a fornecer a maior parte de energia utilizada no mundo até 2035, sendo que a Agência Internacional de Energia (IEA) prevê que a procura global de petróleo aumentará em 41% em 2030, e a capacidade e vontade, dos produtores de gás e petróleo, de aumentarem os investimentos a fim de satisfazer a crescente procura são particularmente incertas (IEA, 2006). Verifica-se que o consumo mundial de petróleo cresceu de 86,1 milhões de barris por dia em 2007 para 92,1 milhões de barris por dia em 2010, e as previsões apontam para um consumo de 103,9 milhões de barris por dia em 2030 e 110,6 milhões de barris por dia em 2035 (IEO, 2010)).

Por sua vez, o consumo mundial de energias renováveis para a geração de electricidade, é estimado crescer a uma média de 3,0% ao ano, entre 2007-2035, e prevê-se que a contribuição das energias renováveis para a geração de electricidade aumente de 18% em 2007 para 23% em 2035 (IEO, 2010)). Quase 80% deste incremento deve-se á energia eólica e hídrica. Contudo,

apesar deste crescimento das energias renováveis num futuro próximo, as previsões para 2030 apontam para o destaque do gás natural na geração de energia e a perda de quota de mercado por parte do petróleo, da energia nuclear e dos combustíveis fósseis (EETT, 2003).

O crescimento das fontes energéticas deve-se sobretudo ao potencial destas para reduzir a dependência da importação de combustíveis fósseis contribuindo também para a diversificação do cabaz energético europeu. Uma vez que as necessidades energéticas actuais e futuras não conseguem ser suportadas apenas pela participação da hídrica e eólica, a biomassa parece ser uma oportunidade para complementar estas duas grandes fontes energéticas.

A produção eléctrica a partir da biomassa na UE tem crescido aproximadamente 7% em cada ano (NEEDS, 2008). A UE irá provavelmente importar bioenergia de uma vasta gama de países: várias regiões do mundo (por exemplo, América do Sul, algumas zonas de África) são indicadas como os futuros potenciais exportadores da bioenergia. (Hansson *et al.*, 2006). Segundo Berndes e Hansson (2007) a UE pode aumentar a utilização de bioenergia, usando mais os seus recursos internos ou através do aumento da importação de biocombustíveis do resto do mundo. Por outro lado, novos problemas relacionados com a dependência dos combustíveis importados podem aparecer com este uso da bioenergia, como os riscos da dificuldade de abastecimento e a rápida subida dos preços, devido a uma falha em larga escala nos principais países exportadores relacionada com desastres naturais (por exemplo, secas e surtos de pragas) (Berndes e Hansson, 2007).

A noção sobre a exigida redução dos consumos de energia para fazer face ao ambicioso objectivo de atingir as metas de redução de CO₂ (Azar *et al.*, 2003) faz da conservação de energia um argumento forte quando se considera também a opção de importar bioenergia em larga-escala de países terceiros para atenuar a escassez de biomassa no mercado interno da UE (Berndes e Hansson, 2007).

2.3. Energia em Portugal

Como em muitos países da União Europeia, o consumo de energia em Portugal tem aumentado nos últimos anos. Em Portugal, este consumo é dominado pelo transporte (39%) e indústria (31%), que é quase o oposto da situação em 1991, quando a indústria representava 39% e o transporte 33%. O sector de serviços tem crescido consideravelmente nos últimos anos, representando actualmente 32% do consumo de electricidade em comparação com 21% em 1991 (Eurostat, 2009a). De acordo com os dados da Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGGE, 2010), em 2007, o consumo de electricidade era de 1909 ktep e de petróleo era de 13659 ktep. Observou-se um aumento no consumo de electricidade em relação aos anos anteriores e uma diminuição no consumo de petróleo em relação a 2006 de 646 ktep.

Depois da crise do petróleo a meio de 1970, os países da Europa do sul como a Espanha e Portugal não prestaram muita atenção aos esforços necessários para a produção adicional de energia. Contudo, uma vez que hoje em dia, a promoção das energias renováveis é um alvo importante para as políticas Europeias, a produção destas fontes de energia parece ser uma oportunidade para a redução da dependência de energia externa Portuguesa (Gasol *et al.*, 2008).

Em Junho de 2010, as energias renováveis já contribuíam com 49,6% para a produção energética em Portugal. O total da potência instalada renovável em Portugal atingiu os 9321 MW, no final de Junho de 2010. A produção energética está maioritariamente concentrada no Norte, principalmente nos distritos de Viana do Castelo, Bragança, Viseu, Coimbra, V.Real, C.Branco e Braga (1084, 1063, 1040, 994, 856, 650 e 646 MW) (DGGE, 2010).

A figura 4 apresenta a evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis em Portugal.

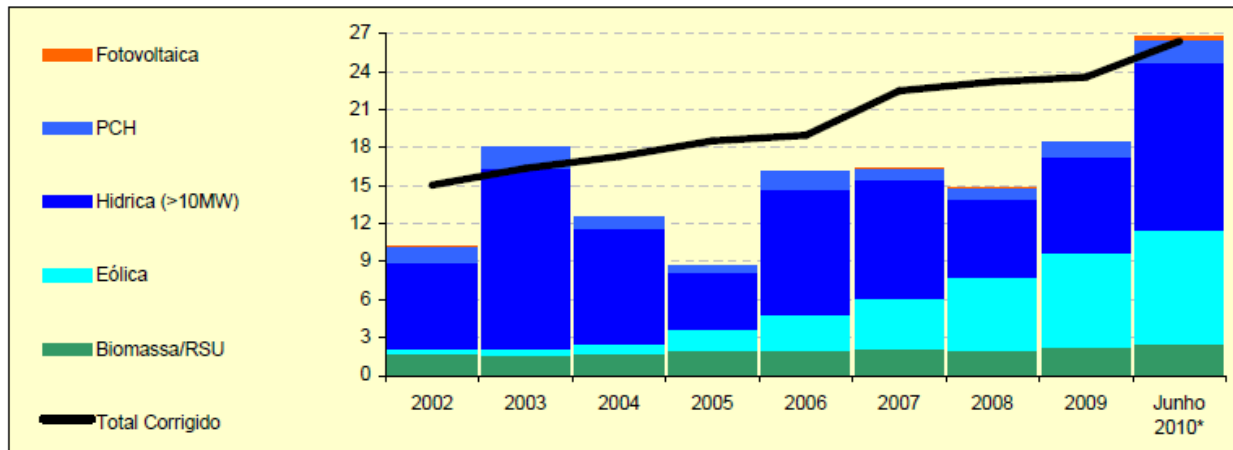


Figura 4 - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh). Fonte: DGGE (2010)

A produção total de energia eléctrica, a partir de FER, registou um acréscimo de 90% no 1º semestre de 2010, relativamente a igual período de 2009. Para este crescimento continua a contribuir fortemente o comportamento da componente hídrica. Num ano onde se verifica um elevado índice de hidraulicidade como o apresentado em 2003, a produção hidráulica é elevada contribuindo para o aumento da produção energética de origem renovável. Num ano assinalado pelas secas, como se verificou em 2005, a produção eléctrica de origem renovável diminuiu face à diminuição da componente hídrica. Esta característica é uma desvantagem para o sistema energético Nacional fortemente condicionado pela componente hídrica. Num ano de baixa hidraulicidade, terá que se recorrer a outro tipo de fonte energética ou a importações de Espanha.

A energia eólica também tem vindo a contribuir para o aumento da produção eléctrica nacional, apresentando-se como a segunda maior fonte de energia renovável em Portugal, como observado na figura 2. Em 2003 e 2004 registou-se um aumento muito significativo do licenciamento de parques eólicos (+800 MW/ano.) o que originou o aumento observado nos anos subsequentes. A potência eólica instalada no final de Junho de 2010 situava-se em 3802 MW, distribuída por 205 parques, com um total de 1996 aerogeradores ao longo de todo o território Continental. A contribuição da eólica é bem visível ao compararmos o ano 2005 com o ano de 2008. Em 2005, o total de energia eléctrica produzida a partir de fontes de energia renováveis foi de 8941 GWh, este valor é justificado pela baixa hidraulicidade que prejudicou a produção da hídrica. Em 2008, apesar do baixo índice de hidraulicidade também registado, a produção energética não sofreu uma diminuição significativa, chegando a atingir os 15419 GWh. Este facto

é justificado pela prestação da energia eólica que contribuiu com 5757 GWh para este valor (DGGE, 2008c).

No caso particular da energia eólica e hídrica, o facto de dependerem da disponibilidade dos seus recursos naturais, impede que se façam previsões concretas quanto à produção energética ao longo do ano. A possibilidade de conjugar o armazenamento de outro tipo de energia renovável com a geração de energia eléctrica por parte da eólica, hídrica ou solar, poderá ser uma alternativa para atenuar muitos dos problemas associados à intermitência no futuro.

Neste sentido de aumentar a estabilidade da produção energética permitindo fazer previsões a longo prazo, a biomassa apresenta-se com uma das poucas energias renováveis com potencial para assegurar as necessidades energéticas nacionais através da sua produção previsível e não flutuante. Foi-se observando um aumento gradual da energia eléctrica produzida a partir da biomassa ao longo dos anos, como demonstrado na tabela 1. Este crescimento tornou a biomassa a terceira maior fonte renovável em Portugal. No final de Junho de 2010, a energia eléctrica total produzida a partir de fontes de energia renováveis atingiu um valor de 26761 GWh.

Tabela 1 – Evolução da energia eléctrica produzida a partir da biomassa (GWh). Tabela adaptada: DGGE (2010)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Junho 2010
Biomassa (c/cogeração)	1 166	1 069	1 206	1 286	1 302	1 361	1 381	1 390	1 465
Biomassa (s/cogeração)	42	43	52	64	78	149	146	311	487
RSU	518	523	475	545	532	498	441	458	485
Biogás	2.5	2.3	14	31	33	55	67	80	87

Apesar deste incremento, no final de Junho de 2010, a biomassa total (Biomassa, RSU e Biogás) apenas oferecia um peso de 9.4% no total da produção de energia renovável em Portugal Continental, muito aquém dos 56.2% manifestados pela hídrica total e dos 33.7% da eólica.

No entanto, a produção eléctrica por via eólica e as hidroeléctricas apresenta-se muito dependente das condições meteorológicas, como demonstrado na figura 5. As duas maiores

fontes de energia renovável em Portugal apresentam aumentos na produção durante os meses de inverno (ou de grande pluviosidade), reflectindo assim a sua dependência ao contrário do verificado com a Biomassa, que tende a afigurar-se estável ao longo dos meses.

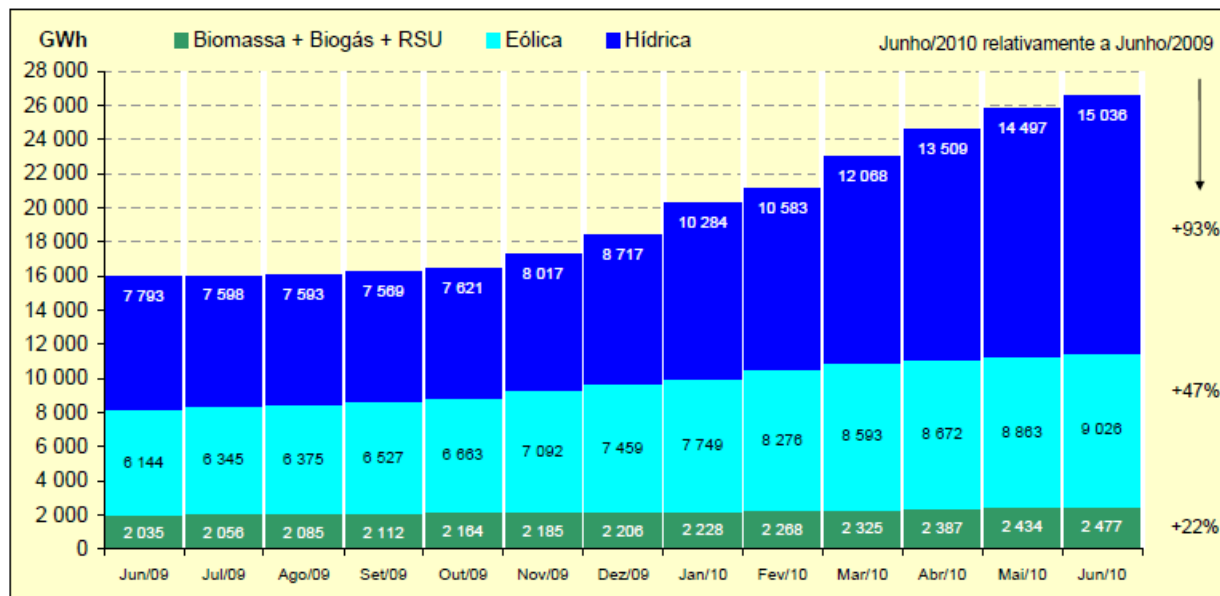


Figura 5 - Produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis - Ano Móvel (GWh) Portugal Continental. Fonte: DGGE (2010)

Ao longo dos anos a biomassa tem contribuído maioritariamente para a produção de energia térmica, chegando mesmo a apresentar-se como a energia renovável mais predominante no balanço energético, como demonstrado na tabela 2. O aumento verificado em 2005 e 2006 pela eólica deve-se mais uma vez ao grande licenciamento de parques eólicos nesses anos. E a oscilação da produção de energia eléctrica a partir da hídrica deve-se às condições climáticas observadas ao longo dos anos. A tabela 2 vem mais uma vez evidenciar estes factores e realçar a importância que a biomassa apresenta, pelo facto de permanecer praticamente constante ao longo do tempo, não oferecendo grandes flutuações.

Tabela 2 – As energias renováveis no balanço energético (Unidade: 10³ tep). Fonte: DGGE (2008a).

Energias Renováveis	2004	2005	2006	2007	2008
SOLAR - Energia térmica	20,2	21,9	23,0	24,7	29,2
FOTOVOLTAICA - Energia eléctrica	0,3	0,3	0,4	2,1	3,3
GEOTERMIA - baixa entalpia - Energia térmica	1,0	1,0	10,0	10,0	10,0
GEOTERMIA - alta entalpia - Energia eléctrica	72,2	61,1	73,3	172,9	165,1
BIOMASSA - Energia térmica	1.540,0	1555,6	1.565,8	1.591,1	1.731,41
RESÍDUOS INDUSTRIAIS/LIXOS - Energia térmica/eléctrica	1.133,9	1191,8	1.180,2	1.245,6	1.190,0
BIOGÁS - Energia térmica/eléctrica	6,3	11,6	10,7	24,6	25,1
EÓLICA - Energia eléctrica	70,2	152,5	251,6	347,2	495,1
HÍDRICA - Energia eléctrica	872,6	440,1	986,2	898,6	627,5

2.3.1. Centrais de Biomassa

A primeira central termoeléctrica para aproveitamento energético de resíduos florestais em Portugal foi a central de biomassa de **Mortágua**, em 1999. Esta central está localizada numa zona florestal, junto à Central Hidroeléctrica da Aguieira, na freguesia do Freixo, concelho de Mortágua e pode produzir anualmente 63 GWh, com um consumo de biomassa de 109000 ton. O abastecimento é efectuado por uma “cadeia de fornecedores” que tem dias marcados para efectuarem as entregas de biomassa. A biomassa consumida é proveniente essencialmente das florestas de eucalipto próximas da central. Outra central existente em Portugal é a central de **Ródão** que foi fundada em 2007. Tem uma produção anual de 90 GWh e um consumo de biomassa de 160000 ton. A central da **Figueira da Foz** com uma produção anual de 200 GWh e um consumo de biomassa de 380000 ton. A central de **Constância** com um consumo de 160 mil toneladas de biomassa por ano e uma produção anual de 80 GWh de energia eléctrica na rede nacional. A EDP também está a investir em 4 novas centrais, **Cabeceiras de Basto** com 10,2 MW, **Gondomar** com 13,5MW, **Oleiros** com 9,3 MW e a central de **Monchique** com 14,6 MW. A central de biomassa de **Carregosa**, Oliveira de Azeméis, é destinada à produção de energia eléctrica. A central é alimentada pelos resíduos florestais dos concelhos de Oliveira de Azeméis, Arouca, Vale de Cambra e Santa Maria da Feira, na área de Entre Douro e Vouga, e ainda de Cinfães. Também a central de biomassa de **Viseu**, com um investimento estimado em 15 milhões

de euros da responsabilidade de um consórcio liderado pela Nutroton Energias, deverá ficar concluída em 2012.

A maior central de biomassa do mundo é a central de *Alholmens Kraft*, a qual se situa na Finlândia e emprega 400 pessoas, 50 para gestão da central e 350 para o manuseamento e produção de combustíveis. Existem também 200 pessoas ligadas directamente à actividade da central. Os principais combustíveis são: a Casca de árvore, Sobras de madeiras, Turfa, Produtos provenientes do processo de refinação da madeira e o Carvão (combustível complementar).

A instalação de uma central de biomassa deve levar em atenção inúmeros factores, como a garantia de abastecimento, a minimização dos custos de transporte e dos impactos nas imediações da central. A proximidade com a origem significará à partida, a minimização dos custos associados ao transporte. É essencial garantir também que ao redor da central existe uma boa infra-estrutura rodoviária. Assim, entende-se que a construção deste tipo de projecto deverá ser projectada para uma zona industrial existente ou em desenvolvimento. Por fim, para instalar uma central é ainda importante verificar a distância à rede eléctrica de alta voltagem. Caso não exista perto do local, deverá ser construída, o que se traduz na necessidade de maiores investimentos e maiores prazos (Timmons, *et al.* 2007, citado por Saião, 2009).

2.4. Conclusões

Neste capítulo foi caracterizado o consumo energético no Mundo e na Europa e as previsões para o estado futuro do abastecimento energético na Europa foram apresentadas. A necessidade de um sistema energético mais sustentável obriga à implementação de novas formas de energia renováveis para promover a redução da dependência dos combustíveis fósseis, apresentada por parte da UE.

O aumento do consumo energético em Portugal veio impulsionar a produção energética por parte de fontes de energia renováveis. Para o crescimento da produção total de energia eléctrica, a partir de FER, as duas componentes que mais contribuem são a hídrica e eólica. Todavia, a instabilidade originada pelas condições climáticas a que estas duas fontes energéticas estão sujeitas veio estimular a promoção da biomassa como fonte energética, de

forma a possibilitar uma produção mais estável e contribuindo para a segurança do abastecimento energético nacional.

Energias Renováveis

3. Energias Renováveis

3.1. Introdução

Conforme a evolução tecnológica e o desenvolvimento das sociedades, vão surgindo novas fontes de energia e novas formas da sua exploração. Antes da Revolução Industrial, séc. XVIII, existiam as energias renováveis exploradas com tecnologias rudimentares. A Revolução Industrial estimulou não só o crescimento da produção de energia através do carvão, mas também o aumento exponencial da população e da actividade económica e, consigo, necessidades energéticas crescentes. Contudo foi após a II Guerra Mundial que a produção de energia através do petróleo ganhou a importância que ainda hoje apresenta na economia mundial. Com a diminuição da disponibilidade dos recursos fósseis, surge cada vez mais a necessidade de optar pelos recursos energéticos alternativos e renováveis, como a biomassa. Outro motivo também relevante para o crescimento actual e potencial das energias renováveis são as alterações climáticas. Existe hoje uma enorme unanimidade na comunidade científica em aceitar que a crescente concentração de gases de efeito de estufa na atmosfera se deve à utilização de combustíveis fósseis.

Com as exigências em matéria ambiental, por força das alterações climáticas a nível global, e as previsíveis turbulências nos mercados de aprovisionamento de combustíveis fósseis devidas à volatilidade de preços, incertezas nos equilíbrios geopolíticos e riscos de esgotamento destas fontes de energia primária, é cada vez mais necessária a adopção de soluções que garantam maior eficiência no uso da energia e apostem no aproveitamento de fontes de energia alternativas. A utilização de energias renováveis apresenta um conjunto importante de vantagens de natureza tão diversa como a redução da emissão de gases com efeito de estufa, o aumento da diversidade de oferta de energia, a produção de energia sustentável a longo prazo, a criação de oportunidades de emprego, o desenvolvimento económico local e a diminuição das importações de combustíveis convencionais (Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2005). Portugal dispõe de grande potencial no aproveitamento de algumas fontes de energia renováveis (FER), atendendo à localização, características e recursos naturais do seu território.

Neste capítulo será apresentada uma descrição dos principais acordos mundiais sobre o meio ambiente. A secção seguinte demonstra a importância das FER em particular da biomassa, estabelecendo a ligação entre o desenvolvimento sustentável e energético. Esta secção contempla também as diversas fontes de biomassa e os processos de conversão energética utilizados. O Capítulo termina com as principais conclusões.

3.2. Evolução Energética

Verifica-se que o ritmo de evolução da tecnologia é mais elevado do que o ajuste da reorganização da sociedade face às inovações. Pois as energias renováveis, para serem utilizadas de uma forma rentável, generalizada, competitiva com as outras energias fósseis dominantes, exigem uma reorganização de infraestruturas na forma de organização da sociedade. Dessa forma, ao longo dos anos foram efectuadas várias mudanças na política energética de modo a avançar em três frentes distintas: na procura de competitividade, que leve ao crescimento económico e à criação de emprego; na segurança do abastecimento, reduzindo a dependência energética dos países; e na sustentabilidade, comprometendo-se com a redução de emissões de gases de efeito de estufa (GEE). Na tabela 3, apresentam-se os principais grandes acordos mundiais sobre o meio ambiente.

Tabela 3 – Grandes Acordos Mundiais sobre o Meio Ambiente

Grandes Acordos Mundiais sobre o Meio Ambiente	
1979	A primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979.
1988	Estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) foi criado o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC)
1990	A II Conferência Mundial do Clima desenvolvida pela OMM e pelo PNUMA.
1992	Em 9 de Maio de 1992, em Nova Iorque (EUA), foi adoptada a Convenção Quadro sobre Mudança Climática das Nações Unidas (UNFCCC) e então aberta a assinaturas durante a Cimeira da Terra no Rio de Janeiro, Brasil, onde foi assinada por 154 países (mais a União Europeia).
1994	Entrou em vigor a UNFCCC e foi assinada por 50 signatários
1995	Adoptou-se em Berlim, em 1995, na primeira Conferência das Partes da Convenção do Clima, uma resolução denominada Mandato de Berlim, com o objectivo de rever os compromissos anteriormente assumidos na Convenção.

1996	Na segunda conferência (COP-2), realizada em Julho de 1996, em Genebra na Suíça, foi assinada a Declaração de Genebra, que contemplou a criação de obrigações legais com vista à redução de emissões de CO2.
1997	Na terceira Conferência das Partes da Convenção (COP-3), realizada em Dezembro de 1997, em Quioto, Japão, foi adoptado por consenso um Protocolo à Convenção sobre Mudança do Clima.
1998	A Quarta Conferência (COP-4) realizou-se entre 2 e 13 de Novembro de 1998, em Buenos Aires, Argentina, estabeleceu o Plano de Acção de Buenos Aires (Buenos Aires Plan of Action - BAPA).
1999	Em Novembro de 1999 realizou-se a COP-5 em Bonn (Alemanha), dando continuidade aos trabalhos iniciados em Buenos Aires.
2000	A COP-6 realizada em Novembro de 2000, em Haia, na Holanda, foi relatado que a Convenção já contava com 183 assinaturas, as negociações foram suspensas pela falta de acordo entre a União Europeia e os Estados Unidos em relação às actividades de mudança do uso da terra.
2001	Em virtude do impasse criado, foi convocada nova conferência, chamada de Sexta Sessão Reconvocada da Conferência das Partes - COP 6 parte II ou COP 6.5, realizada em Bonn, Alemanha, em Julho de 2001.
2002	A oitava Conferência das Partes (COP8) realizou-se em 2002, em Nova Deli, na Índia. Apesar de importantes avanços, não determinou quais seriam as definições e modalidades para as actividades de reflorestação e florestação elegíveis ao MDL. A União Europeia e o Japão rectificaram o Protocolo de Quioto.
2003	Na Nona Conferência das Partes – COP 9, que aconteceu em Dezembro de 2003, em Milão, Itália, um dos principais resultados foi a definição das regras de inclusão dos projectos de reflorestação e florestação, no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).
2004	Publicação dos PNALE na Europa: directiva “linking” na Europa, ratificação pela Rússia.
2005	Entrou em vigor o Protocolo de Quioto e realizou-se a primeira Conferência das Partes, servindo como Reunião das Partes ao Protocolo de Quioto, (COP/MOP ou CMP-1) em Montreal. Criou-se o G8+5, Generalas Dialogue, registaram-se os primeiros projectos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e foram emitidas as primeiras CER.
2006	O volume de reduções esperadas por projectos de CDM atingiu o bilião de toneladas (cerca de 20% do total de redução esperado por Quioto)
2007	Realizou-se a revisão do PNALE para o período 2008-2012, a revisão da Directiva de Comércio de Emissões (em curso), a inclusão da aviação no mercado de emissões, o compromisso unilateral da União Europeia de reduzir em 20% até 2020, as emissões.
2008	Realizou-se uma Conferência em Dezembro, em Poznan, Polónia com o objectivo de representar uma etapa crucial nas negociações destinadas a alcançar um acordo internacional sobre a matéria que suceda ao Protocolo de Quioto, após 2012. Contudo chegou ao fim, sem muitos avanços.
2009	Realizou-se a Conferência Climática de Copenhaga 2009. A conferência climática de Copenhaga fez um acordo não vinculativo onde um grupo de países desenvolvidos e emergentes, prometem fazer mais esforços

para combater as alterações climáticas. Esta conferência ambicionou ainda a criação de um fundo para os países mais pobres enfrentarem as alterações climáticas, com 30 mil milhões de dólares (21 mil milhões de euros) nos próximos três anos e 100 mil milhões de dólares (70 mil milhões de euros) anuais a partir de 2020. O acordo não tem carácter vinculativo. E, apesar de reconhecido pela ONU, apenas diz respeito aos países que a ele aderirem. Qualquer país poderá juntar-se aos 28 que já subscreveram o texto.

Na sequência destes acordos e a fim de atingir as metas de Quioto, os sucessivos Governos Portugueses têm vindo a adoptar medidas de política que visam contribuir para a redução da dependência do petróleo, o desenvolvimento agrícola sustentável, o aproveitamento de recursos endógenos e a redução das emissões de CO₂ nos transportes. Estas medidas são atendidas ao nível comunitário pelo plano de acção para a biomassa e a estratégia da União Europeia para os biocombustíveis. A nível nacional, estas medidas são assistidas pelo PNAC (Plano Nacional de Mudanças Climáticas) e o programa de actuação para reduzir a dependência de Portugal em relação ao petróleo (Ministros Resolução nº 171/2004, de 29 de Novembro). Esta legislação visa atingir duas metas estratégicas: reduzir a dependência de Portugal do petróleo e 20% da intensidade energética.

Nesta óptica, foi surgindo nas últimas duas décadas um crescente interesse na biomassa como importante fonte de energia. A bioenergia passou a ser vista como uma das principais opções para substituir os combustíveis fósseis. A biomassa e os resíduos sólidos urbanos representavam em 2006 as principais fontes de produção de energias renováveis na UE (68%). A seguir a hidráulica com uma quota de 21%, enquanto a energia eólica, geotérmica e solar representavam 6%, 4% e 1% respectivamente (Eurostat, 2009c).

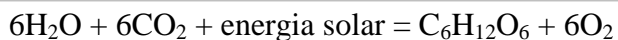
A biomassa constitui uma fonte renovável de produção energética para a **produção de electricidade, calor ou combustível**, sendo muito variado o leque de produtos utilizáveis para este fim, oriundos em larga medida da actividade agrícola, silvícola, pesca e respectivas fileiras industriais: produtos e subprodutos da floresta, resíduos da indústria da madeira, culturas e resíduos de culturas agrícolas, efluentes domésticos e de instalações de agro-pecuária, efluentes e resíduos de indústrias agro-alimentares, como por exemplo lacticínios, matadouros, lagares ou indústrias de transformação de frutos secos e resíduos sólidos urbanos (Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2005). A biomassa é também uma fonte

natural de energia, e a sua aplicação pode cobrir o fornecimento de combustível em muitas situações, que em troca pode levar a uma maior segurança no fornecimento de energia. A produção de biomassa pode criar empregos e se a agricultura intensiva for substituída por uma gestão de culturas energéticas menos agressiva, é provável que traga benefícios ambientais, tais como a redução de fertilizantes e o uso de pesticidas e a restauração de terras degradadas (Ferreira *et al.*, 2009).

Na Europa desenvolveu-se um conjunto de actividades e programas que foram implementados para estimular o uso da biomassa para a produção de energia. Sobretudo após a Reforma da PAC de 1992, a União Europeia tem vindo a encorajar a utilização de superfícies agrícolas para o cultivo de produtos não alimentares. A política sócio-estrutural agrícola, em particular, tem vindo a incentivar, também, o investimento neste tipo de sectores, bem como, têm sido direccionados neste sentido importantes recursos na área da I&D (Brás *et al.*, 2008).

3.3. Caracterização geral da Biomassa

A fonte original da energia presente na biomassa é o Sol. As plantas utilizam as suas folhas para usar a energia solar, na forma de energia luminosa ou fotões juntamente com dióxido de carbono do ar e água do solo para fabricarem uma série de componentes colectivamente denominados de hidratos de carbono. A energia original do Sol fica armazenada nas ligações químicas destes compostos. Quando as plantas se decompõem, a energia é libertada ou convertida noutra forma de energia. Por outro lado, a fotossíntese realizada pelas plantas absorve o dióxido de carbono presente na atmosfera e liberta oxigénio, permitindo à natureza regenerar o ar. Quimicamente, a fotossíntese é representada de acordo com o esquema abaixo:



Se o processo de transformação da biomassa em energia for executado de maneira eficiente e controlada, a queima resultará em água (H₂O) e dióxido de carbono (CO₂), além da própria energia.

Segundo publicação da convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, UNFCCC (2003), os principais gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC), e hexafluoreto de enxofre (SF₆). O total de emissões de carbono através da combustão de combustíveis fósseis e queima de gás natural em 2005 foi de 7,7 biliões de toneladas, enquanto a produção líquida primária fixou 57 biliões de toneladas de carbono em terra e 57 biliões nos oceanos. A grande maioria do total da produção líquida primária da biosfera é devolvida à atmosfera através da decomposição e dos incêndios. O total anual da produção líquida primária fixado pelas culturas energéticas em 2005 foi de 7 biliões de toneladas de carbono por ano, ligeiramente menos do que o total libertado pela combustão de combustíveis fósseis (Field *et al.*, 2007). O facto de os sistemas de energia de combustíveis fósseis libertarem mais carbono do que o fixado anualmente por todas as culturas energéticas, destaca o desafio de substituir uma parte substancial dos sistemas de combustível fóssil por um sistema com base na biomassa.

Um aspecto comum aos combustíveis fósseis e combustíveis de origem biológica (i.e., biomassa) é que todos foram, na sua origem, matéria viva. Os combustíveis podem ser classificados em **gasosos**, **líquidos** e **sólidos**. Existe uma ampla variedade de fontes de biomassa, tais como as **biomassas agrícolas**, que segundo Brás *et al.* (2008) subdividem-se, em atenção à sua especificidade, em três tipos distintos: biomassa de produção agrícola dedicada; biomassa de resíduos agrícolas; e biomassa de resíduos das indústrias agrícolas e a **biomassa florestal** que também pode ser classificada em três tipos: biomassa de estilha; biomassa de raízes e biomassa de resíduos. Na sua forma, a biomassa apresenta-se como:

- ⇒ **Biomassa sólida:** A biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos da floresta e das indústrias com ela relacionadas, e a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.
- ⇒ **Biomassa gasosa:** Os biocombustíveis gasosos são designados por biogás. O biogás tem origem nos efluentes agro-pecuários, da agro-indústria e urbanos (lamas das ETAR - Estações de Tratamento de Águas Residuais) e ainda nos aterros de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

⇒ **Biomassa líquida:** A biomassa líquida pode existir sobre a forma de biodiesel, etanol ou metanol. Os biocombustíveis líquidos podem ainda dividir-se em biomassa líquida ou em biocarburantes. A biomassa líquida é constituída por compostos muito oxigenados que podem ser obtidos por pirólise rápida a partir de uma enorme variedade de produtos tais como: resíduos florestais, resíduos da indústria da madeira, bagaço de cana-de-açúcar, cascas de cereais. Os biocarburantes têm origem em culturas energéticas com potencial de utilização em motores ou outros equipamentos de queima. Uma vez que os combustíveis derivados da biomassa são hidrocarbonetos oxigenados (álcoois), apresentam poderes caloríficos menores, teores de humidade maiores e teores de enxofre, cinzas e azoto menores do que os combustíveis líquidos derivados do petróleo bruto.

3.3.1. Conversão da Biomassa em Energia

Inicialmente, a biomassa não pode ser utilizada para produzir energia. Tornam-se necessários, assim, alguns processos intermédios para adequar a biomassa à sua posterior conversão em energia. Esses processos estão incluídos em 3 grupos, **físicos** (são processos que actuam fisicamente sobre toda a biomassa e estão associados com as fases primárias da transformação (preparação, corte, compactação, secagem, etc.); **químicos** (são os processos relacionados com a digestão química, geralmente através de hidrólise, pirólise ou gasificação) e **biológicos** (são implementados através de uma actuação directa de microrganismos ou enzimas (fermentação)).

Depois de a biomassa passar por estas transformações, pode ser utilizada em processos de produção de energia, tais como: **geração de energia eléctrica, utilização térmica final, produção de biocombustíveis e produção de biogás**. Assim, Brás *et al.* (2008) definem 3 tipos de energia provenientes da transformação da biomassa: **energia térmica, eléctrica e mecânica**. Desta forma a biomassa constitui uma fonte renovável de produção energética para a produção de electricidade ou calor, sendo muito variado, como já foi mencionado, o leque de produtos utilizáveis para este fim, oriundos em larga medida da actividade agrícola e silvícola, entre os quais os produtos e subprodutos da floresta e resíduos industriais. Quando utilizada para aquecimento ambiente (a nível doméstico) ou produção de electricidade (a nível industrial), o

rendimento obtido varia largamente com a forma da biomassa e, em especial, com a tecnologia utilizada para a sua conversão em calor ou electricidade.

Foram desenvolvidos vários processos de bioenergia que podem ser usados para converter a biomassa como matéria-prima no produto final de energia. Os processos de conversão de biomassa são normalmente seleccionados baseando-se nos seguintes factores: a forma final desejada para a energia, as normas ambientais, o tipo e a quantidade de biomassa disponível de cada região e as políticas governamentais. Segundo Ferreira *et al.* (2009) as tecnologias de conversão de biomassa incluem uma ampla variedade de fontes de biomassa e opções de conversão. Devido à variabilidade de materiais que podem ser considerados biomassa, existem diversos processos onde se transforma a biomassa em energia, e que podem ser divididos em dois tipos: os que envolvem **processos termoquímicos** e os que envolvem **processos biológicos**. Os **métodos termoquímicos** baseiam-se na utilização de calor como fonte de transformação da biomassa. Trata-se de métodos que têm vindo a ser desenvolvidos para a conversão da **biomassa residual** obtida a partir das actividades agrícolas e florestais e das indústrias de transformação agro-alimentar e da madeira. Estes processos são adequados para materiais herbáceos de baixa humidade. Entre eles, temos a combustão directa, gaseificação, pirólise, transesterificação. Os **métodos biológicos** baseiam-se na utilização de diversos tipos de microorganismos que, por sua vez, transformam as moléculas em compostos mais simples, mas com alto valor energético. São métodos mais adequados para biomassas com elevado teor em humidade. São exemplos destes métodos (i) a fermentação alcoólica para produção de etanol e (ii) a digestão anaeróbia.

3.4. Conclusões

As mudanças climáticas, as ameaças de abastecimento e armazenamento e a volatilidade dos preços da energia na Europa, impõem uma redução ambiciosa no consumo de energia primária e uma diversificação das fontes energéticas. Este capítulo inicialmente evidencia a importância das FER no mercado energético actual e futuro de forma a possibilitar um desenvolvimento sustentável e energético, dando especial relevo à contribuição da biomassa para atingir este fim.

Na secção final do capítulo foi ilustrada a heterogeneidade da biomassa e as características associadas a cada uma das suas fontes de energia, bem como um breve esclarecimento dos diferentes processos de conversão energética. O próximo capítulo oferece uma revisão da literatura, apresentando diferentes ideias adoptadas por autores relativamente ao aproveitamento da biomassa para fins energéticos.

Fundamentos Teóricos: a biomassa como fonte de energia

4. Fundamentos Teóricos: a biomassa como fonte de energia

4.1. Introdução

A biomassa é definida por Fernandes *et al.* (2007) como qualquer fonte de energia de calor produzida a partir de fósseis de materiais biológicos, energia essa que pode vir tanto da terra como do oceano e dos habitats de água doce. Segundo este autor, possíveis fontes futuras de energia tais como o hidrogénio a partir de microrganismos genéticos ou electricidade a partir de células fotossintéticas também podem ser consideradas energia de biomassa, embora estes tenham uma série diferente de desafios técnicos para a biomassa do que a actual energia a partir de plantas terrestres. De acordo com McKendry (2002) o valor de um tipo específico de biomassa depende das propriedades físicas e químicas das moléculas a partir do qual ela é feita. Baseada principalmente no teor de humidade de biomassa, o tipo de biomassa seleccionado posteriormente dita a forma mais provável do processo de conversão de energia. A figura 6 permite observar as diferentes formas que a biomassa apresenta.



Figura 6 – Fontes de Biomassa. Fonte: Sousa (2009)

Autores como Saéz *et al.* (1998) e Thornley (2006) defendem que o uso da biomassa, nomeadamente através da sua queima, não contribui para o aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Com efeito, as plantas absorvem o dióxido de carbono enquanto crescem, e este é depois libertado quando o material lenhoso é queimado ou apodrece. Outras plantas usarão este dióxido de carbono para crescer e assim por diante. Por isso se diz que o **balanço do CO₂ é zero para a utilização da biomassa**, não contribuindo assim para o aquecimento global, que está na origem das alterações climáticas. Na mesma linha de pensamento Ferreira *et al.* (2009) defendem que quando produzida por recursos sustentáveis, a

biomassa emite aproximadamente a mesma quantidade de carbono que durante o crescimento das plantas. Portanto, também consideram que o uso da biomassa não contribui para a acumulação de CO₂ na atmosfera. Apesar destas considerações, McKendry (2002) refere que é necessário notar que muitas vezes é negligenciado o facto de que existe um lapso de tempo entre a libertação instantânea de CO₂ da queima de combustíveis fósseis e da sua eventual absorção como a biomassa, o que pode levar muitos anos. Saião (2009) realça o facto que o balanço de CO₂ é zero se for apenas considerado o processo de queima em si. No entanto, se analisarmos toda a cadeia de aproveitamento de biomassa (recolha, transporte, queima), está sempre associada a libertação de GEE.

Um sistema ideal de produção de biomassa é aquele em que a energia não contribui para a mudança do clima através dos gases de efeito de estufa. Os sistemas reais de produção de biomassa diferem dos sistemas ideais em três aspectos. Em primeiro lugar, de acordo com Hill *et al.* (2006) a produção de energia de biomassa, quase sempre implica a utilização de energia fóssil para a agricultura, transporte e fabricação nas diferentes fases do processo. Em segundo, na opinião de Houghton *et al.* (1983) a desflorestação geralmente liberta uma grande quantidade de carbono das árvores para a atmosfera. Para Schaeffer *et al.* (2006) o terceiro aspecto refere-se ao efeito da biomassa sobre o clima, que envolve o equilíbrio entre absorção e reflexão da energia solar na superfície da terra. De acordo com Hazell e Pachauri (2006) como os combustíveis fósseis são usados na produção de energia depende da forma particular de biomassa e do método de produção. Dependendo do tipo de matéria-prima, onde e como é cultivado e utilizado, o saldo líquido de carbono pode variar muito.

Segundo Ferreira *et al.* (2009) a biomassa é a fonte mais antiga que a humanidade conhece e tem sido usada para responder a uma grande variedade de procura, tal como: a produção de energia, aquecimento de edifícios, combustível para veículos e fornecimento de calor para processos industriais. Nos países em desenvolvimento, a biomassa (madeira) é utilizada como uma importante fonte de energia, enquanto nos países industrializados, representa apenas 3% da oferta de energia (Nonhebel, 2005).

Há um potencial significativo para expandir o uso da biomassa, tendo em consideração os grandes volumes de resíduos não utilizados. A utilização de culturas convencionais para o uso de energia também pode ser ampliada, com uma análise cuidadosa de disponibilidade de terras da

procura de alimentos. A longo prazo, a biomassa de algas aquáticas também poderia fazer uma contribuição significativa (IEA Bioenergy, 2010). Para Berndes *et al.* (2003), a biomassa tem potencial para se tornar uma das principais fontes globais de energia primária durante o próximo século, e consideram que os sistemas modernizados de bioenergia são importantes contribuintes para a futura sustentabilidade dos sistemas de energia e para o desenvolvimento sustentável nos países industrializados bem como nos países em desenvolvimento. Os cenários apresentados no estudo de Nakicenovic *et al.* (1998) mostravam já que a procura futura de bioenergia poderia ser elevada, mesmo na ausência de políticas directas no combate às alterações climáticas.

Este capítulo analisa a situação actual e futura da biomassa baseada numa revisão da literatura. O potencial da biomassa do ponto de vista das alterações climáticas e da sociedade são apresentadas. O papel da bioenergia em relação à segurança no abastecimento energético é analisado do ponto de vista de diversos autores. Os impactos da geração energética por parte da biomassa são descritos nesta secção, juntamente com as vantagens e perigos das culturas energéticas em relação às culturas tradicionais. Na última secção do capítulo apresentam-se as culturas possíveis para a produção de energia, analisando o caso particular de Portugal. O capítulo termina com as conclusões finais.

4.2. Situação Actual e Futura da Biomassa

Hoje, a biomassa representa 10% do consumo de energia primária global anual. Isto deve-se principalmente à biomassa tradicional utilizada para cozinhar e para o aquecimento (IEA Bioenergy, 2010). Sendo a única fonte renovável que pode substituir os combustíveis fósseis em todos os mercados energéticos - na produção de calor, electricidade e combustíveis para transporte, a bioenergia poderá contribuir sustentadamente com 25% e 33% no futuro fornecimento global de energia primária em 2050 (IEA Bioenergy, 2009). Verifica-se assim, com base na gama diversificada de matérias-primas da biomassa que o potencial desta fonte energética é elevado, embora a maioria dos cenários de abastecimento da biomassa que levam em conta as restrições de sustentabilidade, indicam uma diminuição deste potencial.

A biomassa que apresenta o maior potencial provém dos resíduos agrícolas, dos resíduos alimentares, e dos resíduos sólidos urbanos em 2020. Por sua vez, o potencial energético dos resíduos florestais e das culturas energéticas irá ser aproximadamente o mesmo (NEEDS, 2008).

Globalmente, o uso de biomassa no fornecimento de calor e aplicações industriais deverá duplicar até 2050, enquanto se prevê um aumento na produção de electricidade a partir de biomassa, desde a sua actual quota de 1,3% na produção total de energia para 2,4-3,3% em 2030 (IEA Bioenergy, 2010). No caso particular de Portugal, avaliações efectuadas por Ferreira *et al.*, (2009) apontam para um potencial de bioenergia total actual de 26.336 GWh/ano. Os recursos de bioenergia que contribuem para este valor são: origem animal (1.7073 GWh/ano), origem florestal (11.573 GWh/ano), origem agrícola (3.580 GWh/ano), tratamento de águas residuais (628 GWh/ano), aterros (1.104 GWh/ano), culturas energéticas (8.378 GWh/ano).

4.2.1.Potencial da Biomassa

Já foi referido que hoje em dia a bioenergia é vista como uma das opções chave para abrandar as emissões de gases de efeito estufa e substituir os combustíveis fósseis (Kheshgi *et al.*, 2000). A bioenergia é também uma fonte atípica, devido à sua diversidade e inter-relações com muitas áreas tecnológicas e políticas. Segundo Berndes e Hansson (2007) do ponto de vista do abrandamento das alterações climáticas, o recurso da utilização da biomassa num determinado sector depende da competitividade e da disponibilidade do potencial da biomassa em comparação com as outras opções renováveis. Do ponto de vista da sociedade, o mercado da biomassa cria um conjunto de vantagens ao nível económico, tais como (Domac e Richards, 2002):

- ⇒ Segurança do abastecimento de energia
- ⇒ Crescimento regional
- ⇒ Equilíbrio da balança comercial regional
- ⇒ Potencial de exportação
- ⇒ Aumento da competitividade
- ⇒ Emprego

- ⇒ Criação de rendimento e riqueza
- ⇒ Investimento induzido

Na opinião de Domac *et al.* (2005) a **bioenergia contribui para todos os elementos importantes de desenvolvimento do país ou de uma região**: crescimento económico através da expansão do negócio (lucro) e do emprego; substituição de importações (efeitos directos e indirectos sobre o PIB), segurança e diversificação do abastecimento de energia. Para Rebecca *et al.* (2007) os dois aspectos que devem ser considerados quando se avalia a contribuição da biomassa e dos biocombustíveis na nossa capacidade de atender às procuras futuras de energia com impactos ambientais limitados são (1) a quantidade de energia que é necessária para produzir cada unidade de energia renovável e (2) os gases de efeito de estufa que são libertados no processo.

Numa escala global e a longo prazo, segundo Faaij e Domac (2006) grande parte do potencial de produção de biomassa pode ser encontrada nos países em desenvolvimento e regiões como a América Latina, África e na Europa Oriental. Isso cria importantes oportunidades para tais regiões, dado o esperado aumento da bioenergia dentro do fornecimento de energia mundial.

De acordo com Berndes e Hansson (2007) a **bioenergia tem o maior potencial de criação de emprego de todas as energias renováveis**. Principalmente as regiões rurais podem beneficiar do estabelecimento de indústrias de bioenergia e da ligação à produção de biomassa. Na mesma linha de pensamento estão Field *et al.* (2007) ao considerarem que as fontes de energia de biomassa têm um potencial real para aumentar a segurança energética em regiões sem abundantes reservas de combustíveis fósseis. Para Asikainen *et al.* (2008) o sector da biomassa também pode crescer significativamente com a utilização de madeira, culturas energéticas, de resíduos orgânicos e centrais de energia, juntamente com biorefinarias.

Previsões através dos resultados do programa ALTENER mostravam já que a biomassa seria a fonte de energia renovável que cria a melhor relação entre benefícios/emprego. Algumas análises demonstravam que três novos postos de trabalho poderiam ser criados no sector da biomassa por cada emprego perdido na agricultura (Ortiz e Míguez, 1995). Alguns estudos realizados por Carrasco (2002), apontavam para a criação de cerca de 40 empregos directos e 20-45 empregos indirectos por cada MW instalado, entre 5 a 15 vezes mais do que com os

combustíveis fósseis. Solino *et al.* (2009) defendem que a biomassa cria mais empregos do que as outras fontes de energia: 10 vezes mais do que a energia nuclear e 4 vezes mais do que os combustíveis fósseis. A possibilidade da criação de emprego dos biocombustíveis é 50 vezes superior do que respeitante aos combustíveis fósseis. No sector da produção eléctrica, a criação de emprego é 10 a 20 vezes superior; e no sector da produção de calor, é duas vezes superior aos combustíveis fósseis.

Estas perspectivas de emprego positivas são susceptíveis de produzir um impacto favorável nas regiões rurais. Solino *et al.* (2009) estimaram que 80% de todos os postos de trabalho associados à utilização da biomassa como fonte de energia seriam criados nas áreas rurais.

Do ponto de vista social, a geração de empregos directos e indirectos tem sido reconhecida como um dos principais benefícios da biomassa. Por um lado, surgirá a necessidade de mão-de-obra altamente qualificada, em particular nas áreas da investigação e do desenvolvimento. Por outro lado, haverá necessidade de empregar indivíduos com qualificações médias ou baixas. Tudo isto implica um leque muito variado de novas medidas de formação e qualificação profissional para produtores e utilizadores em todos os domínios. Embora a maior parte da mão-de-obra exigida não seja qualificada, ela promove um ciclo virtuoso nas regiões da produção agrícola, caracterizado pelo aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, criação de novas actividades económicas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural (Goldemberg, 2002, Couto *et al.*, 2004). Mais uma vantagem social que merece ser mencionada é que a redução dos níveis de emissão e a melhoria da qualidade do ar, que está directamente relacionada com a saúde (não só problemas respiratórios) e reduz, consequentemente, os gastos públicos no sector da saúde (internamentos, medicamentos).

A crescente utilização e produção de biomassa como fonte de energia renovável têm criado um mercado internacional de biomassa, com um aumento de recursos de biomassa. O comércio internacional de biocombustíveis e das matérias-primas relacionadas podem fornecer oportunidades para todos os países: para vários países importadores é uma condição necessária para atingir as metas impostas; para os países exportadores, especialmente os pequenos e médios

países em desenvolvimento, os mercados de exportação são necessários para iniciar as suas indústrias (Zarrill, 2006).

No estudo realizado por Hoogwijk *et al.* (2003), foi estimado o potencial de cada categoria da biomassa para o fornecimento global. Os biomateriais, dependendo da sua procura, e a produção de biomassa em terras degradadas são as categorias com maior potencial para o fornecimento da biomassa, seguido da biomassa animal, dos agrícolas e dos resíduos florestais, respectivamente. A categoria com menor potencial é a produção de biomassa em terras agrícolas, que está condicionada à área disponível para esse fim.

O estabelecimento de normas e de sistemas de certificação são estratégias possíveis que podem ajudar a garantir que os biocombustíveis sejam produzidos e comercializados de forma sustentável. A necessidade de garantir a sustentabilidade da produção de biomassa e o seu comércio num mercado em rápido crescimento é amplamente reconhecido por vários grupos de interessados. Dam *et al.* (2008) reconhecem a necessidade dos sistemas de certificado incluírem critérios económicos, sociais e ambientais.

O conceito de desenvolvimento sustentável está fortemente aliado ao consumo e produção de energia eléctrica. Considerando a importância crescente da energia para o bem-estar da população e para a continuidade das actividades económicas, a busca por um desenvolvimento sustentável passa necessariamente pelo aumento da eficiência na produção e no uso da energia, aliadas à capacidade de geração, transmissão, distribuição e comercialização de fontes alternativas e renováveis de energia (Costa e Prates, 2005) em larga escala.

A estrutura de produção de energia de um país e a sua intensidade de utilização da energia, assim como a sua evolução no tempo, são factores-chave dos seus desempenhos ambientais e do carácter sustentável do seu desenvolvimento económico. Devido ao peso da bioenergia para a geração de electricidade, para Silva *et al.* (2005) as reformas institucionais do sector eléctrico têm proporcionado maior espaço para a geração descentralizada de energia eléctrica e a cogeração (produção combinada de calor útil e energia mecânica).

Também a necessidade de grandes investimentos na produção de calor e energia num futuro próximo apresenta uma oportunidade para a expansão das opções baseadas na biomassa (Berndes e Hansson, 2007). A promoção da biomassa seria (além da redução das emissões de

CO₂) atenuar o aumento da dependência do petróleo e, melhorar a segurança do abastecimento de electricidade. Estas preocupações relacionadas com a dependência do petróleo, com a volatilidade dos preços de mercado, a distribuição geográfica das reservas e a instabilidade geopolítica dos maiores exportadores, têm levado à substituição no sector energético do petróleo pelo gás natural. Contudo o gás natural não reduz a dependência energética da UE, devido a problemas das infra-estruturas de fornecimento relacionados com a baixa diversidade de oferta: cerca de metade do gás natural consumido na UE é actualmente fornecida pela Rússia, Noruega e Argélia (Berndes e Hansson, 2007).

Desde que a melhoria no fornecimento de energia tornou-se um objectivo fundamental da política energética na UE, as opções de bioenergia começaram a ser avaliadas em relação à segurança do abastecimento energético. Contudo, a análise custo-benefício destas medidas de segurança tem fornecido a base para questionar a promoção dos biocombustíveis para os transportes como uma garantia das medidas de abastecimento, devido ao facto dos benefícios poderem não compensar os custos (de Joode *et al.* 2004).

Para Berndes e Hansson (2007) a utilização da biomassa para fins energéticos, quando considerada a partir de uma perspectiva de segurança de abastecimento, depende do peso da dependência da importação do petróleo e gás natural e do desenvolvimento futuro dos sectores.

Não existe uma recomendação clara quanto ao sector para se utilizar a biomassa para fins energéticos. Contudo, de acordo com VIEWLS (2005) e EC/JRC (2006), independentemente de a sociedade escolher o sector dos transportes ou o de aplicações estacionárias para promover a utilização da biomassa, as opções usando matérias-primas lignocelulósicas são preferíveis às tradicionais culturas agrícolas devido a (i) uma base maior de recursos com perspectivas para a redução dos custos de fornecimento de produtos de culturas agrícolas tradicionais e (ii) um maior potencial de substituição de combustíveis fósseis para uma segunda geração de biocombustíveis para os transportes, devido aos baixos preços no fornecimento de matéria-prima.

Para Berndes e Hansson (2007) numa perspectiva de criação de emprego no sector agrícola, a utilização dos biocombustíveis nos transportes são preferíveis ao uso da biomassa no sector estacionário, como calor e energia. Como defendido por estes autores devem ser encontradas formas rentáveis de dar início a mercados de biomassa na UE, o que pode estimular

a criação e o desenvolvimento de uma infra-estrutura que leve a reduções nos custos ao longo da cadeia de fornecimento de biomassa. Em alguns países da UE15, a aplicação da co-incineração da biomassa pode servir como um importante mercado inicial para a biomassa lignocelulósica. Em outros países, como os países da Europa do Leste, o uso de biomassa em sistemas de aquecimento pode ser inicialmente a melhor opção.

Os estudos que separadamente avaliam os efeitos da substituição de combustíveis fósseis pela utilização da biomassa em diferentes aplicações indicam que a substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa na geração de calor e electricidade é mais económica e oferece maior potencial de redução na emissões de CO₂ do que na substituição da gasolina ou diesel utilizados no transporte. (Gustavsson *et al.*, 1995; Kageson, 2001). As principais causas identificadas são as maiores perdas de conversão quando a biomassa é transformada em biocombustíveis para os transportes e da energia necessária para a produção e transformação da biomassa em biocombustíveis. Gielen *et al.* (2003) indicam que o uso de biocombustíveis nos transportes é uma estratégia rentável enquanto outros mantêm que a biomassa deverá ser utilizada para a geração de calor e/ou cogeração em vez do sector de transportes (Azar *et al.*, 2003).

As considerações existentes para a segurança no abastecimento energético não determinam em que sector energético se deve utilizar a biomassa. As diferenças entre as nações irão provavelmente conduzir a diferentes prioridades. O comércio da biomassa e de biocombustíveis dentro de várias regiões do mundo como na UE requer mais investigações. De acordo com Solino *et al.* (2009) a segurança do abastecimento não procura maximizar a auto-suficiência energética ou minimizar a dependência, mas visa reduzir os riscos associados a tal dependência.

A biomassa passível de ser utilizada para a produção de energia pode ser de dois tipos de acordo com a sua proveniência: (i) a biomassa resultante da actividade agrícola ou florestal, constituindo resíduos e subprodutos, ou (ii) a **biomassa produzida para fins energéticos** (produção dedicada). Apesar dos resíduos da biomassa serem o tipo de matéria-prima mais acessível e menos dispendiosa, as culturas energéticas irão ter necessidade de ser cultivadas especificamente para a produção energética (Carapellucci *et al.*, 2002).

A secção seguinte analisa a produção dedicada para fins energéticos através das culturas energéticas, discutindo os seus benefícios e desvantagens comparativamente a outras fontes de biomassa.

4.3. Produção Dedicada para Fins Energéticos - Culturas Energéticas

Existem três factores que devem ser considerados quando se pretende equacionar a produção de culturas agrícolas para fins energéticos. Assim deve-se ter em consideração (MADRP, 2005):

- ⇒ A necessidade de se reduzir a dependência energética nacional;
- ⇒ A necessidade de redução da emissão de gases com efeito de estufa;
- ⇒ O desligamento das ajudas às culturas arvenses que poderá dar origem a uma maior flexibilidade nas opções culturais e a um maior risco de abandono da actividade agrícola e, por isso, do cultivo dos solos.

Várias avaliações do potencial do fornecimento da biomassa mostram que as maiores oportunidades para a produção de biomassa na Europa e noutros lugares encontra-se na produção de culturas energéticas agrícolas (Ericsson *et al.*, 2006; Berndes *et al.*, 2003). Na opinião de Berndes e Hansson (2007) a adopção de terras para a produção de culturas energéticas pode ser considerada uma opção para tratar vários desafios do sector agrícola decorrentes do alargamento da UE, como o abandono de terras, aumento do desemprego e o êxodo de áreas rurais. Deve-se também considerar a possibilidade de produção dedicada na área florestal ou com base em espécies até hoje não aproveitadas. Existem vários factores para justificar o porquê das culturas energéticas, entre eles, os custos relativamente elevados nas operações logísticas de recolha dos resíduos florestais; a procura cada vez maior de biomassa no futuro que dificilmente poderá ser satisfeita com resíduos das operações florestais (tendência para a trituração de madeira e para preços crescentes), a localização pouco favorável dos resíduos florestais comparada com a produção localizada de culturas para centrais consumidoras e a estabilização dos preços e da pressão sobre a madeira e outros produtos florestais que actualmente retiram matéria-prima a outros sectores industriais (Evangelista, 2007).

Vários estudos sugerem que as plantações de biomassa em países em desenvolvimento pode contribuir para que estes se tornem os principais fornecedores de bioenergia do futuro, principalmente a longo prazo, embora outros estudos indiquem uma pequena contribuição vinda desta fonte (Berndes *et al.*, 2003). Contudo, para vários autores, a contribuição das plantações da biomassa é crucial para o fornecimento total de bioenergia. Por conseguinte, a disponibilidade da terra e os níveis de rendimento na produção de culturas energéticas estão entre os parâmetros mais importantes a ser considerados (Berndes *et al.*, 2003). A contribuição das culturas energéticas dependerá de múltiplos factores, incluindo o tipo de cultura, de gestão, do clima e do solo.

De acordo com Studiorum (2006) a produção bioenergética da UE aumentou rapidamente nos últimos anos, através das culturas energéticas. Entre 1995 e 2005, a produção de biogás triplicou e a de biocombustíveis aumentou sensivelmente dez vezes. Em 2005, a maioria das terras agrícolas da UE-25 que foram directamente dedicadas à produção de biomassa para uso energético, foram aproveitadas para as culturas oleaginosas (usadas para a produção de biodiesel), e o restante foi dedicado às culturas de etanol (11%), produção de biogás (4%) e de curta rotação florestal (2%) (EEA, 2007).

Segundo dados da *International energy agency* o potencial da biomassa através de resíduos de culturas energéticas na UE até 2030 varia entre 4.4 e 24 EJ. O potencial a longo prazo para as culturas energéticas depende em grande medida (IEA Bioenergy, 2010):

- ⇒ Da disponibilidade de terras, que depende do desenvolvimento do sector alimentar (procura crescente de alimentos, dieta da população e aumento da produtividade da cultura) e os factores que limitam o acesso à terra, tais como a água e a protecção da natureza;
- ⇒ Da escolha das culturas energéticas, que define os níveis de produção de biomassa que pode ser obtido em terras disponíveis.

Apesar do aumento da produção de biomassa para fins energéticos ter potencial para compensar o uso substancial de combustíveis fósseis, para autores como Field *et al.* (2007), também tem o potencial de ameaçar áreas de conservação, poluir recursos hídricos e **diminuir a segurança alimentar** ao sacrificar áreas naturais para gerir monoculturas, contaminando as

águas com poluentes agrícolas, ameaçando o abastecimento alimentar e aumentando a rede de emissões de carbono para a atmosfera. Na mesma linha de pensamento, Leemans *et al.*, (1996) demonstrou através de análises de sensibilidade, que a produção excessiva de culturas energéticas poderia trazer consequências graves para o meio ambiente, tais como o desmatamento, **degradação do solo e ameaças à biodiversidade**.

O potencial conflito entre a biodiversidade e o cultivo de culturas de bioenergia depende de aspectos como o tipo cultura, os regimes de rotação, manuseamento de pragas, uso de fertilizantes, irrigação, tamanho do campo e os procedimentos de colheita (Borrego, 2008). Wit e Faaij (2009) também consideram que a aplicação de uma gestão muito intensa de culturas energéticas pode provocar pressões sobre o meio ambiente e alterar a sustentável utilização dos recursos. Alguns efeitos adversos que podem resultar das culturas intensivas, como os referidos anteriormente, podem ser minimizadas e mesmo evitadas se houver uma gestão adequada. No entanto, vários estudos têm também demonstrado que, em geral, esses problemas são menos graves quando comparados com as plantações de alimentos (Faaij e JDomac, 2006). De qualquer modo, os efeitos variam consideravelmente em função das condições específicas do lugar e da gestão das superfícies com as quais se comparam as culturas energéticas.

Em geral para Guardabassi (2006) é necessário esclarecer que a biomassa nem sempre é utilizada de maneira sustentável. Por exemplo, quando a procura de lenha supera a oferta, e o consumo/extracção passa a ser maior do que a capacidade de regeneração da floresta, este sistema não é sustentável. Para alguns autores, as possibilidades dos riscos que a produção dedicada de biomassa acarreta são reais, mas as preocupações também são justificadas. Como os investimentos em energia de biomassa estão a aumentar, é preciso haver discussão, contínua e activa sobre as estratégias para equilibrar os prós e os contras da energia de biomassa. Estima-se que as culturas energéticas serão 77% do tamanho das outras terras de cultivo em 2095, mas a expansão da bioenergia foi reconhecida por Berndes *et al.* (2003) como implicando a pressão continuada sobre as florestas e os ecossistemas, em vez de competir com a produção de alimentos. Deverá existir um equilíbrio entre a produção dedicada e a pressão exercida sobre o meio ambiente, e por outro lado, um equilíbrio entre a produção agrícola e a terra disponível.

Segundo Ferreira *et al.* (2009) a produção de culturas de biomassa ou a utilização de recursos disponíveis está frequentemente associada à política agrícola. Portanto, para estes

autores, o uso de energias renováveis é obrigatório e a biomassa, a forma mais comum de energia renovável, é uma alternativa real que pode permitir alcançar os 3 objectivos estratégicos da energia da União Europeia – **Sustentabilidade, Segurança do abastecimento e Competitividade.**

Se as culturas energéticas serão adoptadas ou não pelos agricultores depende muito da economia inerente a essas culturas. De acordo com Johansson e Azar (2006) quando os lucros das plantações de biomassa excederem os lucros da produção de alimentos, os agricultores, se eles se comportarem como maximizadores de lucros, irão deslocar-se em direcção às culturas energéticas, a menos que os preços da agricultura aumentem.

Para abordar as estratégias futuras para a bioenergia é necessário compreender a natureza e a importância das diferentes fontes de custos na produção de culturas energéticas. As culturas geralmente passam por diferentes fases de desenvolvimento em termos de reprodução das plantas, disponibilidade das máquinas para a manutenção e recolha da colheita, e pela organização e existência de mercados de culturas. A fase de desenvolvimento da cultura afecta a redução de custos futuros no crescimento da cultura. Por isso deve-se analisar os custos de produção, não só nas condições actuais, mas também sob possíveis condições futuras, incluindo um aumento na área de cultivo.

O rendimento geral do potencial da energia de biomassa depende da área territorial atribuída a produzi-lo. Já foi referido que muitas das preocupações sobre a expansão da indústria da energia de biomassa envolvem a possibilidade que a nova produção vá ocupar a terra necessária para o cultivo de alimentos e para a conservação (Field *et al.*, 2007). Segundo Field *et al.* (2007) a área com maior potencial para a produção de energia de biomassa, que reduz o aquecimento líquido e evita a competição com a produção de alimentos é a terra que foi anteriormente utilizada para agricultura ou pastagem, mas que foi abandonada e não convertida em floresta ou áreas urbanas. Na mesma linha de pensamento está Campbell *et al.*, (2008) ao considerarem que **converter terras florestais** em culturas energéticas poderia acelerar a mudança climática através da emissão de carbono armazenado nas florestas, enquanto a **conversão da agricultura** alimentar em culturas energéticas poderia ameaçar a segurança alimentar. Ambos os problemas podem ser evitados pelo uso de terras agrícolas abandonadas para as culturas energéticas.

Contudo verifica-se ser um desafio avaliar o potencial global da produção de bioenergia a partir de terras agrícolas abandonadas e degradadas por causa da alta incerteza associada à extensão espacial das terras e ao potencial de produção de culturas nessas terras. No estudo realizado por Campbell *et al.* (2008), os autores demonstraram com base em dados históricos, dados por satélite e modelagem do ecossistema, que o potencial global de bioenergia em terras agrícolas abandonadas é inferior a 8% da procura actual de energia primária e que a área global estimada de terras agrícolas abandonadas é de 385-472 milhões de hectares.

Hall *et al.* (1993) argumentam que, em muitos casos, mas não todos, produzir culturas energéticas em áreas degradadas em países desenvolvidos poderá melhorar esta terra, pois isso seria restaurar a matéria orgânica e nutrientes, estabilizar a erosão e melhorar as condições de humidade. Também Rebecca *et al.* (2007) alegam que o uso de culturas dedicadas e de culturas de biomassa de segunda geração para o fornecimento de energia e de transporte a partir de biocombustíveis líquidos tem o potencial de fornecer uma gama de benefícios para ambos os serviços ambientais e para o abrandamento de carbono em comparação com o uso de terras para a produção das culturas arvenses. **Contudo onde a bioenergia deve ser cultivada é naturalmente uma questão diferente de onde pode, de facto, vir a ser cultivada.** Se a concessão de terrenos é feita por agricultores comerciais e por empresas, espera-se que escolham o tipo de terreno mais rentável. Não há uma razão para pensar que é mais rentável escolher terras degradadas e de menor qualidade (Johansson e Azar, 2006).

Para Wit e Faaij (2009), o terreno disponível para a produção de biomassa é a base de terra residual após a subtracção da terra necessária para os alimentos, rações e pecuária, áreas construídas e retiradas para a conservação da natureza. A taxa a que a intensificação da produção agrícola se desenvolve tem consequências consideráveis para as terras disponíveis para a produção de bioenergia. As plantações de biomassa para a produção de bioenergia devem ser seleccionadas com cuidado e tendo em atenção as pressões ambientais e o seu potencial de influenciar positivamente a paisagem e a qualidade da biodiversidade de uma área (EEA, 2007a).

O impacto ambiental das diferentes culturas energéticas pode ser avaliado através de uma série de indicadores que são idealmente avaliados para cada zona. Os indicadores de pressão que podem ser utilizados para determinar o impacto ambiental de bioenergia, incluem (EEA, 2007a):

- Erosão;
- Compactação do solo;
- Lixiviação de nutrientes para as águas subterrâneas;
- Contaminação dos solos e da água por pesticidas;
- Necessidade de água;
- Risco de incêndio;
- Biodiversidade das terras;
- Diversidade de tipos de cultura

Até agora, as culturas energéticas apresentam uma pequena contribuição para o fornecimento de biomassa, e a produção é praticamente dominada por culturas anuais para a produção de combustíveis. De acordo com as estimativas de Siret (2002) em França, as culturas não alimentares, como a colza, o girassol e o linho, reduzem as emissões de CO₂ em 2.500.000 toneladas, contribuem para a manutenção de 10.000 postos de trabalho e evitam a importação de 600.000 toneladas de petróleo. Em alguns países da União Europeia, nomeadamente, em Espanha e França, tem-se, mesmo, investido na produção intensiva de espécies florestais de crescimento rápido, conduzidas em regime de talhadia e com rotações bastante curtas, para produção de biomassa com fins energéticos. As culturas energéticas têm um desempenho ambiental global unido e um elevado rendimento de produção de biomassa por hectare nas áreas mediterrâneas. De acordo com Gasol *et al.* (2008) uma desvantagem ambiental destas culturas é o elevado consumo de água, que é um recurso limitado por exemplo em Espanha e noutros países mediterrâneos. Segundo Studiorum (2006) a superfície destinada às culturas energéticas não parou de aumentar nos últimos anos na UE, sendo que os 235.000 ha existentes em 1993 passaram para 1.175.600 ha em 2003 e para cerca de 2.445.700 ha em 2005. Em 2005, 80-85% do que foi cultivado foi para a produção de biodiesel (Vannini, 2006). A superfície de terras que recebem ajuda pela produção de culturas energéticas na UE também aumentou, tendo passado de 305.000 ha em 2004 para 560.000 ha em 2005 e para cerca de 2,2 milhões ha em 2006 (Studiorum, 2006).

A ideia central de Studiorum (2006) é que sem incentivos e ajudas por parte dos Governos (por exemplo, a organização da cadeia de abastecimento e a existência de infra-estruturas adequadas, e as ajudas concebidas dentro do âmbito do PAC e fora deste, tarifas de aquisição, isenção de imposto, certificados verdes, etc.), a introdução de novas culturas energéticas e a sua aceitação torna-se mais difícil. Em 2005, foram cultivados na UE cerca de 835.000 ha de culturas energéticas, ao abrigo do regime de retirada de terras destinadas a culturas sem finalidade alimentar (Studiorum, 2006). Este regime incentiva o agricultor a introduzir a produção de culturas não energéticas, já que evita os custos de manutenção da terra (nas superfícies retiradas) e porque não existe qualquer outra alternativa viável e rentável às culturas energéticas. Este autor considera que as ajudas actuais às culturas energéticas têm efeitos directos nos preços da biomassa, considerados, no entanto, em geral, demasiado limitados para constituir um contributo significativo que permita que as culturas energéticas e a biomassa beneficiem do facto de serem competitivas em relação a outras fontes de energia.

Para Ericsson *et al.* (2009) as plantações de culturas energéticas que trazem adicionalmente benefícios ambientais são comumente designadas de plantações de culturas energéticas multi-funcionais. Elas podem ser divididas em duas categorias: as destinadas aos serviços dedicados ao ambiente (por exemplo, esgotos de tratamentos de lamas, filtros para as águas residuais) e as que criam mais benefícios no geral (por exemplo, aumento da fertilidade do solo, potencial aumento da caça). Estes autores demonstraram que o valor financeiro das plantações multi-funcionais é normalmente mais elevado do que aquelas que são destinadas para os serviços dedicados ao ambiente. Os maiores potenciais são encontrados em áreas de exploração em redor das cidades. Contudo utilizando as plantações de energia multi-funcionais como uma força para as culturas energéticas, requer que o valor do serviço ambiental seja rentabilizado e transferido para o produtor das culturas energéticas.

4.3.1. Competição entre as Culturas Tradicionais e as Culturas Energéticas

É reconhecido pelo CESE (Comité Económico e Social Europeu) que as matérias-primas renováveis são um importante factor para a sustentabilidade das economias nacionais. Ao mesmo tempo, constata que o valor energético de determinados produtos agrícolas essenciais é

actualmente superior ao seu valor enquanto produtos alimentares. E referem também que o nível no mercado é estipulado pelo preço da energia, enquanto os preços dos produtos agrícolas atingem um limite mínimo.

O uso de plantações de biomassa exige disponibilidade de terra, o que implica que a quantidade total de energia que pode ser obtida a partir desta fonte de energia renovável é limitada. Esta terra também é utilizada para outras aplicações como a produção de alimentos. Segundo Nonhebel (2005) a área necessária para o fornecimento de energia e alimentação depende por um lado do consumo e por outro da produção por m². Desse modo, existe uma concorrência entre as diversas utilizações das terras para produção de culturas alimentares, objectivos da biodiversidade e conservação da natureza e da protecção ambiental, ou para produção de matérias-primas para fins não alimentares. Esta concorrência varia de região para região e evoluirá de modo diverso. Também no que respeita a superfícies disponíveis para produções deste tipo, a situação não é homogénea.

Wolf *et al.* (2003) defendem que nas sociedades desenvolvidas 35% da superfície terrestre que é potencialmente apta para a agricultura, é necessária para a oferta de alimentos nos anos futuros. A área restante pode ser utilizada para outros fins, como a produção da biomassa para uso energético, contudo os modelos económicos indicam que a agricultura para a biomassa e a agricultura para a alimentação irão competir directamente pela área dos terrenos. A superfície necessária para a produção de alimentos depende dos rendimentos obtidos. Existe uma grande variação dos rendimentos agrícolas em todo o mundo, essa variação é em parte causada por diferenças nas condições de crescimento, mas também por diferenças nas práticas agrícolas (Nonhebel, 2005).

Alguns estudos de modelagem de biomassa projectam que áreas adicionais além das terras degradadas, abandonadas e marginais ficarão disponíveis, como as terras agrícolas abandonadas em resposta à oferta de alimentos excedentes. Para Field *et al.* (2007) é necessário avaliar o potencial de produção de energia de biomassa que não reduza a segurança alimentar, elimine as florestas ou coloque em perigo as terras de conservação. Na verdade, de acordo com Ericsson e Nilsson (2006) é extremamente difícil estimar as áreas futuras de terras agrícolas disponíveis para a produção de culturas energéticas, principalmente quando o prazo se estende

por várias décadas. As culturas energéticas enfrentam a concorrência de diversos tipos de uso do solo, como por exemplo, a produção de alimentos, infra-estruturas, reservas naturais, etc.

As grandes áreas teoricamente degradadas/abandonadas estão disponíveis para o cultivo de biomassa mas os custos de produção são geralmente maiores, devido aos rendimentos mais baixos e dificuldades de acessibilidade. As áreas desmatadas podem ser mais fáceis, pois os solos são mais produtivos, mas geralmente considerados insustentáveis a longo prazo. A segurança alimentar, ou seja, a produção e acesso aos alimentos, provavelmente não seria afectada por grandes culturas energéticas, se uma gestão e políticas adequadas fossem postas em prática. Na verdade a disponibilidade de comida não é um problema mas a falta de poder de compra da população mais pobre (Faaij e Domac, 2006).

No caso particular da UE, espera-se que a médio prazo, dos actuais 104 milhões de hectares de terrenos aráveis, 13.7 milhões de hectares sejam libertados, a que acrescem ainda as terras em pousio no âmbito da PAC. A Europa é o principal importador mundial de produtos alimentares. Existe desse modo a preocupação de que as terras aráveis se tornem cada vez mais escassas. Anualmente, em todo o mundo, perdem-se cerca de 7 milhões de hectares de terras destinadas à agricultura. Pensa-se que 25% do total das terras cultivadas estão em risco. Em 1970, a superfície de terra arável per capita era de 0.18 ha, ao passo que hoje esse valor é de 0.11 ha. Esta situação é ainda agravada pelas incertezas que subsistem quanto aos efeitos negativos causados pelas alterações climáticas, a nível mundial, na produtividade agrícola, que trariam perdas de produtividade. (CESE, 2006).

Se a biomassa representar uma contribuição substancial ao fornecimento de energia no futuro, é importante que exista uma dedicação nas culturas energéticas, para que estas alcancem um papel importante, uma vez que, em geral, demonstram um desempenho ambiental superior às tradicionais culturas anuais. No conjunto, as culturas energéticas estão associadas a uma maior produção de biomassa, melhor saldo líquido de energia e menores impactos ambientais (Borjesson, 2004; Biewinga, 1996).

Num estudo realizado pela EEA (2007a) foi determinado o potencial da biomassa através do aumento do rendimento e as mudanças no uso das terras. Como consequência do estudo, estimaram que em 2030, Portugal teria 38% de uma agricultura ambientalmente orientada. As

terras futuras requeridas para uso não agrícola a partir das terras liberadas pela agricultura serão de 1% em Portugal. Os resultados do estudo mostram que para a UE25, o total de terras disponíveis para produção de biomassa será quase 14 milhões de hectares até 2010, e isso irá aumentar para quase 18 milhões de hectares em 2020 e 20 milhões em 2030.

No caso particular de Portugal, é necessário ter em conta que as culturas alimentares apresentam um défice significativo de 4 mil milhões de euros, já que em 2008, o valor das importações alimentares e agrícolas foram na ordem dos 6.2 mil milhões de euros e os das exportações de 2.3 mil milhões de euros (Pinto, 2009). De acordo com este cenário, alguns autores consideram que as culturas energéticas em Portugal poderiam vir a agravar a situação da agricultura. É necessário evitar que a utilização mais intensiva das matérias-primas renováveis afecte a realização de outros objectivos ecológicos.

4.3.1.1. Culturas Agrícolas para a Produção de Energia

Várias culturas têm sido propostas ou estão em fase de teste para produção de energia. Em geral, as características de uma cultura energética ideal são: alto rendimento (produção máxima de matéria seca por hectare), baixa necessidade energética para a produção, baixo custo, composição com os menos contaminantes possíveis, baixos requisitos de nutrientes (McKendry, 2002). As características desejadas dependem também do clima local e das condições do solo. A escolha das espécies de plantas depende da utilização final e da opção de conversão energética de interesse, por exemplo, combustão, gaseificação, pirólise, fermentação, etc.

A figura 7 apresenta as culturas energéticas classificadas de acordo com o tipo de matérias-primas que podem fornecer. As principais culturas consideradas com potencial para a produção energética são: as plantas lenhosas, as gramíneas, as herbáceas, todas as culturas perenes, culturas oleaginosas, amido e açúcar (McKendry, 2002). Até hoje, a maior parte destas culturas energéticas têm sido mais aplicadas para a produção de biocombustíveis, e o aproveitamento de resíduos mais direccionado para a produção de energia térmica e eléctrica. No entanto, começa a haver por parte das centrais termoeléctricas um crescente interesse pelo aproveitamento destas culturas para todos os fins energéticos.

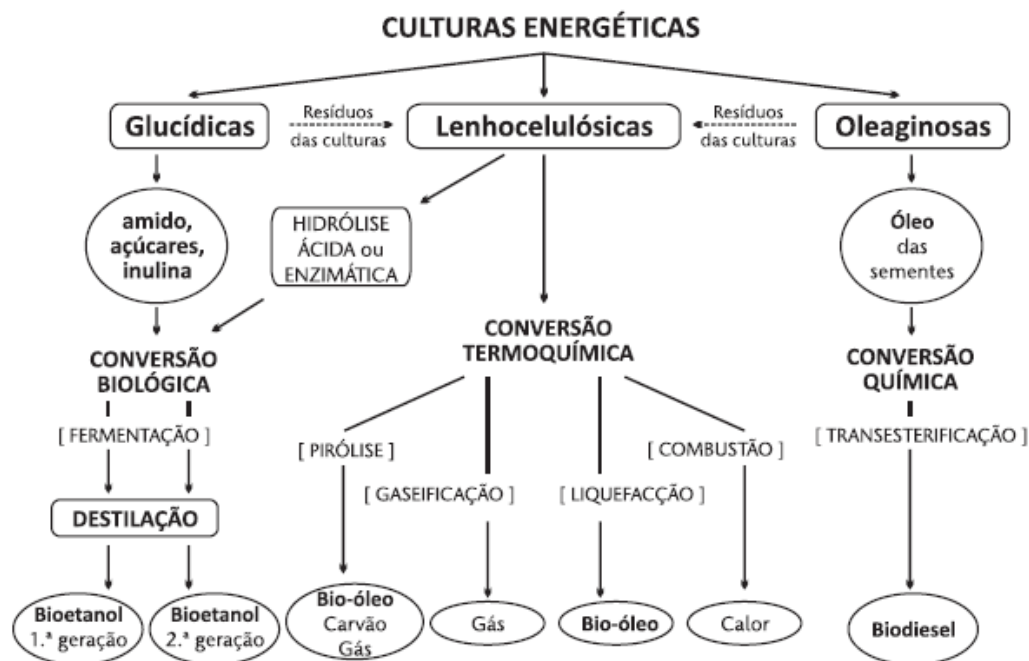


Figura 7 – Culturas energéticas classificadas de acordo com o tipo de matérias-primas que podem fornecer. Fonte: Lourenço e Januário (nd)

As culturas glucídicas, como as amiláceas e as sacarinas, podem ser aproveitadas para a produção de bioetanol de 1ª geração. As **culturas amiláceas** usadas em larga escala são o **milho** (*Zea mays* L.) (EUA, Canadá, China), o **trigo** (*Triticum aestivum* L.) (UE, China, Canadá), a **cevada** (*Hordeum vulgare* L.) (UE), e a **mandioca** (*Manihot esculenta* Crantz) (China, Indonésia, Tailândia). Dentro das **sacarinas** temos a **cana sacarina** (*Saccharum* sp.) (Brasil, Índia, Indonésia, Tailândia) e o **sorgo sacarino** (*Sorghum bicolor* Moench ssp *saccharatum*) (China e Índia). As culturas lenhocelulósicas, podem dar origem ao bioetanol de 2ª geração. No âmbito das culturas lenhocelulósicas, existem algumas pertencentes à família das gramíneas tais como o **miscanto** (*Miscanthus* sp.), ‘**switchgrass**’ (*Panicum virgatum* L.) e ‘**reedcanarygrass**’ (*Phalaris arundinaceae* L.), que são vivazes. Outras, como o **cardo** (*Cynara cardunculus* L.), pertencem à família das compostas. As **oleaginosas** fornecem matéria-prima para a produção de **biodiesel**. As oleaginosas mais aproveitadas são a **colza** (*Brassica napus* L. spp *oleífera*), o **girassol** (*Helianthus annuus* L.) e a **soja** (*Glycine max* L.) (UE, EUA); o **ricino/mamona** (*Ricinus communis* L.) (Brasil); a **jatrofa/purgueira/pinhão manso** (*Jatropha curcas* L.) (China, Índia, Indonésia); **palmeira de dendém** (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Índia, Indonésia, Malásia, Tailândia) (Lourenço e Januário, nd).

4.3.1.2. Culturas Energéticas – Caso particular de Portugal

Em relação ao território disponível para a produção de culturas energéticas em Portugal, verificou-se uma diminuição nestas áreas desde 2007 até ao presente, sendo que em 2007 existiam 16.000 ha, em 2008 permaneciam apenas 4.628 ha e finalmente em 2009 somente 2.200 ha. As principais culturas energéticas tradicionais para a produção de energia em Portugal são Girassol, Colza, Soja e Cártamo. Contudo existem outras espécies agrícolas que têm sido testadas em vários países, visando a sua utilização para fins energéticos, e que podem ser adaptadas ao território Português, tais como o Cardo, Miscanto, Eucalipto, Salgueiro, Choupo e Cana (Lourenço e Januário, nd):

- O **cardo** apresenta características bastante interessantes para Portugal, entre as quais: Adaptabilidade às condições mediterrânicas (pouco exigente em água); Cultura permanente de sequeiro - mobilização mínima de solos (conservação dos solos e respectivo sequestro de carbono); Colheita em período diferente das outras culturas agrícolas e com a vantagem de todas as operações podem realizar-se com maquinaria agrícola convencional.
- O **eucalipto** é uma das principais espécies florestais do continente português. É encarado como uma cultura com uma boa adaptação ao clima e aos solos mediterrânicos, que pode ocupar terras impróprias para a agricultura. No entanto, apresenta a desvantagem de ser uma espécie altamente consumidora de água. As características físicas, químicas e tecnológicas permitem a sua utilização, nomeadamente na produção de energia, devido ao seu poder calorífico.
- O **miscanto** é uma planta considerada próxima da cana do açúcar. O seu alto rendimento para a produção de biomassa, comprovado em diversos países da Europa, permite seleccionar esta cultura como umas das mais interessantes para a produção dedicada em terras de pousio. O miscanto é uma cultura com reduzido impacto ambiental, uma vez que o seu sistema alargado de raízes captura os nutrientes, enquanto os caules servem de abrigo para a vida selvagem. Esta planta possui uma elevada produtividade e uma reduzida necessidade de nutrientes, energia ou água, sendo por isso muito apropriada para a sequestração de carbono e para o

enriquecimento dos solos. Depois de plantada precisa de entre dois a três anos para atingir o seu potencial máximo, e dura cerca de 15 anos. O seu ciclo de produção normal produz uma única colheita anual no Outono ou no início da Primavera antes dos novos rebentos despontarem.

- A **colza** (sobretudo utilizada para a produção de biocombustíveis) não é muito tradicional no Sul da Europa, porém apresenta menos procura do que o girassol para fins alimentares, podendo ser uma alternativa atraente. Conforme Lourenço e Januário (nd), nas condições ambientais de Portugal, a cultura semeada em Outubro pode entrar em floração no fim de Fevereiro. Apresenta a vantagem, em comparação com o girassol, em condições de sequeiro, de ter menores probabilidades de sofrer carência hídrica na fase de floração, que é uma das fases mais críticas para a produção. As produtividades da colza poderão atingir os valores de 2-2,5 t/ha, enquanto com o girassol não é fácil alcançar 1,5 t/ha. Para estas autoras, o desconhecimento da colza por parte dos agricultores e a maior delicadeza da cultura em termos de técnica cultural devido ao reduzido calibre da semente e à necessidade de semear em Outubro, são factores que têm dificultado a generalização da cultura.
- O **Cártamo** (sobretudo utilizada para a produção de biocombustíveis) assemelha-se ao Girassol por se adaptar muito bem nas condições climáticas de Portugal. O Cártamo tem um forte raiz que lhe permite prosperar em climas secos. É uma planta anual que se adapta bem em terrenos profundos, pouco compactos e frescos, com pH próximo da neutralidade, em zonas com um mínimo de 350-400 mm de precipitação anual. É bastante resistente ao frio, suportando temperaturas negativas nas primeiras fases do ciclo vegetativo.

Uma vez que este tema é bastante pertinente nos dias actuais, começam a aparecer vários estudos nesta área. Distingue-se o estudo realizado por Almeida (2009) que tinha como objectivo central a determinação da aptidão agro-ecológica para a realização de culturas bioenergéticas na área de Alqueva. As culturas analisadas foram: Salgueiro (*Salix spp.*), Choupo (*Populus spp.*), Miscanto (*Miscanthus x giganteus Greef & Deu.*), Cardo (*Cynara cardunculus*), Cana-do-reino (*Arundo donax*), Painço (*Panicum virgatum L.*), Kenaf (*Hibiscus cannabinus spp.*), Erva

Purgueira (*Jatropha curcas*). Almeida (2009) determinou que a área que se pode destinar actualmente à cultura do **Salgueiro** com obtenção de produções elevadas é diminuta, situando-se nos **3505,7 ha**, localizados essencialmente na proximidade de Aljustrel. No caso do **Choupo** os resultados obtidos apontam para apenas **508,6 ha** e **38760.7 ha** de aptidão elevada e moderada, respectivamente. Estas áreas correspondem às zonas de Reguengos de Monsaraz e Vidigueira. Para a cultura do **Miscanto** os resultados apontam, para o cenário actual, uma área com aptidão elevada de apenas **1914,8 ha**. As áreas com aptidão moderada ou reduzida para esta cultura são mais extensas, respectivamente **58659,9 ha** e **51214.1 ha** (esta última principalmente nas regiões de Ferreira do Alentejo, Beja, Moura e Serpa). Relativamente ao **Cardo** o cenário actual mostra uma aptidão moderada em **30740,9 ha**, espalhados essencialmente pelas áreas de Cuba, Ferreira do Alentejo e Aljustrel; reduzida em **38104,8 ha** e nula em **45634,9 ha**. Para a **Cana-do-reino**, e para o cenário actual, a classe de aptidão que atinge maior área é a moderada, com **53177,3 ha**. Relativamente a cultura do **Painço** as perspectivas futuras apontam para apenas **2695,3 ha** com aptidão elevada, situando-se estes, essencialmente, na zona de Aljustrel. Por fim, quanto à **Erva Purgueira**, **47370,2,8 ha**, encontra-se na aptidão elevada, enquanto **32731,2 ha** estão na classe de aptidão nula (incidindo sobre as regiões de Beja e Serpa). Almeida (2009) conclui que o Salgueiro e o Miscanto são as culturas que se poderão realizar com maior sucesso na zona de estudo.

4.4. Biomassa - Valorização de Resíduos

Como já foi anteriormente referido, também se pode obter biomassa sustentável através do aproveitamento de **resíduos agrícolas, resíduos florestais, resíduos industriais e resíduos sólidos urbanos**. Actualmente, os resíduos florestais, agrícolas e urbanos, são as principais matérias-primas para a produção de electricidade e calor a partir da biomassa. Além disso, uma pequena quota de culturas dedicadas são utilizados como matérias-primas para a produção de biocombustíveis líquidos (IEA Bioenergy, 2010). Autores como McKendry (2002) defendem que quando as culturas energéticas são consideradas como uma fonte de biomassa, o potencial total de energia de biomassa para a produção energética pode ser consideravelmente maior do que o potencial energético dos resíduos de biomassa, No entanto, a segunda opção poderá

parecer uma alternativa mais viável devido ao facto de neste caso a matéria-prima ser a custo zero, e ainda apresenta a vantagem de tratar problemas que estes resíduos provocam no meio ambiente se não forem aproveitados. Em condições favoráveis a biomassa através do aproveitamento de resíduos, pode contribuir de maneira significativa para a produção de energia eléctrica.

A recuperação de energia a partir da fracção não reciclável dos **resíduos domésticos** é uma opção válida tanto económica quanto ecologicamente. Os resíduos domésticos têm quase a metade do potencial energético do carvão. Nos últimos anos os **resíduos sólidos urbanos** tornaram-se num desafio na gestão pública de Portugal, tendo em vista os graves impactos ambientais originados pelos aterros sanitários sem controlo sanitário, ou mesmo pelo esgotamento da capacidade dos aterros sanitários regulares. Além dos problemas ambientais, existe também uma rejeição por parte da sociedade à deposição de qualquer resíduo próximo da sua residência. A conversão de resíduos sólidos urbanos em energia é considerada uma opção ambientalmente sustentável de criação de energia eléctrica. Como hoje em dia, já existem processos que garantam um controlo da qualidade do ar a partir da queima dos resíduos, existe uma maior aprovação para a implementação deste processo de conversão de resíduos em energia. A disponibilidade de resíduos orgânicos para o uso de energia depende fortemente de variáveis como o desenvolvimento económico, o padrão de consumo e a fracção de materiais de biomassa na produção total de resíduos. Foi estimado que 75% dos resíduos orgânicos urbanos podem ser aproveitados para o uso energético (Hoogwijk *et al.*, (2003)).

Oliveira e Rosa (2003) defendem que a vantagem da utilização de resíduos sólidos urbanos para a produção de energia também incluem o facto de que os materiais descartados que podem ser re(utilizados) frequentemente absorverem grandes quantidades de recursos minerais ou florestais durante a produção, ou requerem grandes quantidades de electricidade. Ao usar resíduos sólidos para a geração de electricidade prolonga-se a vida útil das reservas de matérias-primas energéticas, reduzindo a procura por esses recursos, uma vez que asseguram uma utilização mais eficiente.

Por exemplo, nos Estados Unidos, para cada tonelada de resíduos processado numa central de conversão de resíduos em energia, é evitada a importação de um barril de petróleo, ou é evitada a extracção de um quarto de tonelada de carvão mineral. As centrais de conversão de

resíduos sólidos urbanos não só diminuem a dependência de combustíveis fósseis, mas também previnem a emissão de centenas de milhões de toneladas de CO₂ por ano para a atmosfera. Queimar uma tonelada de resíduos numa central de conversão de resíduos sólidos urbanos previne o equivalente a uma tonelada de CO₂ que seria emitido para a atmosfera através da queima de combustíveis fósseis e a decomposição dos resíduos num aterro sanitário, para a produção da mesma quantidade de energia. Uma tonelada de resíduo depositado numa caldeira produz cerca de 520 kWh. Ao contrário das outras formas de energia renováveis, como eólica e solar, a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos não depende de condições do tempo, hora do dia, época do ano, uma vez que opera 24 horas por dia, 365 dias por ano, devido ao suprimento contínuo, estável e garantido de combustível.¹

Se estes resíduos sólidos são produzidos e colocados perto de grandes centros urbanos que são grandes consumidores de energia eléctrica, não existem custos de transporte. De forma similar às centrais termoeléctricas a gás natural, as alternativas de centrais de biomassa não necessitam de investimentos significativos em transmissão, pois elas estão sempre localizadas perto dos centros consumidores. A maior desvantagem das centrais eléctricas a partir de biomassa em comparação com as centrais eléctricas de gás natural, por exemplo, é o facto dos investimentos de produção serem mais elevados em comparação com as segundas, contudo poderiam ser mais atraentes devido aos menores riscos para os custos do combustível, fornecimento e consumo (Oliveira e Rosa, 2003).

Em relação aos resíduos agrícolas, estes dependem da produção de alimentos. Para aplicações energéticas, onde se requer a disponibilidade continua de biomassa, é necessário levar em conta que os **resíduos agrícolas** caracterizam-se pela sua disponibilidade sazonal e precisariam, portanto, de armazenamento por longos períodos, o que levaria a alterar as suas características, devido a processos de fermentação. Alguns estudos (Yamamoto *et al.*, (1999), Swisher e Wilson (1993)) assumem que cerca de 25% do total de resíduos agrícolas disponíveis podem ser recuperados. Fontes de biomassa que já estão concentrados num único local, muitas vezes como um subproduto de outro processo, tendem a ser mais baratos uma vez que exigem menos recolha e tratamento e não apresentam custos de produção. Muitos resíduos florestais e

¹ www.saneamento.sp.gov.br/bio.../Abertura_FIESP_17out.pdf

agrícolas não são competitivos com os combustíveis fósseis, pela sua dispersão em grandes áreas em pequenos volumes (IEA Bioenergy, 2005).

Por último referem-se os **resíduos florestais**, que são dos mais valorizados, uma vez que as áreas de florestas que recobrem, actualmente, cerca de 30% da superfície do globo, constituem o mais importante conjunto de biomassa terrestre, devido à sua distribuição geográfica, biodiversidade e belezas cénicas (Loução 2008). Contudo o potencial energético (sustentável) das florestas em todo o mundo é uma incerteza. No caso de Portugal continental, este apresenta cerca de 33000 km² de floresta, o que corresponde a cerca de 38% do território nacional (DGRF, 2006). A floresta portuguesa apresenta contextos consideravelmente diferentes de norte a sul do país. A energia derivada da biomassa florestal, por ser renovável, admite ciclos de rotações que variam de 5 a 200 anos, dependendo da espécie e dos métodos de silviculturas utilizados. Por esta razão, o período de recomposição do material lenhoso pode ser considerado desprezável em comparação com o do carbono (250 a 300 milhões de anos) ou do petróleo (100 a 450 milhões de anos) (Couto *et al.*, 2004).

Os recursos florestais na Europa têm vindo a aumentar nos últimos 50 anos. A taxa de variação anual é de aproximadamente 238,6 milhões de m³ por ano ou 35% do incremento líquido anual. O aumento da taxa de variação anual por várias décadas, permitiu que uma crescente quantidade de madeira se fosse acumulando nas florestas. A taxa de variação anual pode ser considerada como o excedente ou de reserva que poderá ser utilizada como matéria-prima pelas indústrias florestais, ou para fins energéticos. Segundo Faaij e Domac (2006), mesmo no caso das mais altas projecções de procura de madeira, esta procura pode ser (em teoria) satisfeita sem mais desmatamento. A competição para os recursos de madeira também tem vindo a aumentar e, obviamente, o cumprimento das exigências para o uso industrial, produção de energia exige compromissos. O uso da madeira para fins energéticos dependerá directamente dos preços da matéria-prima.

No presente, Portugal tem uma capacidade produtiva instalada próxima das 800 Mil toneladas de biomassa lenhosa por ano (Sousa, 2009). Em Portugal o destino actual de produção é o mercado externo, uma vez que o mercado interno é praticamente inexistente. Em termos absolutos, os maiores consumidores de biomassa lenhosa para fins energéticos são a França, Suécia, Finlândia e Alemanha (Enersilva, 2007).

No estudo concluído por Baptista e Santos (2006), verificou-se que quase 75% da superfície florestal de Portugal continental pertence a proprietários florestais privados e 67% dos proprietários privados possuem áreas florestais inferiores a 5 hectares e apenas 4% tem áreas superiores a 100 hectares. De acordo com Netto (2008) a falta de equipamentos para a criação de sistemas apropriados de recolha de biomassa é um dos problemas mais prementes do sector, bem como a falta de um tratamento fiscal favorável. Ferreira *et al.* (2009) estimaram que a potencial total por ano em Portugal, através da biomassa florestal disponível era de 11.578 GWh/ano.

4.5. Perspectivas Futuras para a Biomassa

Já foi referido que a bioenergia pode ser subdividida em bioenergia para a electricidade, calor e biocombustíveis para o transporte, sendo que os biocombustíveis são os maiores competidores da electricidade a partir da biomassa. A partir disso, parece ser razoável atribuir metade do potencial da bioenergia para os transportes através dos biocombustíveis e metade disso para a electricidade através das centrais de cogeração (NEEDS, 2008). Segundo dados do programa NEEDS, num cenário realista, a contribuição da biomassa para a electricidade terá um peso de 20% do potencial total da bioenergia em 2025, podendo atingir os 40% num cenário mais optimista.

Segundo Netto (2008) é na área de produção de calor para aquecimento através de sistemas limpos, baratos e eficientes que países menos desenvolvidos nesta área, como Portugal, devem apostar. O futuro da energia de biomassa nos sistemas de energia global depende da complexa interacção de quatro factores principais. O **primeiro** são as tecnologias de conversão e as perspectivas para a utilização de novas instalações e variedade da biomassa para os processos de conversão. A **segunda** é a capacidade produtiva intrínseca da terra e ecossistemas de oceanos que podem ser usados para a produção de energia de biomassa. O **terceiro** é o uso alternativo para a terra e recursos hídricos que são candidatos para a produção de energia de biomassa. O **quarto** é as implicações das tecnologias de energia de biomassa para os níveis de ar e poluição da água (Raghu *et al.*, 2006). Para Field *et al.* (2007) estes factores devem ser efectivamente integrados para maximizar os benefícios e minimizar os ecossistemas e custos sociais da produção de energia de biomassa. Em particular, as limitações devido às características do

ecossistema, a concorrência de usos alternativos da terra e os impactos externos podem levar à prática ou níveis desejáveis de produção de energia de biomassa que são muito menores do que os níveis de potencial teóricos. Uma imagem clara destas restrições pode ser um trunfo importante no sentido de incentivar o desenvolvimento racional da indústria de energia da biomassa.

As tecnologias de biomassa podem ser economicamente competitivas mas ainda é necessário ultrapassar algumas barreiras como a aceitação do público, em particular, a queima de resíduos sólidos urbanos. O primeiro obstáculo a uma maior utilização de biomassa é o custo dos sistemas necessários para a produção de matéria-prima dedicada, colheita e transporte, bem como para as tecnologias de conversão de combustível. A disponibilidade de quantidades suficientes de matérias-primas de baixo custo é um dos problemas encontrados. Ainda é necessário mais desenvolvimento no crescimento rápido de novas culturas e bio-refinarias que maximizem o rendimento económico de produtos de biomassa. O desenvolvimento da energia de biomassa, ao contrário de outras fontes de energias renováveis requer uma análise de todo o sistema de produção de biomassa, transporte e geração de energia.

Segundo Sousa (2009) a biomassa florestal tem que enfrentar algumas barreiras nomeadamente o facto de ser um mercado local da biomassa recém estabelecido, o que acarreta incertezas relativamente quanto à duração dos incentivos, garantia do abastecimento e qualidade da biomassa. Também as características da floresta – condicionantes físicas do terreno e estrutura da propriedade, podem trazer elevados custos de extracção, transporte e pré-tratamento da biomassa e levar a uma falta de integração das operações de gestão da biomassa com as restantes operações de gestão florestal.

Faaij e Domac (2006) identificaram algumas potenciais barreiras ao crescimento da biomassa nos mercados energéticos. Estas barreiras podem variar muito em termos de abrangência, relevância dos países exportadores e importadores e como as partes interessadas entendem o comércio. Indicam-se nas tabelas 4,5,6 e 7, algumas dessas barreiras (Faaij e Domac, 2006):

Tabela 4 – Barreiras económicas da biomassa (Faaij e Domac, 2006).

Barreiras económicas
Competição com os combustíveis fósseis no custo de produção;
Mercados podem ser imaturos e instáveis, devido ao tamanho, geralmente pequeno, de mercados de bioenergia e ao facto dos produtos de biomassa constituírem uma mercadoria relativamente nova em muitos países. Isto torna difícil, para assinar contratos a longo prazo de grande dimensão, pois é visto como sendo um risco elevado.

Tabela 5 – Barreiras técnicas da biomassa (Faaij e Domac, 2006).

Barreiras técnicas
Propriedades físicas e químicas de muitos tipos de biomassa tais como a baixa densidade, cinzas e alto teor de humidade e nitrogénio, enxofre ou teor de cloro, tornando-se difícil e caro para o transporte e, muitas vezes inadequado para uso directo.

Tabela 6 – Barreiras logísticas da biomassa (Faaij e Domac, 2006).

Barreiras logísticas
Condições de transporte de navio por longas distâncias internacionais é viável em termos de consumo de energia e custos de transporte, mas a disponibilidade de recipientes adequados e as condições meteorológicas precisam de ser considerados.
O transporte local por camião pode ser um factor de alto custo, que pode influenciar o equilíbrio energético global e os custos totais de biomassa.

Tabela 7 – Barreiras internacionais da biomassa (Faaij e Domac, 2006).

Barreiras internacionais
Regulamentos específicos de importação de biomassa podem trazer um grande obstáculo à negociação.
Tarifas de transportes.
Eventual contaminação da biomassa importada com pragas (por exemplo, insectos, fungos) pode ser outro factor limite no comércio internacional.

4.1. Conclusões

A promoção da biomassa como uma energia renovável é cada vez mais um alvo importante para as políticas Europeias, e a sua produção através de culturas energéticas parece ser uma oportunidade para a redução da dependência de energia externa. No entanto, a sustentabilidade das culturas energéticas tem sido posta em causa em termos energéticos, económicos, do aprovisionamento alimentar e ambientais (desflorestação, erosão do solo e redução da biodiversidade). Neste capítulo foi evidenciado o potencial da biomassa do ponto de vista das alterações climáticas e do ponto de vista social, no entanto apesar da bioenergia poder resultar em vários benefícios externos também implica riscos.

Uma análise estratégica da bioenergia é apresentada no capítulo seguinte, baseada numa análise cuidadosa dos pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que a caracterizam.

Análise Estratégica

5. Análise Estratégica

5.1. Introdução

A bioenergia pode resultar em vários benefícios externos, mas também implica riscos. Uma estratégia de implantação de bioenergia deve ser baseada numa análise cuidadosa dos pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que a caracterizam.

Originalmente a análise *SWOT* (Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*)) é uma ferramenta de planeamento estratégico utilizado para avaliar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças envolvidos num empreendimento (Rutz e Janssen, 2007). A principal vantagem da análise *SWOT* está precisamente na sequência de passos de análise que permite avaliar: o ambiente externo (oportunidades e ameaças existentes) e o ambiente interno (forças e fraquezas), como descrito na figura 8. De acordo com Terrados *et al.*, (2007) este tipo de ferramenta analítica é frequentemente usada nas abordagens de planeamento participativo, embora tenha sido originalmente desenvolvida para o planeamento estratégico de negócios e de marketing. Deve ser tido em conta que a matriz *SWOT* é apenas uma ferramenta e deve ser baseada num conhecimento profundo da situação actual e das tendências.

Terrados *et al.* (2007) propõem que a concepção de uma matriz *SWOT* aplicada ao sistema energético de uma região é adequada para servir de base para diagnosticar problemas e traçar linhas de acção futuras. Isto permite apoiar o processo de proposta e a definição de estratégias para o sector da energia, incentivando o debate e o confronto de critérios e, finalmente, favorecendo o diagnóstico e elaboração de coerência interdisciplinar.

	Positivos	Negativos
Internos	Forças	Fraquezas
Externos	Oportunidades	Ameaças

Figura 8 – Esquematização de uma análise SWOT

A análise *SWOT* já foi utilizada em vários estudos relacionados com as tecnologias energéticas, destacando-se a análise efectuada por Varela *et al.* (1999) que teve como finalidade analisar as vantagens inerentes e as oportunidades que a integração de uma central energética a partir da biomassa no sudoeste de Espanha pode ter em termos económicos, técnicos ou ambientais. Foram calculados os balanços energéticos e de CO₂ para todo o ciclo do combustível para analisar a eficiência energética do processo. Os balanços energéticos foram avaliados considerando quatro grupos de actividades principais: produção de biocombustíveis; transporte e armazenamento de biocombustíveis, tratamento e conversão de biocombustíveis; transporte de resíduos, eliminação ou reciclagem. Um ciclo de combustível fóssil foi escolhido como sistema de referência. O resultado da análise energética mostra claramente que o ciclo do combustível de biomassa para energia eléctrica é muito favorável, em que a quantidade de CO₂ libertada estimada a partir das emissões da central eléctrica anda a volta de 287,120 toneladas/ano.

Outro estudo pertinente foi realizado por Rutz e Janssen (2007) onde se utiliza a análise *SWOT* para demonstrar que os biocombustíveis são adequados para substituir os combustíveis fósseis, uma vez que os biocombustíveis apresentam mais forças e oportunidades do que os anteriores. São destacadas como as maiores forças dos combustíveis fósseis o facto de existir **uma longa experiência com a produção e utilização** destes e por serem **caracterizados pelo alto conteúdo energético por unidade de volume** em comparação com os biocombustíveis. Mas nos dias de hoje apresentam determinadas fraquezas que ostentam um peso negativo, como a potencial contribuição para o aquecimento global e os elevados custos praticados. É salientado que os combustíveis fósseis vão continuar a ter a oportunidade de persistir no mercado, enquanto o preço for consideravelmente superior ao preço de biocombustíveis.

Este capítulo consiste numa análise *SWOT* da biomassa aplicada ao caso Português. Nesta secção serão avaliados as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que caracterizam este tipo de fonte energética na geração de energia nacional, do ponto de vista dos investidores de biomassa. É no entanto relevante avaliar também a biomassa numa aplicação social, analisando impactos regionais e nacionais, dessa forma as externalidades sociais também foram incluídas nesta avaliação.

5.2. Análise SWOT da Biomassa aplicada ao caso Português

Nesta fase revela-se importante mostrar as razões que podem levar uma empresa portuguesa a investir na área das energias renováveis - biomassa neste país. No presente documento, é realizada uma análise SWOT à biomassa em geral, aplicada ao caso particular de Portugal. Os **potenciais clientes** desta tecnologia são todas as empresas de comercialização e distribuição de energia eléctrica, de produção e distribuição de biocombustíveis, tanto as empresas nacionais, como estrangeiras. O mercado alvo é bastante abrangente, uma vez, que é uma tecnologia renovável que apresenta boas expectativas de crescimento. Os **produtos concorrentes** são as restantes energias renováveis (principalmente a eólica e hídrica) e os combustíveis fósseis. O **potencial da biomassa** em Portugal é elevado, uma vez que possui uma grande área florestal e terrenos agrícolas, bem como uma elevada quantidade de resíduos sólidos urbanos. A **procura pelas alternativas energéticas**, como a biomassa é elevada uma vez que o governo português tem vindo a incentivar nos últimos anos a substituição dos combustíveis fósseis por novas energias. Quanto ao consumo de electricidade, estatísticas apontam para um aumento substancial das necessidades energéticas do país. A elevada dependência externa de Portugal bem como a vulnerabilidade energética do país, traduzem também a urgência na procura de novas alternativas energéticas. Estas condições mais o compromisso feito pelo governo português em diminuir as emissões de efeitos de estufa, fazem com que estejam reunidas as circunstâncias necessárias para o desenvolvimento na área das energias renováveis.

Forças
Desenvolvimento das áreas rurais (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Redução do êxodo rural (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Criação de empregos directos e indirectos (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Fortalecimento da indústria local (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Segurança no abastecimento energético (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Diminuição da dependência energética (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Diversidade do abastecimento energético (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Aposta na inovação (Couto <i>et al.</i> , 2004)

Aumento no uso de energia sustentável (Field <i>et al.</i> , 2007)
Prevenção dos incêndios florestais (no caso do aproveitamento dos resíduos florestais) (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Reutilização dos resíduos da queima, nomeadamente cinza da madeira, nas florestas (Loução, 2008)
Aumento da absorção de CO ₂ (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Diminuição das emissões dos gases de efeito de estufa (Ferreira <i>et al.</i> , 2009)
Aplicação da biomassa para vários fins energéticos, como a geração de electricidade, produção de biocombustíveis, aquecimento, etc (Gielen <i>et al.</i> , 2003)
Redução significativa (em comparação com o carvão) das emissões de poluentes, através da queima da biomassa em sistemas eficientes de combustão (Loução, 2008)
Melhoria da gestão das terras, uma vez que a biomassa para bioenergia é geralmente menos exigente no que diz respeito às características do solo de culturas agrícolas convencionais (no caso das culturas energéticas) (Ericsson e Nilsson, 2006)
Criação de um canal de distribuição adicional para os produtos agrícolas e aumento do rendimento para os agricultores (no caso das culturas energéticas) (Rutz e Janssen, 2007)
Aproveitamento de terras abandonadas ou degradadas (no caso das culturas energéticas) (Berndes G. e Hansson J., 2007)
Disponibilidade de grandes experiências na produção de bioetanol através do açúcar (Rutz e Janssen, 2007)
Semelhança dos requisitos laboratoriais aos das culturas tradicionais (Varela <i>et al.</i> , 1999)
Possibilidade de utilizar as tecnologias existentes para o cultivo de culturas energéticas (Varela <i>et al.</i> , 1999)
Política favorável e ambiental na Europa para a promoção dos biocombustíveis através das culturas energéticas (Rutz e Janssen, 2007)
Menor erosão do solo aquando da substituição dos campos energéticos pelos campos agrícolas (Campbell <i>et al.</i> , 2008)
Possibilidade da produtividade das culturas energéticas ser bastante elevada (Carapellucci <i>et al.</i> , 2002)
Flexibilidade das tecnologias de conversão energética que permite adaptação às mudanças das

misturas de combustíveis (Varela <i>et al.</i> , 1999)
Diversidade da biomassa e inter-relações com muitas áreas tecnológicas e políticas (Ericsson e Nilsson, 2006)
Redução do risco de pragas e doenças ambientais (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Baixa toxicidade dos biocombustíveis (Rutz e Janssen, 2007)
Capacidade de evitar problemas de descargas descontroladas de resíduos e subprodutos (no caso da valorização de resíduos) (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Disponibilidade da biomassa sem se mostrar dependente das condições atmosféricas, podendo ser armazenada de acordo com a procura (Thornley, 2006)

Fraquezas

Possibilidade de emissões de CO ₂ em toda a cadeia energética e de outras emissões para o ar, água e solo em toda a cadeia energética (desde a produção ao consumo) (Hill <i>et al.</i> , 2006)
Possibilidade de afectar a biodiversidade (no caso das culturas energéticas) (Solino <i>et al.</i> , 2009)
Possibilidade de utilizar terras que seriam necessárias para a produção alimentar (no caso das culturas energéticas) (Faaij e Domac, 2006)
Disponibilidade de terras (no caso das culturas energéticas) (Berndes <i>et al.</i> , 2003)
Dependência por parte da produção de biomassa das características agronómicas incluindo as terras disponíveis e condições de crescimento (no caso das culturas energéticas) (Ericsson e Nilsson, 2006)
Dependência por parte da produção de biomassa da decisão dos agricultores de utilizarem os campos para a produção de bioenergia (no caso das culturas energéticas) (Studiorum, 2006)
Possibilidade de afectar a qualidade do solo, do ar e da água (no caso das culturas energéticas) (Field <i>et al.</i> , 2007)
Necessidade de utilizar agentes de protecção das culturas, fertilizantes, pesticidas, água e energia na fase de produção (no caso das culturas energéticas) (Wit e Faaij, 2009)
Possibilidade de diminuir a segurança alimentar (no caso das culturas energéticas) (Field <i>et al.</i> , 2007)
Potencial de ameaçar áreas de conservação (no caso de culturas energéticas) (Field <i>et al.</i> , 2007)
Dependência das condições externas do clima e dos ataques de pragas (no caso das culturas

energéticas), aquando da produção de matéria-prima (Ericsson e Nilsson, 2006)
Falta de conhecimento sobre as culturas energéticas (Owen, 2006)
Preços não competitivos com as culturas tradicionais (no caso das culturas energéticas) (Berndes e Hansson, 2007)
Área de armazenamento requerida pela biomassa maior do que para outros combustíveis (Varela <i>et al.</i> , 1999)
Elevada distribuição espacial da biomassa florestal requer que seja montado todo um esquema logístico complexo e bastante oneroso, quando comparado com algumas das alternativas, nas quais o recurso se encontra concentrado num só local (Netto, 2008)
Transporte de biomassa florestal é particularmente desvantajoso quando comparado com o transporte de um combustível líquido (Loução, 2008)

Oportunidades

O facto de a biomassa ser uma fonte bastante heterogénea pode ser interessante para diversos mercados específicos (Fernandes <i>et al.</i> , 2007)
Aproveitamento das terras degradadas (Berndes e Hansson, 2007)
Uma rápida introdução dos biocombustíveis facilita uma mudança pacífica da era dos combustíveis fósseis para a era dos futuros combustíveis (Khesghi <i>et al.</i> , 2000)
O interesse crescente da utilização da biomassa como uma energia renovável origina várias iniciativas de investigação (Antti <i>et al.</i> , 2008)
Novas culturas energéticas mais eficientes serão encontradas para a produção de biocombustíveis (Lourenço e Januário, nd)
Novas tecnologias de conversão mais eficientes serão encontradas e as tecnologias existentes serão melhoradas (Lourenço e Januário, nd)
Metas estabelecidas pela Comissão Europeia para aumentar a quota de mercado dos biocombustíveis (Avillez <i>et al.</i> , 2009)
Existência de grandes quantidades de resíduos florestais (Loução, 2008)
Existência de grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos (Oliveira e Rosa, 2003)
Contribuição para a futura sustentabilidade dos sistemas de energia e para o desenvolvimento sustentável do país através da biomassa (Rebecca <i>et al.</i> , 2007)

Oportunidade de crescimento económico de uma região ou país (Domac <i>et al.</i> , 2005)
Promoção dos biocombustíveis através da directiva da UE e várias estratégias de combustíveis nacionais (Gielen <i>et al.</i> , 2003)
Objectivos estratégicos nacionais para a área de energia, que visam a redução da dependência energética externa e que passam em grande parte pela redução das importações de petróleo (Ferreira <i>et al.</i> , 2009)

Ameaças
O mercado de biocombustíveis é relativamente novo (Lourenço e Januário, nd)
Elevados custos de investimento (Fernandes e Costa, 2010)
Custo das matérias-primas (Boukris <i>et al.</i> , 2008)
O menor valor das tarifas <i>feed-in</i> aplicadas em Portugal em comparação com outros países (Avillez <i>et al.</i> , 2009)
Concorrência com os combustíveis fósseis (Berndes e Hansson, 2007)
Concorrência com as outras energias renováveis (Berndes e Hansson, 2007)
Infra-estruturas limitadas (Faaij e Domac, 2006)
Disponibilidade apenas de uma percentagem de terra para a produção de culturas energéticas (Berndes <i>et al.</i> , 2003)
Falta de conhecimento sobre as culturas energéticas (Lourenço e Januário, nd)
Concorrência da produção de matéria-prima para os biocombustíveis com a produção alimentar (Field <i>et al.</i> , 2007)
Instabilidade do mercado energético (Faaij e Domac, 2006)

Verifica-se que a maior parte das fraquezas encontradas para a biomassa referem-se às culturas energéticas dedicadas, uma vez que no caso da valorização de resíduos industriais e florestais, não se aplicam os problemas ambientais relacionados com as culturas energéticas, tais como: a perda de biodiversidade ou a contaminação do solo, água e ar, etc. No caso da valorização de resíduos as fraquezas podem converter-se em forças já que na valorização de

resíduos seria possível evitar ainda mais a contaminação do solo, água e ar, diminuição do risco de incêndios, reciclagem, etc...

Um dos aspectos fortes da biomassa é o **desenvolvimento das áreas rurais, a redução do êxodo rural e o fortalecimento da indústria local**. Desde os finais dos anos 50 que começaram a existir as migrações em Portugal, quer para os centros urbanos nacionais, quer para o estrangeiro. Isto acarreta um problema de desenvolvimento e de equilíbrio territorial. O êxodo rural provoca, na maioria das vezes, problemas sociais. Com a diminuição da população local, diminui a arrecadação de impostos, a produção agrícola decresce e muitos concelhos acabam por entrar em crise, provocando depois um crescimento desordenado das cidades.

Os principais motivos que fazem com que grandes quantidades de habitantes saiam da zona rural para as grandes cidades, tais como a procura de emprego e a mecanização da produção rural podem ser superados pela introdução de projectos de biomassa, favorecendo assim o desenvolvimento das áreas rurais em Portugal. Como o reforço da economia regional nas zonas rurais é um tema importante no País, é essencial sobretudo que as primeiras fases do processo de transformação da matéria-prima ocorram, na medida do possível, nessas regiões.

Neste contexto, a descentralização das tecnologias desempenha um papel central no desenvolvimento e reforço das regiões, uma vez que permite, desenvolver a indústria de transformação regional, garantindo assim a criação de maior valor acrescentado para a região. Estes circuitos económicos regionais permitem não só manter postos de trabalho no sector agrícola, como também criar emprego adicional nas áreas relacionadas com esta actividade. Principalmente com a utilização das culturas energéticas pode-se contribuir substancialmente para a criação de postos de trabalho, aumentando o rendimento dos agricultores e contribuindo para o auto-abastecimento energético a nível das comunidades rurais em Portugal. As metas bioenergéticas apresentam uma grande oportunidade para os países com recursos naturais e agrícolas abundantes como é o caso de Portugal.

A biomassa também contribui para a **segurança no abastecimento energético, a diminuição da dependência energética, a diversidade do abastecimento energético, e o aumento do uso de energia sustentável**. Como já foi referido a questão da segurança no abastecimento energético em Portugal é uma das questões mais pertinentes da actualidade. De

forma a reduzir a dependência energética e assegurar a segurança do abastecimento nacional, interessa aumentar o peso relativo da energia primária produzida em Portugal. Este aumento pode ser feito à custa do aumento da capacidade instalada em energias renováveis, sendo particularmente relevante a produção de electricidade a partir da biomassa. A utilização ampla do potencial de biomassa para a geração de energia é uma das bases para a adopção de um modelo energético sustentável para o país, priorizando a diversificação das fontes, a desconcentração e descentralização da geração de energia, a preservação ambiental e o atendimento às camadas mais necessitadas da população.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de **criação de empregos**. O desemprego é cada vez mais um problema relevante com impactos sociais bem como económicos e financeiros, que acarreta elevados prejuízos ao País contribuindo para o seu atraso e para o agravamento do défice orçamental. Segundo dado da *Eurostat*, o desemprego oficial observado em Fevereiro de 2010 já tinha alcançado os 575.4 mil. Tal como sucede com o crescimento económico desigual das diferentes regiões do País, também a nível de desemprego as taxas variam muito de região para região, revelando a existência de estruturas produtivas diferentes e, nomeadamente, de algumas regiões estarem a ser mais atingidas pelas consequências da grave crise económica que enfrenta o País. Neste sentido, as centrais energéticas a biomassa são consideradas uma mais-valia para a redução do desemprego em Portugal, contribuindo para a criação de emprego em áreas rurais principalmente. Com a produção intensiva e extensiva de biomassa criando milhares de empregos, sobretudo na zona rural, Portugal tornar-se-ia um país com um sistema energético afortunado do ponto de vista ecológico, social e nacional.

É importante também mencionar a importância da biomassa na **prevenção dos incêndios florestais**. O sul da Europa apresenta-se como uma das regiões florestais com maior produtividade e incidência de propriedade privada na Europa. Em contraste, é das regiões com maior número de incêndios florestais e área ardida. As características climáticas mediterrâneas são elas próprias um incentivo à ocorrência de fogos florestais, com verões quentes e secos. Contudo, em Portugal, esse fenómeno “natural” têm-se tornado numa catástrofe, devido ao abandono rural, a acumulação de combustível, a negligência ou ao fogo posto. O elevado risco de incêndio afasta ainda mais os proprietários da actividade florestal e conduz ao subaproveitamento dos recursos florestais. Segundo a Autoridade Nacional de Protecção Civil

(ANPC) só em Agosto de 2010 registaram-se mais de 2000 incêndios florestais significativos em Portugal Continental. As centrais de biomassa poderiam ser uma opção justificável para a prevenção de incêndios florestais, uma vez que aproveitam os resíduos florestais existentes, minimizando o risco de incêndio florestal, contribuindo também para atingir a meta para a biomassa florestal de 250 MW instalados em 2010 (Netto, 2008).

Do ponto de vista do **abrandamento das alterações climáticas**, o recurso da utilização da biomassa não contribui para o aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera Thornley (2006), sendo uma boa opção para combater um dos graves problemas da actualidade, o aquecimento global, diminuindo as emissões dos gases de efeito de estufa e permitindo assim que Portugal atinja as metas impostas pelo tratado de Quioto.

Outro ponto forte a destacar pela biomassa é o facto de constituir uma fonte renovável de produção energética para a geração de electricidade, calor ou combustível e também evitar **problemas de descargas descontroladas de resíduos e subprodutos** (no caso da valorização de resíduos). Como já foi exposto, nos últimos anos os resíduos sólidos urbanos tornaram-se num desafio na gestão pública de Portugal, tendo em vista os graves impactos ambientais originados pelos aterros sanitários sem controlo sanitário, ou mesmo pelo esgotamento da capacidade dos aterros sanitários regulares. A conversão de resíduos sólidos urbanos em energia é considerada uma opção ambientalmente sustentável de criação de energia eléctrica (Oliveira e Rosa, 2003).

A biomassa encontra um vasto conjunto de oportunidades em Portugal, entre as quais se destaca o aproveitamento das terras degradadas. Os solos portugueses estão em deterioração, com uma boa percentagem da terra cultivada a ficar degradada de alguma forma (Garcia, R., 2010). Dessa forma, os projectos de biomassa podem encontrar aqui uma boa possibilidade para colmatar este problema. A existência de grandes quantidades de resíduos florestais e a existência de grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos no país também favorece a produção de energia através da biomassa.

Dentro das energias renováveis, a biomassa é uma das poucas fontes energéticas cuja disponibilidade não depende das condições atmosféricas e pode ser armazenada de acordo com a procura. Isto representa uma vantagem importante permitindo que a geração de electricidade a partir da biomassa seja altamente previsível.

Por outro lado, a produção energética utilizando a biomassa ainda acarreta algumas fraquezas e ameaças a nível nacional. No caso das culturas energéticas, existe a possibilidade de utilizar terras que seriam necessárias para a produção alimentar, e é necessário ter em consideração que no caso particular de Portugal, as culturas alimentares apresentam um défice significativo. Existe ainda uma falta de conhecimento sobre as culturas energéticas no país que pode atrasar a implementação destas culturas bem como pôr em causa a decisão dos agricultores de utilizarem os campos para a produção de bioenergia.

As ameaças mais relevantes neste caso são os elevados custos de investimento que os projectos de biomassa apresentam e o custo das matérias-primas, fazendo assim com que apareça a concorrência de outras fontes de energias renováveis, como a eólica e a solar, em que as matérias-primas estão disponíveis a custo zero. As tarifas aplicadas em Portugal talvez sejam um dos maiores problemas para a introdução destes projectos. A maior parte dos incentivos à produção de energia a partir da biomassa estão restritos ao sector da electricidade. Um desses incentivos traduz-se nas **tarifas de aquisição**, que consiste na introdução de um preço fixo por unidade de energia que é pago ao produtor que usa uma fonte de energia renovável e válido para um período de vários anos (tarifas definidas de acordo com o Decreto-Lei 225/2007). Todos os fornecedores de electricidade suportam, através dos seus consumidores, os custos adicionais do regime através de um pagamento à empresa distribuidora e proporcional ao seu volume de venda. Este sistema é o mais usual na UE, nomeadamente em Portugal, Espanha e França.

Contudo em Portugal a tarifa fixada para a energia eléctrica produzida a partir de biomassa florestal apresenta um problema, já que se tem assistido nos últimos tempos à **exportação de milhares de toneladas de biomassa para outros países europeus** que pagam melhor, como a Itália. Os preços de matéria-prima à entrada das centrais de biomassa (florestal) andam à volta de 25 a 30 euros por tonelada². Como em Itália se paga 40 euros por tonelada, alguns optam por exportar a biomassa. Como consequência tem-se verificado a partir dos portos de Leixões, Aveiro, Figueira da Foz, Sines e Portimão, desde o final de 2006, a exportação de biomassa para países como Itália, Inglaterra ou Bélgica, onde a sua remuneração, como já vimos, é mais elevada. A receita obtida chega a ser superior em 40 % à que é obtida no mercado interno

² <http://novaenergia.net/forum/viewtopic.php?f=44&t=4738&start=0>

consumidor de energia. Esta situação pode levar ao fracasso do plano para as centrais de biomassa florestal, que precisam de 1.5 milhões de toneladas por ano de biomassa residual. Para agravar a situação, o Governo espanhol decidiu actualizar em alta a remuneração da electricidade produzida a partir da biomassa. Se anteriormente tinha uma das piores remunerações (cerca de 80 euros por MWh), agora beneficia de uma das melhores da Europa, com valores mínimos de 118 euros por MWh, podendo chegar aos 159 euros por MWh para espécies agrícolas ou silvícolas dedicadas. Com esta revisão, a Espanha agravou a tendência da saída de biomassa de Portugal para o exterior, nomeadamente para a própria Espanha, que está agora em condições de pagar substancialmente mais pela biomassa³. Simultaneamente, a tarifa paga em Portugal por megawatt/hora (MWh) para energia a partir de **biomassa florestal**, segundo o Decreto-lei nº 225/2007 ronda os **109 €/MWh** (até 5 MW) e os **107 €/MWh** (+ de 5 MW), para a energia a partir da **biomassa animal** ronda os **104 €/MWh** (até 5 MW) e os **102 €/MWh** (+ de 5 MW) enquanto noutros países, como a Alemanha (120 €/MWh), França (125 €/MWh), Espanha (158 €/MWh), Áustria (160 €/MWh) atingem valores muito superiores⁴.

5.3. Conclusões

Este capítulo analisa estrategicamente a bioenergia através dos seus pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que a caracterizam.

Através da análise *SWOT* da biomassa aplicada ao caso específico de Portugal, é possível conferir que a contribuição da biomassa para o desenvolvimento económico e social de Portugal é bastante positiva. As externalidades positivas mais relevantes encontradas para a biomassa dizem respeito à criação de emprego, que concebe um impacto favorável na indústria como um todo. O desenvolvimento rural também foi apontado como um dos aspectos fortes deste tipo de energia. As externalidades económicas positivas a evidenciar dizem respeito à diversidade de fontes energéticas bem como à garantia do fornecimento de energia sem danificar o meio

³ <http://energiasrenovaveis.wordpress.com/2007/11/20/biomassa-dge-acredita-na-aposta-mas-admite-problemas-na-recolha/>

⁴ <http://www.energy.eu/#feedin>

ambiente. As externalidades ambientais como a limpeza das florestas, a diminuição do risco de incêndio, a diminuição de problemas ambientais relacionados com a deterioração do solo, a conservação da floresta, a diminuição da propagação de pestes foram indicadas como aspectos importantes que a biomassa apresenta. A análise estratégica demonstrou que sendo este um sector inovador, um investimento poderia trazer vantagens consideráveis para os investidores e ao mesmo tempo poderia ter uma contribuição económica e social relevante.

Como complemento à análise estratégica, uma análise social irá ser elaborada no próximo capítulo de forma a proporcionar um melhor entendimento das implicações deste tipo de geração de energia pela sociedade.

Análise Social

6. Análise Social

6.1. Introdução

Os estudos socioeconómicos são comumente usados para avaliar o nível das implicações locais, regionais e/ou nacionais. Normalmente, essas implicações são medidas em termos de índices de economia, como o emprego e os ganhos financeiros, mas na verdade a análise refere-se a uma série de aspectos, que incluem também questões sociais, culturais e ambientais (Faaij e Domac, 2006). Na realidade, os impactos socioeconómicos locais são diversos e diferem de acordo com factores como a natureza da tecnologia, estruturas económicas locais, os perfis sociais e os processos de produção.

Na perspectiva de Domac *et al.* (2005) a essência da sustentabilidade dos projectos de bioenergia a partir de um aspecto social é a forma como eles são percebidos pela sociedade, e como as diferentes sociedades beneficiam dessa actividade. Para Kobosa *et al.* (2006) sem o apoio institucional, as tecnologias emergentes energéticas estão limitadas pelos seus custos financeiros. Na mesma linha de pensamento Pietrapertosa *et al.* (2009) consideram que uma questão fundamental para o desenvolvimento sustentável é a harmonização entre a protecção ambiental e o crescimento económico de modo a assegurar para a geração futura uma melhoria da qualidade ambiental e do cumprimento da procura de bens e serviços. Além disso, a integração das questões ambientais nas estratégias de gestão é de extrema importância para conduzir os produtores e os consumidores a escolher as tecnologias e produtos com um impacto ambiental reduzido.

Ao longo deste capítulo pretende-se demonstrar a importância da internalização dos impactos sociais e ambientais nas actividades de produção eléctrica, uma vez que a inclusão dos custos externos na avaliação pode alterar significativamente os resultados. Um estudo das externalidades juntamente com a sua medição e quantificação irá ser indicado na secção seguinte.

6.2. Custos Sociais - Estudo de Externalidades

A fim de orientar os investimentos futuros, é necessário compreender o impacto ambiental nos cenários de crescimento da energia projectada, com foco na prática da geração de energia sustentável. Cada vez mais existe um reconhecimento da importância dos impactos sociais e ambientais das actividades de produção de electricidade (Ferreira, 2007). Os custos sociais da produção de energia eléctrica podem ser classificados em custos **privados e externos/benefícios**.

Os custos privados abrangem o capital inicial de investimento para a obtenção de energia eléctrica, que passa através de diferentes fases, tais como a compra da fonte de energia primária (derivados do carvão, gás, biomassa...), transportes, construção de infra-estruturas, etc. Todos esses são custos que têm um preço de mercado.

O denominado de efeitos externos (custos ou benefícios), são compostos pelos **efeitos ambientais e não-ambientais** que não estão associados a um preço de mercado. Os efeitos ambientais incluem as alterações climáticas, danos provocados pela poluição sobre o meio ambiente, etc. Os custos não-ambientais, incluem os benefícios socioeconómicos na natureza, tais como preços e garantia de fornecimento, auto-suficiência energética, emprego, desenvolvimento rural, etc. (Solino *et al.*, 2009) (Roth e Ambs 2004). Em ambos os casos, são custos que não têm preço de mercado (também conhecidos como externalidades).

É de conhecimento geral que as actividades humanas causam danos e impõem riscos nos seres humanos, ecossistemas e materiais. Por exemplo, uma central eléctrica quando produz electricidade pode emitir poluentes que são transportados para a atmosfera e quando inalados podem criar um risco na saúde ou após a deposição afectar os ecossistemas. Sendo assim as externalidades (ou “custos externos” ou “custos ambientais”) são custos ou benefícios não incluídos no preço de um certo bem ou mercadoria mas que acabam por ser pagos, de forma indirecta, pela sociedade (degradação ambiental, de saúde, necessidade de mais impostos, etc.).

Quando os efeitos provocados pelas actividades são positivos, estas são designadas por **externalidades positivas**. Quando os efeitos são negativos, designam-se por **externalidades negativas**.

Para Sâez *et al.* (1998) o facto dos custos ou benefícios externos não serem incluídos no preço, traduz-se numa falha de mercado. Também Abreu (2006) considera que o facto de se incluírem, ou não, os custos externos na avaliação de custos altera significativamente os resultados. Na mesma linha de pensamento estão Faaij e Domac (2006) ao defenderem que para proporcionar uma comparação justa dos preços dos combustíveis, todas as chamadas "externalidades" devem ser internalizados nos cálculos, sejam eles benefícios ou custos. Estas abordagens de avaliação económica de impactos, podem passar pela aplicação de métodos de estimativa dos custos de danos ou dos custos de prevenção dos impactos de modo a controlar ou evitar os danos (Powell *et al.*, 1995).

O facto de muitos agentes económicos considerarem os custos ambientais como algo intangível, pode originar consequentes encargos para a sociedade (Warren e Weitz, 1994). Esta situação pode resultar do nível de desconhecimento face a muitos processos naturais e/ou da ausência de tecnologia que permita avaliá-los, o que impede que se façam estimativas mais eficazes dos custos ambientais. Para Rafaj e Kypreos (nd) a internalização dos custos externos no sector de geração de energia é considerada como um potencial instrumento de política eficaz em matéria energética para reduzir os seus impactos negativos e avançar para uma fonte de energia mais sustentável. Esta abordagem pode servir como um indicador para a avaliação comparativa das políticas económicas e do desempenho ambiental de tecnologias de energia opcional.

As **externalidades ambientais da produção/consumo de energia** (quer seja baseada em combustíveis fósseis, energia nuclear ou tecnologias renováveis) podem ser divididas em **duas grandes categorias de custos** que distingue as emissões de poluentes, com impactos locais e/ou regionais daquelas com impactos globais (Owen, 2006):

- Custos dos danos causados à saúde e ao meio ambiente pelas emissões de outros poluentes do que os associados às alterações climáticas;
- Custos decorrentes do impacto das alterações climáticas imputáveis às emissões de gases de efeito estufa.

A distinção é importante, uma vez que a escala de danos decorrentes do primeiro é altamente dependente da localização geográfica da origem e dos pontos receptores. A origem

geográfica no segundo caso é irrelevante para os danos decorrentes das emissões de gases com efeito de estufa, que são normalmente tratados à escala global.

6.2.1. Internalização das Externalidades

Quando as decisões de investimento são feitas, por exemplo, sobre qual a tecnologia a usar na central eléctrica ou o local da central eléctrica é evidente que seria do interesse para a sociedade contabilizar os efeitos ambientais e da saúde e incluir os efeitos externos no processo de decisão, isto é, internalizar os custos externos. Antes de internalizar os custos externos, estes têm de ser estimados e quantificados. **É necessária a quantificação monetária dos danos sócio-ambientais causados pela produção e consumo energético.** Todos os custos do ciclo de vida têm de ser contabilizados, não só apenas aqueles que ocorrem durante a operação, mas também durante a construção, fornecimento de materiais, etc. Para apoiar o processo de decisão, os custos sociais das alternativas de investimento, ou seja, a soma dos custos internos e os custos externos, podem então ser comparados.

Na opinião de Domac *et al.* (2005) as **implicações sociais** decorrentes dos investimentos locais de bioenergia podem ser divididas também em **duas categorias**: aqueles relacionados com um aumento da qualidade de vida e aqueles que contribuem para o aumento da coesão social e estabilidade. Em termos económicos, o "padrão de vida" refere-se a um nível de consumo doméstico, ou ao seu nível de proveitos monetários. No entanto, outros factores contribuem para um padrão de vida da pessoa, mas que não têm um valor económico imediato. Estes incluem factores como a educação, oportunidades de emprego, o meio ambiente e saúde, e, portanto, devem ser objecto de igual consideração.

Após os custos externos serem internalizados, os prós e contras das opções energéticas podem ser analisadas com a mesma base (Sâez *et al.*, 1998). Uma forma de considerar estes custos externos poderá passar por eco-taxas, que penalizariam as tecnologias e combustíveis mais prejudiciais, ou por subsídios para as tecnologias mais limpas que evitam custos sócio-ambientais (Abreu, C., 2006). Assim sendo, a internalização dos custos externos para a custo de

produção de energia é considerada por muitos autores, tais como Rafaj *et al.* (2007), um instrumento eficaz para a redução dos impactos negativos da oferta e da utilização de energia.

As externalidades ambientais da geração de electricidade variam consideravelmente, dependendo do tipo de energia e da tecnologia utilizada. Tem sido demonstrado que as estimativas dos custos dos danos resultantes da queima de combustíveis fósseis, se internalizados no preço da produção resultante de electricidade, poderia claramente conduzir a um número de tecnologias renováveis economicamente competitivas com as centrais de combustíveis fósseis (Domac *et al.*, 2005). As tecnologias de energia renovável caracterizam-se pelo elevado custo inicial de capital por MW de capacidade instalada, mas também pelos baixos custos de funcionamento. Esta característica pode tornar as tecnologias renováveis financeiramente atraentes em comparação com os tradicionais combustíveis fósseis (Owen, 2006).

Mirasgedis *et al.* (2000) investigaram o efeito da internalização das externalidades na tomada de decisões e especificações de energia. Estes autores demonstraram que para as centrais eléctricas de biomassa, os principais impactos são praticamente os mesmos daqueles identificados para as centrais convencionais de petróleo. Sendo que neste ultimo caso a mortalidade, associada aos efeitos da poluição do ar e aos efeitos do aquecimento global é considerada como das componentes mais importantes das externalidades atribuídas às centrais convencionais. Enquanto para as centrais de biomassa, os custos externos associados ao aquecimento global são considerados nulos.

Uma comparação das externalidades estimadas para as centrais convencionais e de biomassa revelam que as centrais convencionais apresentam custos externos significativamente mais elevados comparados com os custos das centrais de biomassa. Mirasgedis *et al.*, (2000) expuseram dois cenários, o primeiro utiliza os custos sociais mais baixos para os efeitos do aquecimento global e de mortalidade, enquanto o segundo utiliza os custos sociais mais elevados para os mesmos efeitos. Os resultados obtidos dos custos externos para as centrais de biomassa em análise foram: cenário₁ – 3.1 m€/kWh e cenário₂ – 10.2 m€/kWh, enquanto para uma central energética convencional os resultados apontam para os seguintes valores: cenário₁ – 37.2 m€/kWh e cenário₂ – 201.4 m€/kWh. Estes autores mostraram claramente que os custos sociais da geração de energia eléctrica podem inverter a atractividade económica das tecnologias

alternativas. Quanto maior a penetração das energias renováveis nos sistemas energéticos, menores os custos de electricidade impostos à sociedade.

Também Sundqvist (2004) a partir de uma comparação entre as tecnologias de biomassa e nuclear, evidenciou o facto de as externalidades encontradas para a nuclear serem significativamente mais elevadas do que aquelas para as tecnologias de biomassa, demonstrando que ao se incorporar os custos externos no custo social total, a biomassa pode perfeitamente competir e até apresentar vantagens em relação às tecnologias de combustíveis fósseis.

6.2.2. Medição das Externalidades – Selecção de Indicadores de Sustentabilidade

Já foi mencionado o interesse da medição das externalidades para a avaliação de projectos de energias renováveis, inclusive da biomassa. Para isso, deve-se ter em atenção que todas as pegadas ambientais contam para o ciclo de vida da cadeia energética, desde a eliminação de resíduos e/ou reciclagem e as emissões directas e indirectas. Contudo, de acordo com Sâez *et al.* (1998) no caso particular da biomassa, alguns deles são muitos difíceis de avaliar e insignificantes quando comparados com o resto.

Na avaliação de cada etapa da cadeia, os principais indicadores devem ser identificados para permitir a quantificação do impacto. Os indicadores são baseados nos **impactos sociais e ambientais** onde se incluem, emissões de gases de efeito de estufa, o esgotamento de recursos, disponibilidade das fontes de energia renováveis e o valor que eles acrescentam à economia. Os indicadores de sustentabilidade permitem sintetizar informação sobre uma realidade complexa e variável pois são em si informação seleccionada e processada, cuja utilidade tem sido predefinida e a sua existência justificada (Gagnon *et al.*, 2001). Na selecção dos indicadores, define-se também o nível de detalhe das informações com que se trabalhará. A escolha de muitos indicadores, em lugar de uma maior precisão, cria dificuldades na interpretação de resultados. Por outro lado, escolher poucos indicadores, pode tornar as informações insuficientes. Os indicadores de sustentabilidade mostram as variações de valores ou estados de uma determinada variável.

Diversos estudos abrangentes sobre a análise do ciclo de vida da geração de electricidade têm sido produzidos por exemplo por Bilek *et al.* (2006), Hondo (2005), Gagnon *et al.* (2001), Denholm e Kulcinski (2005), Uchiyama (2007) e Weisser (2007). Estes estudos utilizam um ou mais indicadores para fornecer a avaliação, geralmente as emissões dos gases de efeito de estufa e uma possível contabilidade energética.

Gagnon *et al.* (2001) por exemplo, consideram uma ampla série de indicadores de sustentabilidade na sua avaliação, mas evitam considerações dos impactos sociais. Os outros estudos discutem apenas um pequeno número de indicadores e uma variação limitada de tecnologias de geração de energia para obter uma compreensão completa da sustentabilidade de todas as tecnologias modernas de geração de electricidade. Para Evans *et al.* (2009) há uma série de indicadores muito importantes que devem ser considerados quando se avalia a sustentabilidade das tecnologias de geração de energia. A geração de energia não tem apenas impacto no ambiente, o ser humano e o ambiente económico também são significativamente afectados pela escolha do método de produção.

Segundo Machado (2006) os **indicadores ambientais**, dada a sua clareza, permitem que cada país escolha o que considere ser o mais importante problema ambiental relacionado com a energia, tanto em relação aos seus impactos globais, como em relação aos seus impactos locais. Em relação aos **indicadores sociais**, centram-se sobretudo na contabilização de domicílios com acesso à electricidade e os investimentos feitos em energia limpa que agem como incentivo à criação de empregos. Em referência aos **indicadores económicos**, eles medem a exposição aos impactos externos da exportação e da importação de energia e do volume de investimentos realizados pelo sector público na geração e transmissão de energia.

A maioria dos trabalhos elaborados com o objectivo de entender o impacto da geração de electricidade para o meio ambiente e economia visam quantificar parâmetros, como as emissões, períodos de recuperação de energia e custos (Evans *et al.*, 2009). Algumas das externalidades são já mensuráveis por indicadores bem definidos, tais como os gases de efeito estufa (GEE), os *stocks* de carbono e a qualidade do ar. Elas podem ser quantificadas e, provavelmente, monitorizadas, com base nos seus impactos sobre a saúde, aquecimento global, do solo e a qualidade da água. Contudo existem outras externalidades que precisam de indicadores bem

definidos para serem medidas, como por exemplo, a saúde, a qualidade da água, qualidade do solo, biodiversidade, químicos agrícolas, segurança energética, condições de trabalho.

Sáez *et al.* (1998) consideram que para o **ciclo de combustível de biomassa**, os impactos que parecem mais relevantes são os efeitos no emprego, efeitos na saúde causados pelas emissões atmosféricas originadas pela central eléctrica, erosão e da poluição proveniente do ponto de origem devido ao cultivo da terra, e o aquecimento global. Outros indicativos como os efeitos na saúde devido às emissões do transporte de biocombustíveis foram demonstrados por alguns estudos realizados pela *European Commission* que podem ser considerados insignificantes, dado que as emissões produzidas nesta fase representam menos de 1% das emissões totais. No caso do dióxido de enxofre, as emissões durante o transporte não são negligenciáveis, em comparação com as de geração de energia (as emissões neste fase são muito baixos), mas os danos causados por este poluente na fase de transporte são insignificantes quando comparados com aqueles causados por partículas ou as emissões de dióxido de enxofre durante a geração de energia. Outros impactos que não são considerados, mas que podem ter alguma importância, são aqueles causados pelos efluentes líquidos e resíduos sólidos da central, ou os aspectos visuais das culturas energéticas.

6.2.3. Quantificação dos Externalidades

Kosugi *et al.* (2009) consideram que a análise de custo-benefício é uma poderosa ferramenta para estimar os prós e contras de medidas políticas globais e problemas ambientais locais. Já foi referido que as estimativas dos custos externos são úteis para a realização de avaliações de tecnologias e, portanto, para descobrir os principais pontos fracos e pontos fortes de uma tecnologia e de ser capaz de avaliar o desempenho global e a utilidade de uma tecnologia.

A metodologia, *ExternE*, fornece uma estrutura que permite comparar tecnologias de geração de electricidade através da transformação dos diferentes impactos que possuem diferentes unidades, numa unidade comum. A metodologia desenvolvida no âmbito do programa *ExternE* (Externalidades de Energia) é a principal referência internacional para as avaliações monetárias dos encargos ambientais bem como a internalização dos custos externos relacionados

com o sector energético. O *ExternE* foi desenvolvido no âmbito de um projecto de investigação da Comissão Europeia. Este projecto iniciou em 1991 uma série de estudos para estabelecer um programa de pesquisa visando identificar uma metodologia apropriada para estimar as externalidades de energia. O objectivo principal deste projecto foi aplicar esta metodologia a uma ampla gama de diferentes ciclos de combustíveis fósseis e de energia renováveis para a geração de energia e opções de conservação de energia. Posteriormente, foi estendido para incluir a avaliação das externalidades associadas ao uso de energia nos sectores domésticos e dos transportes. Esta metodologia é constantemente actualizada para melhorar a avaliação de impactos e a estimativa dos custos associados (Pietrapertosa *et al.*, 2009).

Foram considerados, para análise no programa, sete tipos principais de danos. As categorias principais são a saúde humana (efeitos fatais e não-fatais), e efeitos sobre as culturas e materiais. Em termos de custos, os impactos sobre a saúde contribuem com a maior parte das estimativas de danos do *ExternE*.

Os **sete danos** considerados são (Abreu, 2006):

- Saúde humana (mortalidade e doença)
- Efeitos nas colheitas agrícolas
- Efeitos nas construções (materiais dos edifícios)
- Aquecimento global (provocado pelos gases com efeito de estufa)
- Ecossistemas
- Perdas de amenidade

O resultado global de uma década de pesquisa resultou num conjunto detalhado de dados de impactos de uma gama variada de combustíveis, tecnologias e localizações, e pode ser resumido como apresentado na figura 9:

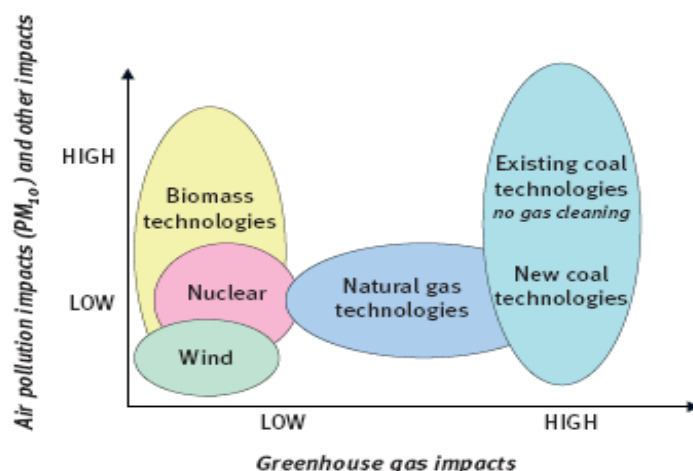


Figura 9 – Impactos das várias tecnologias. Fonte: *European Commission* (2003)

Como existem várias tecnologias relativamente à produção de energia a partir da biomassa, verifica-se que os custos externos vão depender das tecnologias de tratamento dos gases produzidos. Pode-se averiguar que as tecnologias a partir da biomassa produzem baixas emissões de gases com efeito de estufa e altos impactos na poluição do ar. Apresentam-se na tabela 8 os valores de custos externos para a produção de electricidade em alguns países da UE através das tecnologias de biomassa (European Commission, 2003):

Tabela 8 – Custos externos para a produção de electricidade em alguns países da EU para as tecnologias de biomassa. Fonte: *European Commission* (2003)

País	Portugal	Reino Unido	França	Suécia	Espanha	Áustria	Alemanha
Custos externos (cent €/kWh)	1-2	1	1	0.3	3-5	2-3	3

De acordo com a tabela 8, é possível afirmar que os custos externos da biomassa mais elevados da UE encontram-se na Alemanha e em Espanha. Valores esses muito diferentes do apontado para a Suécia, que apresenta um dos custos externos associados à biomassa mais pequenos da UE. O valor indicado por Owen (2006) como o custo externo médio da UE é de 1 cent €/kWh, dentro de uma gama que varia de 0 a 5 cent €/kWh. Sâez *et al.* (1998) demonstrou que os melhores benefícios externos associados a uma central de biomassa dizem respeito ao sector do emprego, onde os impactos são bastante positivos, e enquanto os efeitos na saúde são

negativos, apresentando custos externos elevados, a erosão do solo bem como o cultivo da terra apresentam custos externos baixos. Por sua vez Roth e Ambs (2004) estimaram que os custos externos de uma central de biomassa estariam à volta dos 1.30 cent €/kWh, um valor bastante aproximado ao indicado na tabela 8.

A tabela 9 permite comparar os valores de custos externos para a produção de electricidade a partir da biomassa com os valores obtidos por outras fontes energéticas, de forma a mostrar a mais-valia ambiental da biomassa.

Tabela 9 – Custos externos de diversas fontes energéticas (Euro-c/kWh). Fonte: European Commission (2003)

Fonte energética	Portugal (cent €/kWh)	Reino Unido (cent €/kWh)	França (cent €/kWh)	Alemanha (cent €/kWh)	Média da UE (cent €/kWh)
Eólica	—	0.15	—	0.05	0 – 0.25
Gás	1-2	1-2	2-4	1-2	1 – 4
Nuclear	—	0.25	0.3	0.2	0.2 – 0.7
Carvão	4-7	4-7	7-10	3-6	2 – 15
Petróleo	—	3-5	8-11	5-8	3 – 11
Hídrica	0.03	—	1	—	0 – 1

A França é um dos países da UE com os custos externos mais elevados associados a todas as fontes energéticas mencionadas, em oposição à Suécia que se apresenta como um dos países com menos custos externos na produção de energia eléctrica (Owen, 2006).

As energias renováveis são as fontes energéticas que apresentam os custos externos mais baixos. Dentro deste grupo, a energia eólica é a fonte energética que menos contribui para os custos sociais, oferecendo custos externos que variam de 0 a 0.25 cent €/kWh. A mais-valia ambiental das energias renováveis é completamente evidenciada na tabela 9, uma vez que as fontes energéticas convencionais indicadas apresentam custos externos mais elevados do que aqueles mostrados pelas fontes energéticas renováveis.

Mas se compararmos apenas os custos financeiros das várias tecnologias da produção de energia, a situação pode-se inverter, e a maior parte das tecnologias de energias renováveis, como a biomassa e a eólica, acabam por acarretar os custos mais elevados, como indicado na figura 10.

Tabela 10 – Custos financeiros da energia fornecida (Euro-c/kWh). Tabela adaptada Owen (2006)

Fonte energética	Energia	Custo (cent €/kWh)	Expectativas futuras para 2020 (cent €/kWh)
Biomassa	Electricidade	5-15	4-10
Biomassa	Calor	1-5	1-5
Biocombustíveis	Etanol	3-9	2-4
Eólica	Onshore	3-5	2-3
Eólica	Offshore	6-10	2-5
Nuclear	—	4-6	3-5
			Os custos de capital vão diminuir com o progresso técnico
Carvão	Electricidade	3-5	
Geotérmica	Electricidade	2-10	1-8

Owen (2006) estimou que em 2020, quando as tecnologias estiverem mais maduras, os custos financeiros relacionados com a produção de electricidade a partir da biomassa estarão compreendidas entre 4 e 10 cent €/kWh. Por enquanto, nos dias de hoje, este valor ainda se encontra compreendido entre 5 e 15 cent €/kWh. Pela análise da tabela 10, pode-se retirar que os custos financeiros a partir da biomassa são mais elevados para a produção de electricidade do que para a produção de calor.

A análise dos custos externos deve levar em consideração o ciclo de vida das tecnologias de geração de energia, uma vez que permite a comparação directa de uma série de impactos relacionando-os com as suas consequências (Evans *et al.*, 2009). O ciclo de vida de um combustível abrange várias fases, desde a sua extracção até à distribuição para os consumidores (Abreu, 2007).

Daniel Weisser (2001) comparou os resultados das análises do ciclo de vida de diferentes tecnologias e analisou as emissões de GEE no ciclo de vida das cadeias de produção de electricidade. É amplamente reconhecido que as emissões de gases de efeito estufa resultantes da utilização de uma tecnologia energética precisam de ser quantificadas sobre todas as fases da tecnologia e do ciclo de vida do combustível. Contudo deve-se ter em atenção, que é difícil estimar um conjunto típico de emissões para cada tipo de recurso energético.

As emissões dependem de vários factores para além do tipo de central. Esses factores incluem: a idade e o tipo de central, o tipo de combustível, tecnologia instalada para o controlo das emissões, operações da central, temperatura do combustível (El-Kordy *et al.*, 2002). Weisser (2001) concluiu que para as **tecnologias de combustíveis fósseis** a maior parte das emissões dos GEE no ciclo de vida surgem durante a **operação da central**. Em contraste com as tecnologias de combustíveis fósseis, a maior parte das emissões de GEE provenientes das **tecnologias de energias renováveis** ocorrem normalmente durante a **produção e construção das infra-estruturas** de apoio das tecnologias. Apesar de que para os sistemas de biomassa a maioria das emissões podem surgir durante o ciclo do combustível, dependendo da escolha do combustível de biomassa. As emissões de GEE do ciclo de vida dos sistemas de biomassa dependem principalmente da intensidade energética do ciclo do combustível, das propriedades de biocombustível, bem como da tecnologia da central e a eficiência da sua conversão térmica específica. A gama de emissões de GEE no ciclo de vida da biomassa apresentado por Daniel Weisser (2001) está entre os 35-99 gCO_{2eq}/kWh_e. A maioria das emissões são concebidas na fase do ciclo do combustível, enquanto as emissões de GEE que ocorrem durante as outras fases do ciclo de vida são insignificantes (NEEDS, 2008).

Por sua vez, Pietrapertosa *et al.* (2009) consideram que as fases de construção e de desmantelamento das tecnologias de geração de energia eléctrica podem contribuir fortemente para a degradação ambiental. Assim, eles aplicaram uma análise do ciclo de vida para a caracterização ambiental das centrais eléctricas de biomassa e eólica. Apresenta-se na tabela 11 os indicadores unitários e o total estimado para os impactos das tecnologias de biomassa e eólica para a geração de energia eléctrica.

Tabela 11 – Indicadores unitários e o total estimado para as tecnologias de biomassa e eólica para a geração de energia eléctrica. Tabela adaptada de Pietrapertosa *et al.* (2009)

Unidades	Gases de efeito de estufa		Acidificação		Poluição	
	kg CO _{2eq} /GJ	kg CO _{2eq}	kg CO _{2eq} /GJ	kg CO _{2eq}	kg CO _{2eq} /GJ	kg CO _{2eq}
Eólica	6.00	358	0.01	0.86	0.005	61.95
Biomassa	9.35	1362	0.91	133.10	4.44	1322

Segundo os valores indicados na tabela 11, verifica-se que as tecnologias de biomassa contribuem notavelmente para todas as categorias de impacto consideradas, em comparação com a eólica, que apresenta valores bem mais positivos.

Sáez *et al.* (1998) ao comparar as externalidades das centrais de biomassa com as centrais de carvão verificaram que os custos do ciclo a carvão são mais elevados, e os seus benefícios mais baixos do que para o ciclo a biomassa, como indicado na tabela 12. O baixo valor referente ao indicador emprego, no caso da central a carvão, deve-se principalmente ao facto do carvão ser importado.

Tabela 12 – Externalidades de uma central de biomassa (20 MW) e de uma central a carvão (150 MW). Tabela adaptada de Sáez *et al.* (1998)

Indicador	Central de biomassa	Central a carvão
Emprego	+ 3.06 a + 12.35 mECU/kWh	+ 1.10 a + 5.05 mECU/kWh
Saúde	-1.93 a - 4.55 mECU/kWh	- 8.41 a - 19.84 mECU/kWh
Fixação de CO₂	Insignificante	-0.8 a -16.1 mECU/kWh
Erosão do solo	+ 52 a +116 mECU/kWh	–

Estes custos externos vão pesar no custo social final, favorecendo mais uma vez a tecnologia da biomassa relativamente às tecnologias convencionais. Sáez *et al.* (1998) indicam que quando as externalidades forem incorporadas no custo final, os preços da electricidade irão mudar significativamente no mercado, promovendo uma grande implementação da energia proveniente da biomassa.

Tabela 13 – Custos sociais da produção de electricidade através da central de biomassa e da central de carvão. Tabela adaptada de Sáez *et al.* (1998)

Custos	Central de biomassa (20 MW)	Central a carvão (150 MW)
Custo privado	115.39 mECU/kWh	57.26 mECU/kWh
Custo externo	-50.11 a -126.36 mECU/kWh	4.16 a 34.84 mECU/kWh
Custo social	-11.0 a 65.3 mECU/kWh	61.4 a 92.1 mECU/kWh

6.3. Conclusões

O conceito de externalidade foi introduzido neste capítulo, onde se pretendeu demonstrar a importância da internalização dos impactos sociais e ambientais nas actividades de produção eléctrica. Foi também efectuada uma selecção de indicadores de sustentabilidade fundamentados em estudos realizados por diferentes autores.

As externalidades ambientais da geração de electricidade variam consideravelmente, dependendo do tipo de energia e da tecnologia utilizada. As estimativas dos custos dos danos resultantes da queima de combustíveis fósseis, se internalizados no preço da produção resultante de electricidade, pode claramente conduzir a um número de tecnologias renováveis economicamente competitivas com as centrais de combustíveis fósseis. Uma comparação das externalidades estimadas para as tecnologias renováveis e convencionais, permitiu claramente demonstrar que os custos externos são significativamente mais elevados no que diz respeito às tecnologias convencionais.

No caso particular dos custos externos do ciclo da biomassa, estes apresentam-se ligeiramente elevados, em resultado da dimensão dos danos associados às emissões atmosféricas, à erosão do solo e a outros efeitos decorrentes do processo de desflorestação. Não obstante, em caso de contabilização dos custos externos associados ao aquecimento global, as estimativas finais obtidas são relativamente inferiores às dos ciclos dos combustíveis fósseis (Antunes *et al.*, 2003).

Na última secção foi apontado que é cada vez mais essencial caracterizar em detalhe os encargos ambientais associados às diferentes fases do ciclo de vida das tecnologias e o desempenho energético destas. As fases de construção e de desmantelamento das centrais de bioenergia não influencia muito os resultados das emissões comparado com a influência das fases de operação e de produção de combustível.

Como conclusão final, a incorporação dos custos externos no custo social total, permite à biomassa competir e até apresentar vantagens em relação às tecnologias de combustíveis fósseis (Sundqvist, 2004).

Análise Económica

7. Análise Económica

7.1. Introdução

Para se ser um substituto viável de um combustível fóssil, um combustível alternativo não deve ter apenas benefícios ambientais superiores em relação a este, tem que ser economicamente competitivo com ele e ser produtivo em quantidades suficientes para causar um impacto significativo na procura da energia (Hill *et al.*, 2006).

Segundo Fernandes e Costa (2010) uma importante limitação do uso da biomassa como um recurso energético pode ser os custos associados a este recurso. A integração da biomassa no planeamento energético de uma região requer o estudo e o desenvolvimento de ferramentas avançadas que permitam avaliar e otimizar esses custos, a fim de identificar a localização ideal para os investimentos neste tipo de projectos. Dessa forma é necessário definir uma metodologia de avaliação económica para se proceder à análise de viabilidade de um projecto. A análise financeira refere-se à avaliação ou estudo da viabilidade e lucro de um projecto. Uma metodologia de **avaliação económica e financeira** difere de acordo com o perfil do investidor e os seus objectivos, mas para todos, ela constitui um conjunto de indicadores que permitem a comparação por diferentes critérios. Os benefícios económicos da utilização da biomassa podem ser analisados de perspectivas diferentes, nomeadamente na do proprietário florestal, dos empreiteiros, dos produtores de energia e da sociedade.

Apesar da escolha do método depende frequentemente do propósito da análise e ser independente do método de avaliação financeira utilizado, a avaliação de um projecto assenta em três vectores principais: *Cash Flows*, *Timing* do Investimento e Taxa de Actualização.

⇒ **Cash FLOws** - Relativamente aos *Cash Flows*, estes poderão ter a natureza de *OutFLOws* (saídas) e *InFLOws* (entradas); Nos *OutFLOws* incluem-se o investimento realizado, que poderá ser repartido por vários períodos durante o horizonte temporal do investimento. Os *InFLOws* são as receitas geradas pelo projecto e essas são mesmo repartidas por vários períodos com um período recorrente.

⇒ **Timing do Investimento** - No horizonte temporal do investimento os *Cash Flows* terão de ser distribuídos em pontos específicos para que possamos actualizá-los para o momento 0, que é o ponto onde se avalia a viabilidade económica do investimento através da relação entre os *Outflows* investidos e os *Inflows* gerados.

⇒ **Taxa de Actualização** – Esta variável é a taxa de retorno exigida.

No presente estudo será aplicado o método do valor actual líquido (VAL), procedendo-se à actualização de todos os fluxos de tesouraria esperados, relativos ao projecto de investimento em causa, usando uma determinada taxa de actualização. Desde o início da construção da central até o fim da sua vida económica, todos os custos considerados na avaliação são descontados para a data do início da produção de electricidade (Sevilgen *et al.*, 2005).

De acordo com Ericsson *et al.* (2009) os principais factores a considerar num projecto de energia renovável são:

- Custos de capital (despesas de equipamentos e instalações);
- Custo de investimento;
- Custos de operação e manutenção;
- Taxa de desconto dos custos de capital, taxa de crescimento dos custos variáveis de O&M e taxa de inflação;
- Custos de combustível;
- O custo das medidas de controlo;
- As taxas locais;

Na secção seguinte deste capítulo os custos de projectos de biomassa serão apresentados e descritos para possibilitar uma melhor compreensão da avaliação de projectos de biomassa em Portugal que será exposto na última secção deste capítulo.

7.2. Custos de Projectos de Biomassa

De acordo com El-Kordy *et al.* (2002) uma análise financeira do ponto de vista das centrais de biomassa pode ser decomposta em três custos fundamentais:

1. **Custos de investimentos** (Inclui a despesa de capital inicial para o equipamento, design de sistemas, engenharia de sistemas e instalação). Este custo é considerado como um pagamento único que ocorre no ano inicial do projecto, independentemente de como o projecto é financiado.
2. **Custos de operação e manutenção:**
 - ⇒ Consumo de energia eléctrica
 - ⇒ Salários de operação, inspecções e seguros
 - ⇒ Custos da maquinaria:
 - Operações
 - Manutenções
 - ⇒ Despesas gerais
3. **Custos do combustível:** Considera-se a soma de todos os custos de combustível durante o ciclo de vida.

7.2.1. Custos de Investimento

Os **custos de investimento** são considerados por Carapellucci (2002) como os custos que representam o total de requisitos de capital, incluindo o custo dos componentes da central eléctrica, engenharia, contingências e instalação. Os custos de investimento podem ser divididos em três grandes custos (NEEDS, 2008):

- a) **Construção** - Os custos da construção de uma central de biomassa podem vir a representar 20-40% dos custos totais de investimento;

- b) **Engenharia mecânica** - Este grupo de custos contém todos os componentes mecânicos. Os custos para a biomassa dependem fortemente da capacidade e do tipo de equipamento. O tipo de combustível também tem uma grande influência neste grupo;
- c) **Sistemas eléctricos e de controlo** - Os custos para os sistemas eléctricos e de controlo dependem fortemente do tamanho e complexidade da central, do grau desejado de automação e das infra-estruturas técnicas existentes.

Boukis *et al.* (2008) consideraram que um dos custos mais elevados de uma pequena central de biomassa é o custo de investimento. Este custo de capital depende em grande parte da tecnologia envolvida, o tamanho e o potencial energético da central (Firme, 2010).

7.2.2. Custos de Operação e Manutenção

Os custos de operação e manutenção variam de país para país e, mesmo de região para região. Normalmente são projectados para se manterem estáveis durante o período de vida das centrais, mas também podem verificar-se aumentos ou diminuições ao longo do tempo (Abreu, 2006).

Firme (2010) inclui como principal componente do **custo total de operação o custo do combustível** seguido dos restantes **custos de O&M** anteriormente listados. No entanto, neste estudo optou-se por analisar separadamente os custos de combustível e os custos de O&M. Os custos de O&M geralmente incluem os custos de operação, manutenção (materiais, mão-de-obra, serviços), pessoal de apoio (à equipa de engenharia), administração, seguros (específicos do projecto) e o aluguer do terreno (Abreu, 2006). De acordo com Mirasgedis *et al.* (2000) os custos de O&M podem-se dividir em duas partes: os custos fixos, que incluem todos os custos de trabalho no local e os custos de seguro; na segunda parte temos os custos variáveis, que se referem ao armazenamento de combustível e o fornecimento de electricidade, reparação e obras de manutenção.

Boukis *et al.* (2008) consideram que um dos custos mais elevados de uma pequena central de biomassa é o **custo total de operação** (com os custos de combustível incluídos), em

que os parâmetros que mais contribuem para o custo total de operação são o custo de aquisição das fontes primárias (40.42%), o custo de transporte das fontes primárias (19.42%), os custos com os trabalhadores (13.20%), o consumo de energia eléctrica (10.95%), as amortizações (7.32%), o consumo de combustível (2.08%), a renda (1.66%), as operações e as manutenções (1.34%) e os restantes custos contribuem com 3.61%.

Os custos de O&M dependem principalmente do desempenho técnico das centrais, da aplicação das normas de segurança e dos recursos humanos necessários (Mirasgedis *et al.*, 2000).

7.2.3. Custos de Combustível

O consumo de combustível geralmente varia dentro de uma ampla gama de valores, dependendo sobretudo do tipo de energia primária e da tecnologia de geração de electricidade utilizada. Para as centrais eléctricas convencionais a componente mais significativa dos custos de produção de electricidade está relacionada com o combustível utilizado. Pelo contrário, o custo médio de produção de electricidade proveniente de fontes de energia renováveis está relacionado sobretudo com o custo de investimento. Exceptua-se o caso da biomassa, onde os custos de combustível podem representar uma parte fundamental do custo total privado (Mirasgedis *et al.*, 2000).

De acordo com Boukis *et al.* (2008) e Gasol *et al.* (2008) o **custo de combustível** é um dos parâmetros mais importantes que influenciam a viabilidade das centrais de tratamento e conversão da biomassa primária no produto energético final. Espera-se através dos planos de investimento para a exploração energética da biomassa (seja utilizando matéria-prima de culturas energéticas ou de resíduos), que grandes quantidades de matéria-prima sejam transportadas desde o campo de produção para as centrais de conversão. Nesta sequência, é necessária a existência de um sistema organizado de recolha das fontes primárias de modo a reduzir os custos de pré-tratamento e de transporte para as centrais. Boukis *et al.* (2008) para consolidar este pensamento analisaram três culturas energéticas e assumiram que os agricultores eram responsáveis pela produção, bem como o transporte das fontes primárias para as centrais de conversão. Desta forma, o produtor é o transportador, e o lucro desejável do produtor é calculado tanto pela

produção como pelo transporte para as centrais. O custo de combustível foi decomposto nos seguintes itens:

- Custo de produção das fontes primárias;
- O custo de pré-tratamento na área de produção;
- O custo de pré-tratamento na central (por exemplo, secagem);
- O custo do transporte das fontes primárias para a unidade de conversão;
- O lucro desejável do produtor de origem primária e do transportador.

Deve-se salientar que o custo de produção de fontes primárias tem que ser separado tendo em conta o facto de que a biomassa pode estar já disponível, como por exemplo, no caso dos resíduos agrícolas, ou sub-produtos de um determinado processo de produção (por exemplo, os resíduos da indústria de madeira).

Para Carapellucci (2002), de todos os factores que contribuem para o custo da biomassa obtida através das culturas energéticas, incluindo a preparação do solo, plantação, cultivo, colheita, armazenagem e **transporte** para a central eléctrica, este último factor é considerado o elemento que mais contribui para o custo do fornecimento de biomassa para a central, contribuindo até 25% para o custo total da biomassa. O transporte para a central depende de muitos factores como por exemplo a distância, velocidade, número de serviços ao dia, capacidade, etc. (Boukis *et al.*, 2008).

A distância é um dos factores fundamentais e depende da quantidade de combustível de biomassa necessária, bem como de alguns factores típicos, como o rendimento das culturas, densidade da plantação e acessibilidade da central. Estes autores estimam que só será economicamente viável que as fontes primárias sejam entregues directamente às centrais, quando são recolhidas por produtores numa área de 10 km. Contudo, nos casos em que uma grande quantidade de matéria-prima necessita de tratamento, obriga a implementação de um sistema mais organizado, de modo a reduzir os custos.

Uma vez que o custo da biomassa varia consideravelmente de acordo com a matéria-prima considerada, no caso particular de centrais sustentadas por resíduos, o custo de combustível representa cerca de 37% do custo total de operação da central. Quando se trata de

um central de biomassa alimentada por culturas energéticas, espera-se que o custo de combustível para as centrais seja consideravelmente mais elevado (Boukis *et al.*, 2008).

No caso particular das culturas energéticas, é proposto por Gasol *et al.* (2008) que para avaliar o efeito na economia dos sistemas de produção dedicada de biomassa para fins energéticos é necessário determinar 3 pontos essenciais: (i) a biomassa necessária para a plantação, (ii) a superfície das terras de cultivo e (iii) a logística necessária expressa no número de camiões requeridos para transferir a biomassa. Foram distinguidas através de Ericsson *et al.* (2009) as 3 principais componentes do custo de produção de culturas energéticas do ponto de vista dos agricultores, como sendo: o custo da agricultura, da terra e do risco:

- ⇒ O **custo da agricultura** inclui todos os custos associados ao crescimento das culturas energéticas. Os principais custos são os de criação, fertilização, colheita, transporte rodoviário, controlo de ervas daninhas e despesas gerais. Muitos destes custos incluem os custos de trabalho e da maquinaria;
- ⇒ O **custo da terra** usada para culturas energéticas é expresso como o custo de oportunidade, ou seja, a rentabilidade do uso alternativo da terra;
- ⇒ O **custo do risco** é a compensação económica, ou seja, o benefício que um agricultor teria ao passar de um campo de cultura simples para um campo de cultura energética. O risco varia de acordo com o agricultor e o tamanho do campo. Há uma série de factores que contribuem para o elevado custo de risco que os agricultores associam às culturas energéticas. Dessa forma será necessário tornar estas culturas mais atractivas, introduzindo informação e aconselhamento que irá melhorar os seus conhecimentos sobre estas culturas, reduzindo a percepção do risco. Uma forma de tornar a incerteza sobre os rendimentos a partir da biomassa é a utilização de contratos que distribuem os riscos (Ericsson *et al.*, 2009).

Por sua vez, Gasol *et al.* (2010) consideram que os custos de produção das culturas energéticas do ponto de vista das centrais incluem: (i) os custos de combustível e lubrificante, depreciação da maquinaria, custos de manutenção e de seguro, (ii) contratos de serviços

específicos e/ou aquisições de bens, (iii) custos gerais externos como os custos de administração, etc. (iiii) Os custos internos incluem os pagamentos de trabalho, remunerações das terras e as remunerações de capital de trabalho. Tudo isto influencia o custo total do cultivo e da colheita.

É defendido por Wit e Faaij (2009) que os custos dos terrenos contribuem significativamente para a produção global das culturas energéticas. Existem grandes diferenças, para estes autores no preço do aluguer da terra, tanto dentro dos próprios países – entre regiões – bem como entre os países europeus. Para estes autores os dois principais factores que influenciam o custo dos terrenos são: i) a adequação do solo e ii) a procura da terra. Vários autores como Ericsson *et al.* (2006), Van *et al.* (2007) e Hellmann (2008) realizaram estudos que auxiliam esta percepção. Ambos os autores verificaram que os custos de produção para a biomassa disponível na Europa são variáveis, com custos significativamente mais baixos na Europa do Leste do que nos países da Europa Ocidental, devido principalmente aos baixos custos do aluguer das terras e aos custos laborais nos países do Leste.

Foi demonstrado através de Gasol *et al.* (2008) que os custos dos sistemas de cultivo são o principal factor para o custo final das centrais de biomassa alimentadas por culturas energéticas. O custo total da maquinaria de cultivo considera os custos fixos e variáveis por hectare. Os **custos variáveis** incluem o consumo de combustível pelos camiões agrícolas e de colheita, bem como os lubrificantes, a substituição de peças, reparações e manutenção. Os **custos fixos** incluem o investimento dos camiões, o investimento da colheita, custo da maquinaria e vida útil das máquinas em horas.

No que diz respeito à avaliação da economia do transporte da biomassa para a central, segundo Gasol *et al.* (2008) esta é feita através do investimento relacionado com os camiões e os sistemas de carregamento, nos custos de manutenção e reparação dos camiões e nos custos de operação relacionados com os custos de trabalho e o consumo de combustível. Foi proposto por Wit e Faaij (2009) uma metodologia para determinar o custo total de um sistema de produção de culturas energéticas (*CT*), onde consideraram 4 custos principais: **custos laborais** (*CL*), **custos de fertilizantes** (*CF*), **custos de capital** (*CC*) e **diversos, custos com a terra** (*CT*), como indicado na tabela 14.

Tabela 14 – Custos que contribuem para o custo total de um sistema de produção de culturas energéticas. Tabela adaptada de Wit e Faaij (2009)

Custos laborais	Custos de capital e diversos
<ul style="list-style-type: none"> • Salários • Entradas de trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> • Entradas: - maquinaria - diversos • Preços: - maquinaria - diversos
Custos de fertilizantes	Custos com a terra
<ul style="list-style-type: none"> • Preço de fertilizantes • Entradas de fertilizantes: <ul style="list-style-type: none"> - campo - absorção de nutrientes 	

O custo total de um sistema de produção agrícola representa-se através do somatório deste quatro custos. Como já foi mencionado anteriormente os dois principais factores que influenciam os **custos para a terra** são: a adequação do solo e a procura pela terra. **Os custos de fertilizantes** são estimados através de uma metodologia de balanço de nutrientes: os nutrientes extraídos pela cultura durante o seu crescimento, incluindo as perdas, devem ser repostos por fertilizantes para manter a composição de nutrientes do solo. **Os custos de capital e diversos** consistem, principalmente, de despesas para as máquinas, a manutenção e qualquer custo que não esteja abrangido pelas outras três categorias de custos. Os **custos laborais** são determinados pelos requisitos de entrada de trabalho físico específico e pelo custo de horas laborais (o salário é usado como um indicador).

Através desta metodologia Wit e Faaij (2009) concluíram que os custos mais elevados de um sistema de produção agrícola na UE pertencem à Dinamarca, e que os custos praticados em Portugal e Espanha são relativamente iguais, divergindo apenas no que diz respeito aos salários praticados, que se apresentam mais elevados em Espanha do que em Portugal.

7.3. Estimativas das variáveis económicas relevantes

Existe um conjunto de variáveis que se deve ter em atenção ao se efectuar a avaliação económica da produção de biomassa. A diversidade de origens da biomassa traduz-se na variedade de características da mesma, nomeadamente em termos de poder calorífico, humidade, produção de cinzas, entre outros. Esta variabilidade exige então uma grande diversidade de tecnologias de conversão para a produção de bioenergia. Assim é necessário especificar a fonte a partir do qual irá ser obtida a energia de biomassa bem como o processo de transformação, de modo a fazer uma análise detalhada da produção energética, uma vez que os custos financeiros irão ser influenciados pela matéria-prima considerada. Até hoje, tem-se verificado que os biocombustíveis são produzidos fundamentalmente a partir de culturas agrícolas, enquanto a produção de electricidade e o aquecimento se baseiam fundamentalmente na queima de madeira e de resíduos.

Nesta secção serão analisadas as estimativas das variáveis económicas relevantes para o presente estudo. Estas variáveis foram obtidas através de uma recolha bibliográfica, fundamentada em diversos estudos relacionados com este tema.

7.3.1. Capacidade Instalada

A capacidade instalada nas centrais de biomassa varia de acordo com a matéria-prima e a tecnologia empregue. Com base num registo de literatura, indicam-se na tabela 15 as seguintes capacidades para as centrais de biomassa:

Tabela 15 – Capacidade instalada para centrais de biomassa.

Autor	Capacidade instalada
S.Mirasgedis (2000)	30 MW
Fernandes e Costa (2010)	50 MW
Boukis <i>et al.</i> (2008)	15 MW

No estudo realizado por Mirasgedis (2000) a tecnologia considerada foi a combustão directa, e a fonte energética não foi especificada. Fernandes e Costa (2010) utilizaram valores referentes a uma caldeira de conversão de resíduos florestais e agrícolas. O valor apontado por Boukis *et al.* (2008) diz respeito às culturas energéticas, mas não descreve o processo de conversão. Em Portugal, o plano de crescimento para 2010 das centrais de biomassa aponta para capacidades compreendidas entre os 10 MW e os 20 MW para a biomassa florestal, e entre 5 MW a 30 MW para a biomassa agrícola.

7.3.2. Factor de carga

O número de horas que as instalações de produção de electricidade operam varia de central para central e depende de factores económicos, das condições climáticas ou das necessidades em termos de consumo. O rácio do número de horas de funcionamento sobre o número total de horas num ano representa o factor de carga. De acordo com as estatísticas rápidas da DGGE (Janeiro/Fevereiro de 2010), obtiveram-se os dados relativos à evolução das horas anuais médias de produção equivalente, como se indica na figura 2:

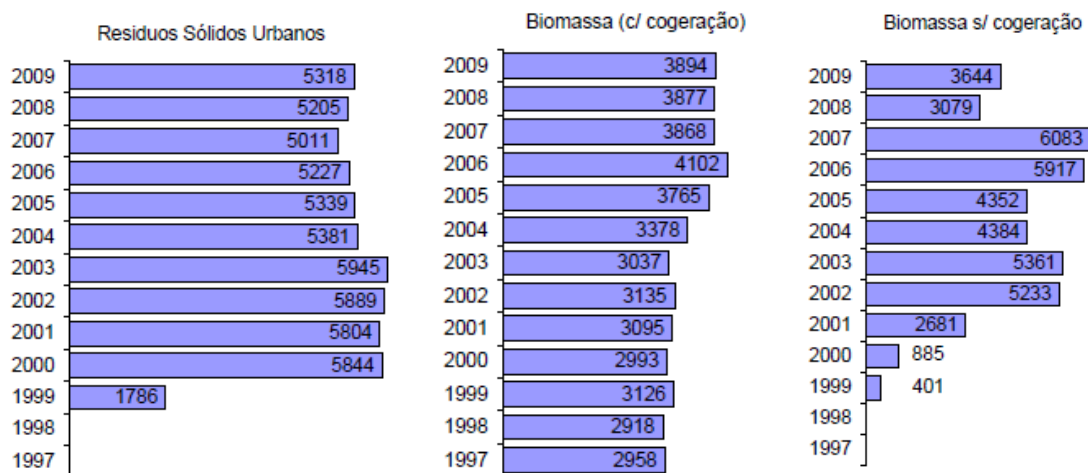


Figura 10 - Evolução das horas anuais médias de produção equivalente para a biomassa em Portugal. Fonte: DGGE (2010)

Através dos valores das horas anuais médias de produção equivalente apontados anteriormente, foi determinado o factor de carga para os casos em particular, como indicado na tabela 16.

Tabela 16 – Factor de carga do caso particular da biomassa em Portugal.

Processo	Factor de carga
Resíduos Sólidos Urbanos	58.9%
Biomassa c/cogeração	38.8%
Biomassa s/cogeração	43.6%

Para fim de comparação com outra fonte de energia renovável e uma central de energia convencional, foram considerados os dados obtidos por Abreu (2006) para o factor de carga associado a um parque eólico e a uma central de ciclo combinado a gás, que rondam os 28% e os 85%, respectivamente. Em relação à energia eólica, ambos os três tipos biomassa indicados na tabela 16 apresentam um factor de carga superior, que é justificado pela dependência dos parques eólicos em relação à disponibilidade de vento. O mesmo não se verifica em relação à central de ciclo combinado a gás, que pode oferecer um factor de carga bastante elevado, mas cujo nível do funcionamento depende das condições do mercado.

No presente estudo, na avaliação económica para o caso particular das culturas energéticas, será utilizado o factor de carga **43.6%**, que se refere ao processo de biomassa sem cogeração.

7.3.3. Tempo de vida

Através da bibliografia recolhida, e que se apresenta na tabela 17, verifica-se que existe alguma discrepância no que diz respeito ao tempo de vida das centrais de biomassa. Para o cálculo dos custos uniformes, foi considerado um tempo de vida igual a **20 anos**.

Tabela 17 – Tempo de vida das centrais de biomassa.

Autor	Tempo de vida
Mirasgedis (2000)	25 anos
Carapellucci (2002)	20 anos
Roth e Ambs (2004)	35 anos
NEEDS (2009)	15 anos
Boukis <i>et al.</i> (2008)	20 anos
DEEC/FCTUC (2006)	20 anos

7.3.4. Custos de investimento

Através da pesquisa bibliográfica encontraram-se os seguintes valores para os custos de investimento:

Tabela 18 – Custos de investimento das centrais de biomassa.

Autor	Custos de Investimento	Combustível	Tecnologia
Mirasgedis (2000)	2000 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Combustão
Berndes <i>et al.</i> (2007)	1700 €/kW	Culturas lenhosas para a produção de energia eléctrica.	Não refere
Berndes <i>et al.</i> (2007)	1600 €/kW	Culturas oleaginosas para a produção de biodiesel.	Não refere
Boukis <i>et al.</i> (2008)	1600 €/kW	Cultura de sorgo sacarino	Não refere
Gasol (2004)	1939 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Não refere
NEEDS (2008)	2500 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Combustão (Central de cogeração com turbina a vapor)
NEEDS (2008)	2350 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Gaseificação (Central de cogeração com motor de gaseificação)
DEEC/FCTUC (2006)	1346 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Queima directa
DEEC/FCTUC (2006)	1464 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de	Gaseificação

		fonte primária)	
Carapellucci (2002)	1535 €/kW	Culturas energéticas	Combustão (Ciclo a vapor)
Roth e Ambs (2004)	1939 €/kW	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Não refere

De acordo com a tabela 18, observa-se que os valores dos custos de investimento apresentam diferenças significativas, encontrando-se compreendidos entre os 1346 €/kW e os 2500 €/kW. Para fim de comparação com outra fonte de energia renovável e uma central de energia convencional, foram considerados os dados obtidos por Abreu (2006) para os custos de investimento de um parque eólico e uma central de ciclo combinado a gás, que rondam os 1150 €/kW e os 490 €/kW, respectivamente. O baixo custo de investimento que uma central de ciclo combinado a gás apresenta comparativamente à central de biomassa, conduz a uma vantagem do ponto de vista financeiro da tecnologia convencional abordada em relação à biomassa.

Apesar da biomassa poder ser queimada em centrais convencionais (misturadas com outro tipo de matéria-prima), o seu tratamento necessita de maior cuidado, o que pode justificar as disparidades encontradas nos custos de investimento. As diferenças encontradas nos valores apontados para as duas energias renováveis também permitem averiguar que uma central de biomassa necessita de um investimento superior a um parque eólico.

7.3.5.Custos de operação e manutenção

Através da pesquisa bibliográfica foram encontrados os seguintes valores para os custos de O&M:

Tabela 19 – Custos de Operação e Manutenção das centrais de biomassa.

Autor	Custos de O&M	Combustível	Tecnologia
Boukis et al. (2008)	Custos Fixos: 1.938.841 €/ano Custos variáveis: 0.0173 €/kWh	Cultura de sorgo sacarino	Não refere
Mirasgedis (2000)	Custos fixos: 20.00 €/kW ano Custos variáveis: 1.2 m€/kWh	Biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)	Combustão
DEEC/FCTUC (2006)	Custos fixos: 60.00 €/kW ano	Biomassa (não é referido o	Queima directa

	Custos variáveis: 0.0070 €/kWh	tipo de fonte primária)	
DEEC/FCTUC (2006)	Custos fixos: 43.40 €/kW ano	Biomassa (não é referido o	Gaseificação
	Custos variáveis: 0.0040 €/kWh	tipo de fonte primária)	
Carapellucci (2002)	Custos fixos: 32.32 €/kW ano	Culturas energéticas	Combustão (Ciclo a
	Custos variáveis: 0.0020 €/kWh		vapor)

Fazendo uma análise ao quadro anterior, realça-se o facto de os custos de O&M encontrados na bibliografia não serem uniformes, verificando-se discrepâncias significativas em alguns desses valores. Um dos motivos para justificar essa disparidade encontra-se no facto da tecnologia e o tipo de matéria-prima considerados nos diversos artigos analisados serem distintos. Os valores dos custos fixos de O&M estão compreendidos entre 20.00 €/kW ano e os 43.40 €/kW ano, e os variáveis entre os 0.0012 €/kWh e os 0.0070 €/kWh, respectivamente. Pode-se concluir que a gama de valores é grande, o que se pode justificar pelas diferentes tecnologias consideradas, pelos diferentes tipos de biomassa e mesmo pela própria forma de cálculo, muitas vezes associada ao tempo de vida considerada e à produção média da central. Mais a frente irá ser realizada uma simulação de forma a perceber a relevância que os custos de O&M manifestam no custo final.

Segundo El-Kordy *et al.* (2002) existe um agravamento nos custos de O&M variáveis de 1% ao longo do tempo de vida da central.

7.3.6. Custos de combustível

Os custos de combustível são sensíveis ao tipo de combustível utilizado, assim como à eficiência do sistema (Abreu, 2006). A eficiência obtida varia com o processo de conversão energético bem como a matéria-prima utilizada. Mais a frente irá ser abordada a eficiência dos processos de conversão da biomassa.

Segundo Roth e Ambs, (2004) as centrais de biomassa alimentadas por resíduos florestais e agrícolas não apresentam aumentos nos custos de combustível, ao contrário do que acontece nas centrais de resíduos sólidos urbanos onde existe um agravamento no custo de combustível de 1.8%. Numa primeira análise considera-se que os custos de combustível não apresentam

alterações ao longo do tempo de vida da central. Através da pesquisa bibliográfica foram encontrados os seguintes valores para os custos de combustível:

Tabela 20 – Custos de combustível.

Autor	Custos de combustível
Ericsson <i>et al.</i> (2009)	Custo de combustível: 14.4-18 €/MWh Combustível: culturas energéticas como o salgueiro e o eucalipto
Ericsson <i>et al.</i> (2009)	Custo de combustível: 21.6-25.2 €/MWh Combustível: culturas energéticas como o “ <i>miscanthus</i> ”
Ericsson <i>et al.</i> (2009)	Custo de combustível: 14.4-18 €/MWh Combustível: resíduos florestais
DEEC/FCTUC (2006)	Custo de combustível: 9 €/MWh Combustível: biomassa (não é referido o tipo de fonte primária)

No estudo realizado por Ericsson *et al.* (2009) estimou-se que o custo de produção das culturas do salgueiro “*willow*” e do eucalipto “*eucalyptus*” está compreendido entre os 14.4-18 €/MWh nas condições actuais, diminuindo para 10.8-14.4 €/MWh nas condições futuras (mais anos de experiência no cultivo de culturas energéticas). O custo de produção de culturas como “*miscanthus*” e “*switch grass*” foi estimado entre os 21.6-25.2 €/MWh nas condições presentes, e entre os 18-21.6 €/MWh nas condições futuras. Estes autores consideram que as condições do Sul da Europa são mais propícias para o desenvolvimento de culturas como o eucalipto e o *miscanthus*. O preço da biomassa, proveniente dos resíduos florestais e agrícolas, é estimado por Ericsson *et al.* (2009) estar compreendido entre ao 14.4-18 €/MWh na Europa.

Quando o custo de combustível é dado pelo custo de produção, como no caso do estudo realizado por Ericsson *et al.* (2009), é necessário ter em atenção que a eficiência de conversão energética não está incluída neste valor, sendo assim fundamental incluir a eficiência no valor final do custo de combustível.

Para fim de comparação com uma central de energia convencional, considerou-se os dados obtidos por Abreu (2006) para os custos de combustível de uma central de ciclo combinado a gás, que rondam os 13.90 €/MWh, um valor ligeiramente inferior aos custos de combustível da biomassa.

7.3.7. Tarifas

Para a análise de viabilidade de projectos com biomassa é necessário ter em conta a remuneração da electricidade produzida. As tarifas remuneratórias são um exemplo de legislação ou incentivo e representam uma taxa paga por MWh ao produtor da energia, a um preço que seja suficiente para tornar os investimentos nesse tipo de energias em opções lucrativas (Bello, 2009).

Os critérios de remuneração de electricidade em Portugal são definidos pelo decreto-lei nº225/2007, como se apresenta na tabela 21.

Tabela 21 – Tarifas de electricidade em Portugal.

Fonte	Tarifa	Tipo de Biomassa
Decreto Lei nº 225/2007	109 €/MWh	Biomassa florestal até 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	107 €/MWh	Biomassa florestal + de 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	102 €/MWh	Biomassa animal + de 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	104 €/MWh	Biomassa animal até 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	53 €/MWh	RSU (vertente queima) + de 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	54 €/MWh	RSU (vertente queima) até 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	117 €/MWh	(Biogás dig. Anaeróbia RSU/ETAR efluentes pecuária e agro-alimentar) + de 5 MW
Decreto Lei nº 225/2007	115 €/MWh	(Biogás dig. Anaeróbia RSU/ETAR efluentes pecuária e agro-alimentar) até 5 MW

O decreto-lei nº 225/2007 não menciona qual a tarifa a ser aplicada quando a electricidade é produzida a partir das culturas energéticas. No presente estudo optou-se por considerar, para este caso concreto, o mesmo valor aplicado à biomassa florestal (107 €/MWh).

Para propósitos de comparação, indicam-se na tabela 22 as tarifas *feed-in* aplicadas para o caso particular da biomassa em vários países da UE.

Tabela 22 – Tarifas *feed-in* para a biomassa em vários países da UE. Fonte: <http://www.energy.eu/#feedin>

País	Tarifa
Áustria	60 – 160 €/MWh
França	125 €/MWh
Alemanha	80 – 120 €/MWh

Grécia	70 – 80 €/MWh
Itália	200 – 300 €/MWh
Luxemburgo	103 – 128 €/MWh
Espanha	107 – 158 €/MWh
Reino Unido	120 €/MWh

Os valores indicados na tabela 22 são mencionados para a biomassa em geral, não sendo possível obter os valores discriminados para cada fonte de biomassa. Através desta referência é possível verificar que existem vários países como a França, Espanha e Itália que apresentam tarifas *feed-in* superiores às praticadas em Portugal.

7.3.8. Custos externos

Os custos externos dependem de vários factores, nomeadamente do tipo e idade da central, do combustível utilizado, a existência e eficiência de sistemas de controlo e tratamento de emissões, entre outros (Abreu, 2006). Foram obtidos os seguintes dados referentes aos custos externos de uma central de biomassa:

Tabela 23 – Custos externos associados às centrais de biomassa.

Autor	Custos ambientais
European Commission (2003)	1-2 cent €/kWh
Mirasgedis <i>et al.</i> (2000)	12.9 m€/kWh
Roth e Ambs (2004)	1.30 cent €/kWh
Sáez <i>et al.</i> (1998)	-50.11 a -126.36 mECU/kWh (Central de 20 MW)

O valor referente à fonte da *European Commission* (2003) foi obtido através da metodologia *ExternE*. Os dados avaliados para obter este valor foram: a saúde humana (mortalidade e doença); efeitos nas colheitas agrícolas; efeitos nas construções (materiais dos edifícios); aquecimento global (provocado pelos gases com efeito de estufa); ecossistemas e perdas de amenidade. No estudo realizado por Sáez *et al.* (1998) para determinar o valor total dos custos externos associados a uma central de biomassa, estes autores avaliaram os impactos

que consideravam mais relevantes: emprego; efeitos na saúde; fixação de CO₂ e a erosão do solo. Por sua vez, os impactos considerados por Mirasgedis *et al.* (2000) foram: mortalidade; morbidez; acidentes de trabalho; impactos na agricultura; impactos materiais e aquecimento global. De acordo com Roth e Ambs (2004), o valor estimado para os custos externos associados as centrais de biomassa, teve em consideração as emissões de poluentes; segurança no fornecimento de energia; uso da terra e o uso de água.

Como já foi anteriormente referido, a metodologia desenvolvida no âmbito do programa *ExternE* (Externalidades de Energia) é a principal referência internacional para as avaliações monetárias dos encargos ambientais bem como a internalização dos custos externos relacionados com o sector energético. Desse modo, no presente estudo, o valor utilizado respeitante aos custos externos da biomassa em Portugal, foi de 1-2 cent €/kWh.

7.3.9. Eficiência de conversão

A eficiência de conversão reflecte a razão entre o valor energético dos combustíveis utilizados e a energia útil (electricidade e/ou calor) deles extraídos. A eficiência varia de acordo com o tipo de combustível e a tecnologia de conversão utilizada. Estima-se que as centrais termoeléctricas convencionais convertem apenas 1/3 da energia do combustível em energia eléctrica. O restante, são perdas sob a forma de calor, com consequências ambientais óbvias derivado desse efeito (Martins, 2004). A cogeração, que consiste na conversão de um combustível em electricidade e calor, é indicada como um processo que permite aumentar a eficiência nos processos de produção de electricidade. Neste processo de cogeração de energia eléctrica e calor, em que mais de 4/5 da energia do combustível é convertida em energia utilizável, resultam benefícios financeiros e ambientais. É considerado que a produção de energia através da cogeração permite um aproveitamento energético superior a 80% (Dias, nd).

É indicado que as centrais de cogeração de bioenergia que utilizam as turbinas de vapor, apresentam uma eficiência eléctrica de 20% e uma eficiência térmica de 65%. No caso das centrais de cogeração que utilizam gaseificadores, é apontado uma eficiência térmica de 53% e uma eficiência eléctrica de 25% (NEEDS, 2008). As eficiências globais situam-se na faixa de

60% a 75% para a combustão directa convencional de biomassa florestal e entre os 65% e 80% para a gaseificação. No presente estudo, não vai ser considerado o caso da cogeração, uma vez que a análise remete-se apenas à produção de electricidade. Mas para um trabalho futuro, seria interessante investigar este processo, já que apresenta a possibilidade de valorizar as perdas térmicas ocorridas durante a produção energética.

De acordo com Martins (2004), no caso da biomassa sólida em geral, a eficiência de conversão sem cogeração, através do ciclo a vapor situa-se entre os 18% a 20%. Os motores a gás sem cogeração apresentam uma eficiência de conversão de 30 % a 40 %, e as turbinas a gás rondam entre 20% a 30%. No caso da queima directa para a produção eléctrica, espera-se uma eficiência de 27.7% em 2010 (DEEC/FCTUC (2006)). É também referido que a gaseificação e a combustão directa são dos processos mais eficientes na conversão da biomassa florestal em energia final.

No caso da combustão de **culturas energéticas**, a eficiência alcançada é de 40%, e através da gaseificação de culturas energéticas a eficiência conseguida atinge os 56% (DEEC/FCTUC (2006)).

Para os biocombustíveis gasosos (RSU), a eficiência (sem cogeração) para motores a gás é de 30% a 40% e de 20% a 30% para turbinas a gás. Segundo outra fonte (Henriques, 2004) para os **resíduos sólidos urbanos** aponta-se para uma eficiência de 30% alcançada pela gaseificação, enquanto a utilização do ciclo a vapor apresenta uma eficiência de 37%.

7.3.10. Parâmetros económicos

Os parâmetros económicos variam de acordo com a estrutura económica dos países. Parâmetros como as taxas de desconto e inflação podem afectar a avaliação económica.

- ***Taxa de desconto***

O parâmetro económico que afecta tanto os custos fixos e os custos variáveis das centrais é a taxa de desconto, e representa a taxa de juro utilizada para se apurar o valor actual de fluxos

monetários futuros. A taxa de desconto a considerar é dependente das estruturas económicas dos países. Os efeitos da taxa de desconto variam de acordo com a vida económica da central e os valores de custo total (Sevilgen *et al.*, 2005). Os estudos realizados na área da biomassa apontam para a utilização dos valores indicados na tabela 24:

Tabela 24 – Taxa de desconto associada a projectos económicos de biomassa.

Autor	Taxa de desconto
Mirasgedis (2000)	6%
El-Kordy <i>et al.</i> (2002)	12%
Carapellucci (2002)	10%
Roth <i>et al.</i> (2004)	5.50%
Faaij <i>et al.</i> (1997)	3%
Gasol (2010)	3%
DEEC/FCTUC (2006)	6.22%
Ericsson <i>et al.</i> (2009)	6%

Se esta taxa de desconto for fixada muito alta, fará com que se rejeite alguns projectos que poderão ser economicamente interessantes, se ela for fixada muito baixa, fará com que se aceitem alguns projectos que se poderão revelar pouco atractivos. Como os valores indicados para a taxa de desconto não são uniformes e uma vez que depende do investidor, optou-se por considerar uma taxa de desconto de 10% conforme sugerido em publicações da Agência Internacional de Energia (IEA, 2005).

▪ **Taxa de inflação**

A inflação representa o crescimento contínuo e generalizado dos preços dos bens e é calculada como a taxa de variação do Índice de Preços no Consumidor (IPC). Os dados relativos à taxa de inflação são apresentados no anexo I.

7.4. Avaliação de projectos de Biomassa em Portugal

Neste estudo serão considerados 4 factores de custo: **custo de capital**, **custo de manutenção e operação**, **custos de combustível** e **custos externos**. Em termos económicos distinguem-se normalmente os **custos totais** dos **custos fixos** e **variáveis**. Os primeiros representam a parte da despesa que não é afectada pelo nível de produção enquanto os custos variáveis representam a parte das despesas que variam com a produção. Os custos totais são o somatório destes dois custos. Os custos fixos segundo El-Kordy *et al.* (2002) consistem no custo de capital e de O&M e são independentes da quantidade de produção, enquanto o custo variável consiste no custo de combustível e depende da quantidade de produção. O **custo total anual privado** associado a um determinado sistema de geração de electricidade resulta da soma dos custos financeiros calculados para a central. O **custo total externo** também se obtém da mesma forma. Enquanto o **custo total anual social** resulta da soma dos custos privados e externos (Mirasgedis *et al.*, 2000).

Numa primeira fase da análise, foi necessário converter os custos futuros (F), relativos aos custos de investimento, O&M e de combustível, num valor actual ou presente (P) tendo em consideração o período de tempo (n anos) e a taxa de desconto (r) de acordo com a equação:

Equação (1)

$$P = \frac{F}{(1+r)^n}$$

O custo financeiro total em €/MWh (CF) é dado pelo somatório dos (i) I – custos de investimento, incluindo despesas iniciais de equipamento, projecto, engenharia, etc; (ii) $O\&M$ – custos anuais de operação e manutenção, incluindo também salários, inspecções e seguros e (iii) C – custos anuais de combustíveis em função da produção anual de energia da central (E) (S.Mirasgedis *et al.*, 2000).

Equação (2)

$$CF = \frac{I + O\&M + C}{E}$$

Uma vez que no caso em estudo também são considerados os custos externos para permitir uma avaliação mais realista dos custos de uma central de biomassa, irá ser utilizada a

equação 3 para determinar os custos sociais associados a este tipo de central. O custo social de produção de energia (**CS**) é obtido pelo somatório dos custos externos (**X**) e privados (**CF**).

Equação (3)

$$CS = CF + X$$

Este estudo dá ênfase ao caso das culturas energéticas, uma vez que ainda é um mercado relativamente novo em Portugal. Várias culturas têm sido propostas ou estão em fase de teste para a produção energética em Portugal. As principais culturas consideradas como aqueles que apresentam maior potencial energético são: Cardo (*Cynara cardunculus L.*); Miscanto (*Miscanthus sinensis (Anders)*); Cana-do-reino (*Arundo donax L.*); Eucalipto (*Eucalyptus*); Salgueiro (*Salix viminalis and Salix dasyclados*); Choupo (*poplar*); Colza (*Brassica napus L. spp oleífera*) e o Girassol (*Helianthus annus L. and Glycine max L.*) (Brás *et al.*, 2008).

No presente estudo, a espécie a ser considerada foi o *miscanthus*. Esta cultura foi indicada como uma das mais atractivas em territórios mediterrânicos, uma vez que apresenta uma boa adaptação ao clima e a este tipo de solos. O seu alto rendimento para a produção de biomassa, comprovado em diversos países da Europa, permite seleccionar esta cultura como umas das mais promissoras para a produção dedicada em terras de pousio (Long *et al.*, 2008). Já foi referido no capítulo das culturas energéticas que o *miscanthus* é uma cultura com reduzido impacto ambiental, uma vez que o seu sistema alargado de raízes captura os nutrientes, enquanto os caules servem de abrigo para a vida selvagem. Esta planta possui uma elevada produtividade e uma reduzida necessidade de nutrientes, energia ou água, tornando-a uma interessante opção para atingir o objectivo de redução de carbono (Santos, 2009). Foi também seleccionado o processo da gaseificação como a tecnologia de conversão energética a adoptar, uma vez que o combustível resultante é mais limpo do que na combustão directa e ainda permite uma diminuição das emissões das partículas para o meio ambiente, sem tanta necessidade de controlo da poluição (Ferreira, 2008).

A análise económica pretende ir mais longe do que a análise financeira, incluindo as externalidades na avaliação. Os dados considerados na avaliação económica e descritos na tabela 25, basearam-se na selecção de dados retirados da literatura como descrito no subcapítulo

anterior. O cálculo foi efectuado recorrendo a um modelo desenvolvido em Excel, apresentado no anexo III.

Tabela 25 – Dados considerados para o caso de estudo das culturas energéticas em Portugal.

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.56	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	107	€/MWh
Factor de carga	0.44	–	Custos		
			Capital	1464	€/kW
			O&M fixos	43.4	€/kWano
			O&M variáveis	0.004	€/kWh
			Combustível	25.2	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

(1) A cultura analisada foi a cultura de *miscanthus*.

(2) A tecnologia de conversão considerada foi a gaseificação.

(3) Custos de capital de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(4) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(5) Custo de combustível de acordo com Ericsson *et al.* (2009).

(6) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

7.4.1. Resultados e Conclusões

A tabela 26 apresenta os resultados da simulação proposta.

Tabela 26 – Resultados para o cenário hipotético do *miscanthus*.

Custos reportados ao instante zero	Valor	Unidade	Custos totais	Valor	Unidade
Investimento	21.960.000,00	€	Financeiros	51.621.119,80	€
O&M	7.511.210,90	€	Sociais	58.733.701,67	€
Combustível	22.149.909,00	€	VAL (Financeiro)	1.046.441,60	€
Externos	7.112.581,89	€	VAL (Total)	- 6.066.140,27	€
Vendas	52. 667.561,40	€			

(1) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

Os resultados mostram que os custos de investimento bem como os custos de combustível representam a maior quota do custo financeiro total. Quando os custos externos são incluídos na análise, o VAL torna-se negativo.

Obtiveram-se custos financeiros totais iguais a 104.87 €/MWh, para a taxa de desconto de 10%. Os custos de combustível representam cerca de 43% e os custos de investimento 42%, os restantes 15% correspondem aos custos de O&M (Figura 23).

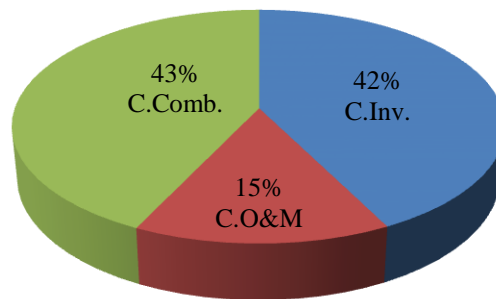


Figura 11 – Distribuição dos custos para as culturas energéticas com uma taxa de 10%.

Quando os custos externos são incluídos, os custos de combustível e de investimento continuam a apresentar a maior quota do custo financeiro total, e passando os custos externos a 9% dos custos totais estimados.

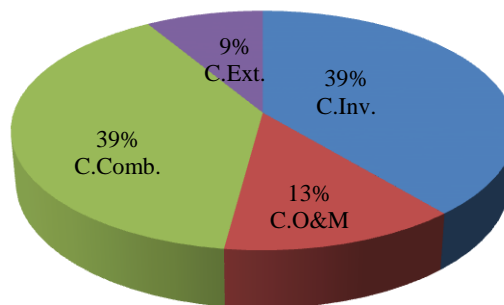


Figura 12 – Distribuição dos custos para as culturas energéticas com uma taxa de 10%.

Para fins comparativos, outras simulações foram conduzidas para diferentes tipos de biomassa, com os dados apresentados na tabela 27 e 28 e os resultados apresentados e analisados na tabela 29.

Tabela 27 – Dados considerados para a biomassa florestal para o caso particular de Portugal.

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.40	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	107	€/MWh
Factor de carga	0.44	–	Custos		
			Capital	1464	€/kW
			O&M fixos	43.4	€/kWano
			O&M variáveis	0.004	€/kWh
			Combustível	18.0	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

(1) A tecnologia de conversão considerada foi a gaseificação.

(2) Custos de capital de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(3) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(4) Custos de combustível de acordo com Ericsson *et al.* (2009).

(5) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

Tabela 28 – Dados considerados para os RSU para o caso particular de Portugal.

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.30	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	53	€/MWh
Factor de carga	0.59	–	Custos		
			Capital	1464	€/kW
			O&M	43,4	€/kWano
			O&M	0.004	€/kWh
			Combustível	9.0	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

(1) A tecnologia de conversão considerada foi a gaseificação.

(2) Custos de Investimento de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(3) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(4) Custos de combustível de acordo com DEEC/FCTUC (2006).

(5) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

Tabela 29 – Resultados para o cenário hipotético da biomassa florestal e do RSU em Portugal.

Biomassa Florestal			Resíduos Sólidos Urbanos		
Custos totais	Valor	Unidade	Custos totais	Valor	Unidade
Financeiros	51.401.858,06	€	Financeiros	49.905.061,18	€
Sociais	58.449.780,11	€	Sociais	59.426.221,93	€
VAL (Financeiro)	786.907,33	€	VAL (Financeiro)	- 14.983.156,67	€
VAL (Total)	- 6.261.014,72	€	VAL (Total)	- 24.504.317,42	€

(1) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

De acordo com os resultados da simulação da análise das diversas fontes de biomassa e baseado nos dados assumidos, verifica-se que o valor mais elevado para os custos financeiros e sociais é obtido para as culturas energéticas e para a biomassa florestal, com os resíduos sólidos urbanos a apresentarem o valor mais baixo. O valor obtido para os custos de combustível reportados ao momento zero é igual para a biomassa florestal (45.0 €/MWh), e para as culturas energéticas dedicadas (45.0 €/MWh), apresentando o valor mais baixo para os RSU (30.0 €/MWh). Os custos de O&M também são aproximadamente iguais para a biomassa florestal e para as culturas energéticas dedicadas em comparação com os RSU, que apresentam mais uma vez os custos mais baixos.

Contudo, os valores negativos obtidos para os RSU devem-se principalmente à reduzida tarifa *feed-in*. De facto, a presente tarifa *feed-in* é de 54 €/MWh para os RSU, um valor, claramente inferior do que o praticado para a biomassa florestal e as culturas energéticas. As diferenças no valor do VAL explicam-se em grande parte pelas diferentes tarifas *feed-in* praticadas. Torna-se assim evidente que o aumento das tarifas aplicadas contribui para o aumento do interesse nestes projectos e é um factor chave para a sua viabilização. Os custos externos apesar de representarem um valor inferior a qualquer uma das outras componentes de custos apresentadas, conduzem a um valor do VAL (Total) negativo para as culturas energéticas e para a biomassa florestal, reduzindo também significativamente os valores do VAL para os RSU.

Obtiveram-se custos financeiros totais para a biomassa florestal iguais a 105.4 €/MWh, em que os custos de investimento representam 46% desse valor, os custos de combustível 29% e os restantes 25% dizem respeito aos custos de O&M, como demonstrado na figura 13.

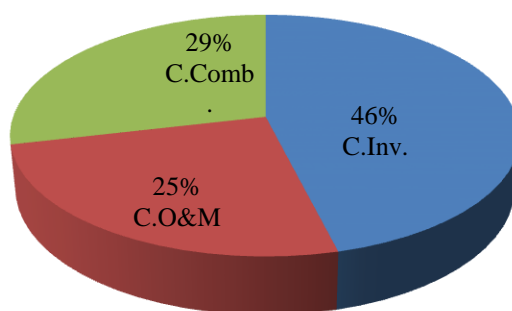


Figura 13 – Distribuição dos custos para a biomassa florestal com uma taxa de 10%.

Quando os custos externos são incluídos, os custos de investimento passam a representar 41%, os custos de combustível 26%, em seguida os custos de O&M com 23% e por fim os custos externos com uma quota de 10% do valor total.

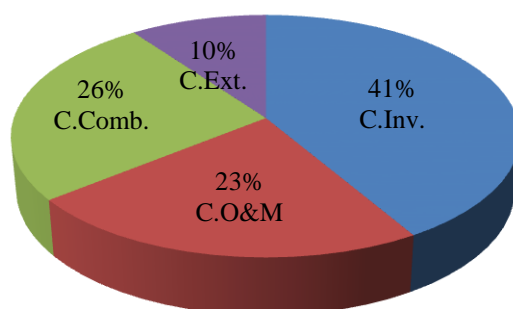


Figura 14 – Distribuição dos custos para a biomassa florestal para a taxa de 10%, considerando custos externos.

Obtiveram-se custos financeiros totais para os RSU iguais a 75.7 €/MWh, em que os custos de investimento representam 46% desse valor, os custos de combustível 29% e os restantes 25% dizem respeito aos custos de O&M (Figura 15).

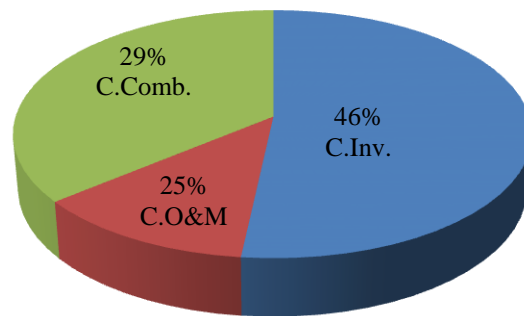


Figura 15 – Distribuição dos custos para os RSU com uma taxa de 10%.

Quando se incluem os custos externos, os custos de investimento passam a representar 41%, os custos de combustível 26%, em seguida os custos de O&M com 23% e por fim, os custos externos que representam 10% da quota dos custos totais.

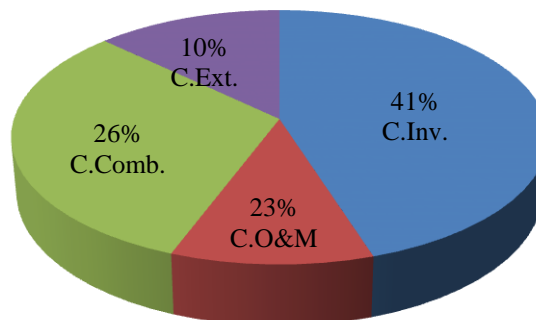


Figura 16 – Distribuição dos custos para os RSU com uma taxa de 10%, considerando custos externos.

Verifica-se, que a distribuição dos custos relativos à biomassa florestal e aos RSU são iguais, cada componente de custo tem o mesmo peso na distribuição do custo final.

De forma a permitir uma comparação da geração eléctrica da biomassa com outras formas de energia, foram usados dados obtidos no estudo Abreu, (2006) para a energia eólica e ciclo combinado a gás. A tabela 30 apresenta os custos financeiros e sociais para um parque eólico, para uma central a gás natural e para uma central usando culturas energéticas em Portugal.

Tabela 30 – Custos financeiros e sociais de uma central a gás natural, de um parque eólico e de uma central de biomassa proveniente de culturas energéticas em Portugal. Fonte: Elaboração própria com base em Abreu, 2006.

Parque eólico			Central a gás natural			Central de biomassa		
Custo	Valor	Unidade	Custo	Valor	Unidade	Custo	Valor	Unidade
Inv.	1150.3	€/kW	Inv.	490.4	€/kW	Inv.	1464.0	€/kW
O&M	14.7	€/kW	O&M	22.5	€/kW	O&M	43.4	€/kW
Comb.	-	€/MWh	Comb.	13.9	€/MWh	Comb.	25.2	€/MWh
Financeiro	77.7	€/MWh	Financeiro	34.7	€/MWh	Financeiro	104.9	€/MWh
Social	78.6	€/MWh	Social	104.3	€/MWh	Social	119.3	€/MWh

(1) Deve-se ter em atenção que os dados obtidos para a eólica e gás remetem-se ao ano de 2006. Estes dados são apenas apresentados para fins comparativos.

(2) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

Tanto as centrais de biomassa como os parques eólicos considerados apresentam custos de investimento mais elevados do que os obtidos para as centrais de gás natural. Este facto juntamente com o custo do gás leva a um menor custo financeiro para as centrais de gás natural. Contudo, tomando em consideração as externalidades, a energia eólica apresenta os custos sociais mais baixos. A central de biomassa é a que apresenta os maiores custos financeiros, sendo os custos sociais totais claramente afectados por esta componente. Isto deve-se ao facto do custo de combustível ser o segundo factor que mais contribui para os custos finais totais, a seguir ao custo de investimento. Porém, tomando em consideração que os valores expostos na tabela 4 foram obtidos para o ano de 2006 e como o preço do gás tem sofrido aumentos até aos dias de hoje, este facto pode mudar a estrutura dos custos e inverter a situação. Como nota final, deve ser realçado o facto de a biomassa ser uma energia renovável e como tal está protegida por lei e benefícios a partir das tarifas *feed-in*, reduzindo assim o risco de investimento. Mas já ficou aqui demonstrado que os valores praticados actualmente nas tarifas *feed-in* podem não ser suficientes para atrair os investidores.

Assumindo uma substituição directa e que a geração de electricidade a partir da biomassa – culturas energéticas liberta zero emissões, as emissões evitadas a partir deste tipo de investimento podem ser assim calculadas, de acordo com a equação 4. O factor de emissões médio para o sector eléctrico e de produção de calor é estimado ser 311 g CO₂ equivalente/kWh consumidos (Ferreira, P. e Vieira, F., 2010).

Equação (4)
$$Emissões.evitadas = Factor.de.emissões \times Produção.anual$$

Para o caso específico das culturas energéticas e de acordo com a equação 4, verificamos que as emissões evitadas rondam os 17980.78 ton CO₂ equivalente/ano;

Emissões evitadas (Culturas Energéticas): $0.311 \times 57816 = 17980.78$ ton CO₂ equivalente/ano;

Deve-se evidenciar que esta informação apenas permite uma estimativa grosseira das emissões evitadas.

7.4.2. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste num estudo efectuado com o objectivo de determinar o grau de variação dos resultados e dos custos referentes ao projecto considerado face a alterações nas variáveis mais relevantes para a determinação da viabilidade. A análise de sensibilidade permite, desta forma, traçar diversos cenários, e verificar até que ponto a viabilidade do projecto se mantém face a alterações nas variáveis mais importantes.

Devido à pouca informação disponível, uma análise de sensibilidade é apresentada em seguida, focando as variáveis consideradas no cenário base.

- **Taxa de desconto**

Nesta simulação fez-se variar a taxa de desconto para os valores de 12%, 8% e 5%. Uma elevada taxa de desconto, teoricamente, é favorável para tecnologias com baixos custos de investimento e custos variáveis elevados (Ferreira, P. e Vieira, F., 2010). Como apresentado anteriormente na tabela 25, a biomassa tem um custo de capital elevado, o que significa que os resultados financeiros do projecto serão favorecidos pela redução da taxa de desconto considerada.

Os resultados obtidos demonstram que o aumento da taxa de desconto provoca um aumento dos custos uniformes de investimento por MWh. Uma vez que os restantes custos foram considerados constantes ao longo do ciclo de vida, o aumento da taxa de desconto e consequente aumento dos custos de investimento por MWh origina um agravamento dos custos totais financeiros.

Tabela 31 – Variação dos custos com a taxa de desconto para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos	Taxa de desconto	Valor	Valor de custos	Unidades
Investimento	5%		30.48	
	8%	1464.0 €/kW	38.69	
	10%		44.61	
	12%		50.85	
5%	15.26			
O&M	8%	43.4 €/kWano	15.26	
	10%	0,004 €/kW hora	15.26	
	12%		15.26	€/MWh
Combustível	5%		45	
	8%	25.2 €/MW hora	45	
	10%		45	
	12%		45	
5%	14.5			
Externos	8%	14.5 €/kW hora	14.5	
	10%		14.5	
	12%		14.5	

O gráfico seguinte mostra a variação dos custos financeiros totais obtidos em €/MWh com a taxa de desconto. Como os custos de investimento são o único factor a apresentar alterações com a variação da taxa de desconto, verifica-se que este custo influencia o valor final dos custos financeiros totais. Quanto maior a taxa de desconto, maior o custo financeiro total, como indicado na figura 17.

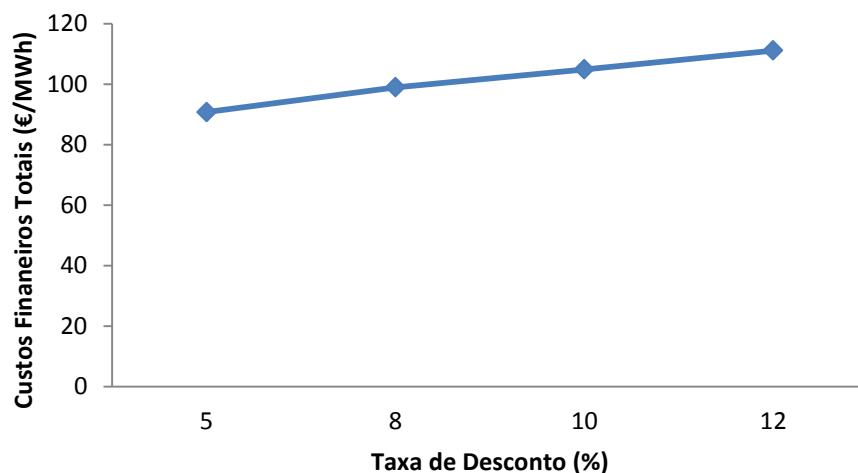


Figura 17 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com a taxa de desconto.

É apresentado na tabela 32 a variação dos custos totais obtidos em euros com a taxa de desconto.

Tabela 32 – Variação dos custos com a taxa de desconto para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Taxa de desconto	Custos totais	Valor	Unidade
12%	Financeiros	47.983.422,08	€
	Sociais	54.223.703,02	€
	VAL (Financeiro)	- 1.775.113,35	€
	VAL (Total)	- 8.015.394,29	€
8%	Financeiros	56.166.268,48	€
	Sociais	64.368.753,33	€
	VAL (Financeiro)	4.571.854,65	€
	VAL (Total)	- 3.630.630,20	€
5%	Financeiros	65.378.141,44	€
	Sociais	75.789.585,40	€
	VAL (Financeiro)	11.716.979,95	€
	VAL (Total)	1.305.539,99	€

Os resultados mostram que à medida que a taxa de desconto diminui, o VAL financeiro e o VAL total vão-se tornando positivos, enquanto o valor actual dos custos financeiros e o custo social e das vendas vão aumentando o seu valor. Os resultados também ilustram a importância

desta variável e demonstram como a economia da biomassa é fortemente afectada pelo uso de altas taxas de desconto.

▪ **Factor de carga**

Nesta simulação variou-se o factor de carga para os valores de 20%, 30% e 70%. Os resultados são apresentados na tabela 33.

Tabela 33 – Variação do factor de carga para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos	Factor de carga	Taxa de desconto	Valor	Variação	Unidades
Investimento	20%			98.15	
	30%		1464.0 €/kW	65.43	
	70%			28.04	
O&M	20%			28.77	
	30%		43.4 €/kWano 0,004 €/kW hora	20.51	
	70%	10%		11.08	€/MWh
Combustível	20%			45	
	30%		25.2 €/MW hora	45	
	70%			45	
Externos	20%			14.5	
	30%		14.5 €/kW hora	14.5	
	70%			14.5	

Os dados obtidos mostram uma diminuição dos custos de investimento e de O&M à medida que o factor de carga aumenta, uma vez que o incremento do factor de carga leva a um aumento da produção anual. Dessa forma, quanto maior a produção anual, menores os custos por €/MWh. O gráfico seguinte mostra a variação dos custos financeiros totais obtidos em €/MWh com o factor de carga. Como os custos de investimento e os custos de O&M são os dois factores a apresentar alterações com a variação do factor de carga, verifica-se que estes custos influenciam o valor final dos custos financeiros totais. Quanto maior o factor de carga, menor o custo financeiro total em €/MWh e o valor das vendas.

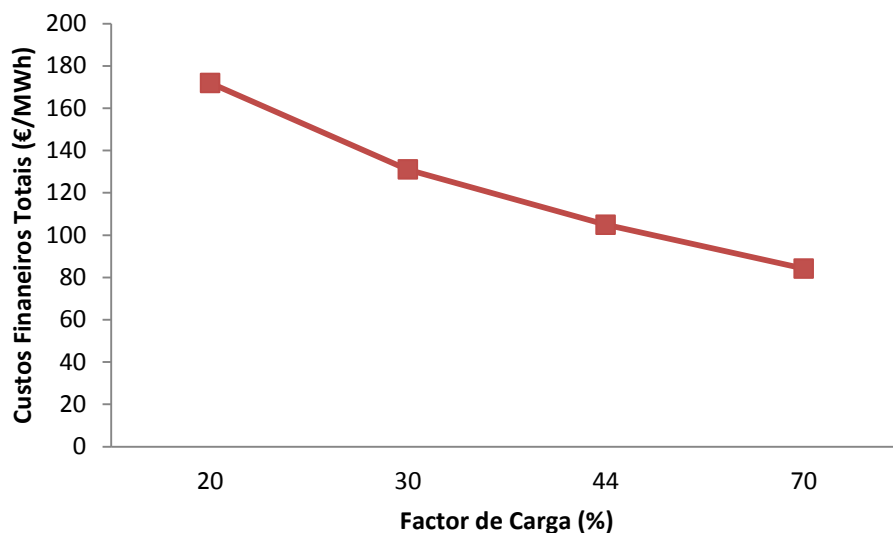


Figura 18 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com o factor de carga.

Por outro lado, os dados obtidos na tabela 34 demonstram que à medida que o factor de carga aumenta, o valor actual dos custos financeiros e sociais vai também aumentando, originado pelo aumento do valor dos custos de O&M variáveis. No entanto o aumento do volume de vendas compensa perfeitamente o aumento dos custos, permitindo obter um VAL positivo para factores de carga superiores a 70%.

Tabela 34 – Variação dos custos totais com o factor de carga para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Factor de carga	Custos totais	Valor	Unidade
20%	Financeiros	38.465.416,25	€
	Sociais	41.698.408,02	€
	VAL (Financeiro)	- 14.525.615,62	€
	VAL (Total)	- 17.758.607,39	€
30%	Financeiros	43.946.959,39	€
	Sociais	48.796.447,04	€
	VAL (Financeiro)	- 8.037.258,44	€
	VAL (Total)	- 12.886.746,09	€
70%	Financeiros	65.873.131,94	€
	Sociais	77.188.603,13	€
	VAL (Financeiro)	17.916.170,29	€
	VAL (Total)	6.600.699,10	€

- **Eficiência de conversão**

Nesta simulação foram alterados os valores da eficiência de conversão para 20%, 30% e 70%. Os resultados são apresentados na tabela 35.

Tabela 35 – Variação da eficiência de conversão para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos	Eficiência de Conversão	Taxa de desconto	Valor	Variação	Unidades
Investimento	20%			44.61	
	30%		1464.0 €/kW	44.61	
	70%			44.61	
O&M	20%			15.26	
	30%		43.4 €/kWano 0,004 €/kW hora	15.26	
	70%	10%		15.26	€/MWh
Combustível	20%			126	
	30%		25.2 €/MW hora	84	
	70%			36	
Externos	20%			14.5	
	30%		14.5 €/kW hora	14.5	
	70%			14.5	

Da análise de sensibilidade verifica-se que o aumento da eficiência de conversão não altera o valor dos custos de investimento nem o de O&M, como era de esperar. Porém, verifica-se uma diminuição dos custos de combustível à medida que a eficiência de conversão aumenta e será possível produzir mais electricidade com a mesma quantidade de combustível.

O gráfico seguinte mostra a variação dos custos financeiros totais obtidos em €/MWh com a eficiência de conversão. Como os custos de combustível é o único factor a apresentar alterações com a variação da eficiência de conversão, verifica-se que este custo influencia o valor final dos custos financeiros totais. Como seria de esperar, uma vez que um aumento da eficiência se traduz em menos perdas. Quanto maior a eficiência de conversão, menor o custo financeiro total.

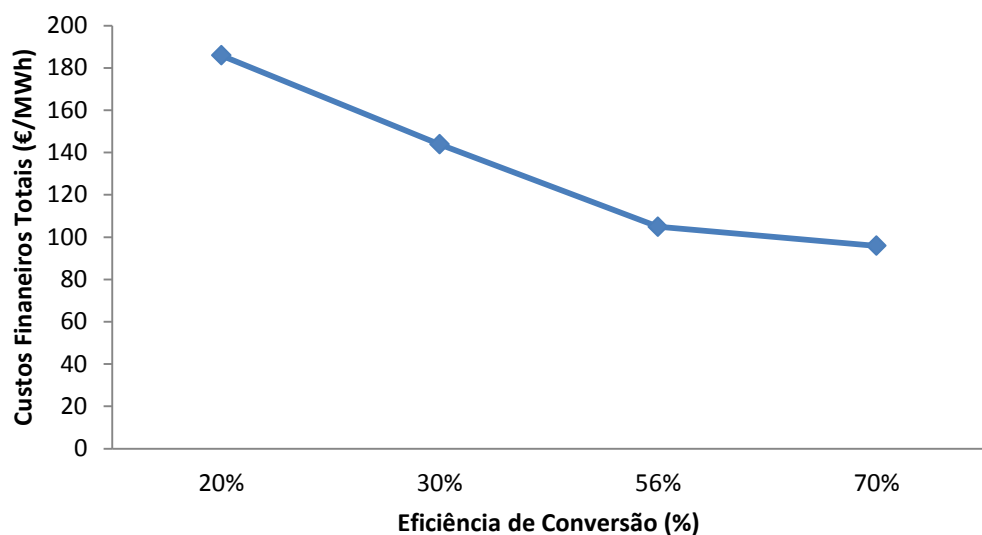


Figura 19 – Representação gráfica da variação dos custos financeiros totais com a eficiência de conversão.

A seguir apresenta-se a variação dos custos totais obtidos em euros com a eficiência de conversão.

Tabela 36 – Variação dos custos com a eficiência de conversão para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Eficiência de conversão	Custos totais	Valor	Unidade
20%	Financeiros	91.490.955,98	€
	Sociais	98.603.537,87	€
	VAL (Financeiro)	- 38.823.394,58	€
	VAL (Total)	-45.935.976,47	€
30%	Financeiros	70.817.707,58	€
	Sociais	77.930.289,47	€
	VAL (Financeiro)	- 18.150.146,18	€
	VAL (Total)	- 25.262.728,07	€
70%	Financeiros	47.191.137,98	€
	Sociais	54.303.719,87	€
	VAL (Financeiro)	5.476.423,42	€
	VAL (Total)	- 1.636.158,47	€

De acordo com os resultados, demonstra-se que mesmo atingindo uma eficiência de conversão de 70%, o VAL social continuaria a ser negativo. Apenas com eficiência de conversão igual a 80% é que seria possível tornar o VAL social positivo.

▪ **Capacidade Instalada**

Nesta simulação foram alterados os valores da capacidade instalada para 30 MW e 50 MW. Os resultados são apresentados na tabela 37.

Os resultados demonstram que não existe alterações nos custos por €/MWh á medida que se fazem variações na capacidade instalada na central, uma vez que se assume uma relação linear entre a potência instalada e o custo de capital. Contudo ao analisar a tabela 38, verifica-se que quanto maior a capacidade instalada maior os custos financeiros, bem como os custos sociais em euros. Isto deve-se ao facto de ser necessário um maior investimento para se aumentar a capacidade instalada de uma central de biomassa.

Tabela 37 – Variação dos custos com a capacidade instalada para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos	Capacidade Instalada	Taxa de desconto	Valor	Variação	Unidades
Investimento	30 MW	10%	1464.0 €/kW	44.61	€/MWh
	50 MW			44.61	
O&M	30 MW		43.4 €/kWano	15.26	
	50 MW		0,004 €/kW hora	15.26	
Combustível	30 MW		25.2 €/MW hora	45.00	
	50 MW			45.00	
Externos	30 MW	14.5 €/kW hora	14.45		
	50 MW		14.45		

Tabela 38 – Variação dos custos com a capacidade instalada para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Capacidade instalada	Custos totais	Valor	Unidade
30 MW	Financeiros	103.242.239,60	€
	Sociais	117.467.403,30	€
	VAL (Financeiro)	2.092.883,24	€
	VAL (Total)	- 12.132.280,54	€
50 MW	Financeiros	172.070.399,30	€
	Sociais	195.779.005,60	€
	VAL (Financeiro)	3.488.138,73	€
	VAL (Total)	- 20.220.467,57	€

- **Tarifa *feed-in***

Nesta simulação foram alterados os valores da tarifa *feed-in* para os valores de 109, 111 e 120 €/MWh. Os resultados são apresentados na tabela 39.

Tabela 39 – Variação dos custos com a tarifa *feed-in* para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Tarifa	Custos totais	Valor	Unidade
109 €/MWh	Financeiros	51.621.119,78	€
	Sociais	58.733.701,67	€
	VAL (Financeiro)	2.030.882,02	€
	VAL (Total)	-5.081.699,87	€
111 €/MWh	Financeiros	51.621.119,78	€
	Sociais	58.733.701,67	€
	VAL (Financeiro)	3.015.322,42	€
	VAL (Total)	-4.097.259,47	€
120 €/MWh	Financeiros	51.621.119,78	€
	Sociais	58.733.701,67	€
	VAL (Financeiro)	7.445.304,22	€
	VAL (Total)	332.722,33	€

Os custos de investimento, O&M e de combustível por MWh não apresentam oscilações à medida que a tarifa praticada varia, fazendo com que os custos financeiros e sociais permaneçam constantes. Contudo na análise ao VAL verifica-se que à medida que o valor da tarifa praticada aumenta, o projecto torna-se mais atractivo, uma vez que aumenta o valor total das vendas. Um dos principais objectivos desta simulação foi estimar a tarifa *feed-in* requerida para tornar o projecto financeiramente interessante do ponto de vista de um investidor privado. Sendo assim, e tendo em atenção os dados considerados no estudo, apenas com uma tarifa de 120 €/MWh seria possível atingir um valor positivo tanto no VAL financeiro como no VAL total.

- *Custos O&M*

Esta simulação teve o propósito de verificar o impacto dos custos de O&M no custo final. Os resultados são apresentados na tabela 40.

Tabela 40 – Variação dos custos de O&M para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos de O&M	Custos totais	Valor	Unidade
32.32 €/kW ano 0.0020 €/kWh	Financeiros	49.221.725,09	€
	Sociais	56.334.306,98	€
	Financeiros	99,99	€/MWh
	Sociais	114,45	€/MWh
	VAL (Financeiro)	3.445.836,31	€
	VAL (Total)	-3.666.745,58	€
60.00 €/kW ano 0.007 €/kWh	Financeiros	55.217.657,75	€
	Sociais	62.330.239,64	€
	Financeiros	112,18	€/MWh
	Sociais	126,63	€/MWh
	VAL (Financeiro)	-2.550.096,35	€
	VAL (Total)	-9.662.678,24	€

Os valores obtidos permitem concluir que os custos de O&M não contribuem significativamente para o custo financeiro total. Uma variação dos custos de O&M apenas origina uma pequena oscilação nos custos finais, como seria de esperar de acordo com as figuras 11-16. Um aumento de aproximadamente 30 €/kW ano origina apenas um aumento de 12 €/MWh nos custos financeiros e sociais, mas é o suficiente para tornar o VAL financeiro negativo.

- *Custos de combustível*

Esta simulação teve o propósito de verificar o impacto dos custos de combustível no custo final. Os resultados são apresentados na tabela 41.

Tabela 41 – Variação dos custos de combustível para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos de Combustível	Custos totais	Valor	Unidade
9 €/MWh	Financeiros	37.381.892,57	€
	Sociais	44.494.474,46	€
	VAL (Financeiro)	15.285.668,83	€
	VAL (Total)	8.173.086,94	€
14.4 €/MWh	Financeiros	42.128.301,64	€
	Sociais	49.240.883,53	€
	VAL (Financeiro)	10.539.259,76	€
	VAL (Total)	3.426.677,87	€
18 €/MWh	Financeiros	45.292.574,35	€
	Sociais	52.405.156,24	€
	VAL (Financeiro)	7.374.987,05	€
	VAL (Total)	262.405,16	€
21.6 €/MWh	Financeiros	48.456.847,07	€
	Sociais	55.569.428,96	€
	VAL (Financeiro)	4.210.714,33	€
	VAL (Total)	-2.901.867,56	€

Da análise de sensibilidade demonstra-se que o aumento dos custos de combustível, proporciona um aumento nos custos financeiros e sociais. Verifica-se assim uma diminuição tanto do VAL financeiro como do VAL social, chegando mesmo este último a ser negativo quando os custos de combustível atingem valores na ordem dos 21.6 €/MWh.

Quando os custos de combustível atingem valores superiores a 26 €/MWh, para além do VAL total continuar negativo, o VAL financeiro também começa a apresentar valores negativos, na ordem dos - 535.694,74 € tornando o projecto inviável.

- ***Custos de investimento***

Esta simulação teve o propósito de verificar o impacto dos custos de investimento no custo final. Os resultados são apresentados na tabela 42.

Tabela 42 – Variação dos custos de investimento para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Custos de Investimento	Custos totais	Valor	Unidade
1345 €/kW	Financeiros	49.851.119,78	€
	Sociais	56.963.701,67	€
	Financeiros	101,28	€/MWh
	Sociais	115,73	€/MWh
	VAL (Financeiro)	2.816.441,62	€
	VAL (Total)	- 4.296.140,27	€
1535 €/kW	Financeiros	52.686.119,78	€
	Sociais	59.798.701,67	€
	Financeiros	107,04	€/MWh
	Sociais	121,49	€/MWh
	VAL (Financeiro)	- 18.558,38	€
	VAL (Total)	- 7.131.140,27	€
1600 €/kW	Financeiros	53.661.119,78	€
	Sociais	60.773.701,67	€
	Financeiros	109,02	€/MWh
	Sociais	123,47	€/MWh
	VAL (Financeiro)	- 993.558,38	€
	VAL (Total)	- 8.106.140,27	€
1700 €/kW	Financeiros	55.161.119,78	€
	Sociais	62.273.701,67	€
	Financeiros	112,07	€/MWh
	Sociais	126,52	€/MWh
	VAL (Financeiro)	- 2.493.558,38	€
	VAL (Total)	- 9.606.140,27	€
1939 €/kW	Financeiros	58.746.119,78	€
	Sociais	65.858.701,67	€
	Financeiros	119,35	€/MWh
	Sociais	133,79	€/MWh
	VAL (Financeiro)	- 607.855,38	€
	VAL (Total)	- 13.191.140,27	€
2000 €/kW	Financeiros	59661119,78	€
	Sociais	66773701,67	€
	Financeiros	121,21	€/MWh
	Sociais	135,66	€/MWh

VAL (Financeiro)	- 6.993.558,38	€
VAL (Total)	- 14.106.140,27	€

Da análise de sensibilidade demonstra-se que o aumento dos custos de investimento proporciona um aumento nos custos financeiros e sociais o que conduz a que os custos forem iguais ou superiores a 1535 €/kW, o VAL financeiro toma valores negativos. O VAL total torna-se negativo quando os custos de investimento atingem valores superiores a 1055 €/kW. Os valores obtidos permitem concluir que os custos de investimento contribuem significativamente para o custo financeiro total.

▪ ***Agravamento dos Custos de O&M***

Foi efectuada uma análise à variação dos custos totais considerando taxas de crescimento dos custos de O&M de 1, 3, 5 e 8% por ano.

Tabela 43 – Agravamento dos custos de O&M para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Taxa de crescimento	Custos de O&M	Custos totais	Valor	Unidade
0%	15.26 €/MWh	Financeiros	51.621.119,78	€
		Sociais	58.733.701,67	€
		Financeiros	104.87	€/MWh
		Sociais	119.32	€/MWh
		VAL (Financeiro)	1.046.441,62	€
		VAL (Total)	- 6.066.140,27	€
1%	16.30 €/MWh	Financeiros	52.134.850,26	€
		Sociais	59.247.432,15	€
		Financeiros	105.92	€/MWh
		Sociais	120.37	€/MWh
		VAL (Financeiro)	532.711,15	€
		VAL (Total)	- 6.579.870,74	€
3%	18.73 €/MWh	Financeiros	53.329.984,65	€
		Sociais	60.442.566,54	€
		Financeiros	108.35	€/MWh
		Sociais	122.80	€/MWh

		VAL (Financeiro)	- 662.423,25	€
		VAL (Total)	- 7.775.005,14	€
		Financeiros	54.795.964,73	€
		Sociais	61.908.546,62	€
5%	21.71 €/MWh	Financeiros	111.32	€/MWh
		Sociais	125.77	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 2.128.403,33	€
		VAL (Total)	- 9.240.985,22	€
		Financeiros	57.660.532,08	€
		Sociais	64.773.113,97	€
8%	27.53 €/MWh	Financeiros	117.14	€/MWh
		Sociais	131.59	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 4.992.970,68	€
		VAL (Total)	- 12.105.552,57	€

Um agravamento dos custos de O&M origina um agravamento dos custos totais, como seria de esperar. Foram efectuadas várias simulações, mas aquela que mais se aproxima da realidade será o cenário do agravamento de 1% ao longo do tempo de vida da central, de acordo com El-Kordy *et al.* (2002). Nesse caso, considerando um agravamento de 1%, verifica-se pela tabela 43, que os custos de O&M sofrem um acréscimo de 1.04 €/MWh em relação ao cenário base. Com uma taxa de crescimento de 3% o VAL (financeiro) torna-se negativo.

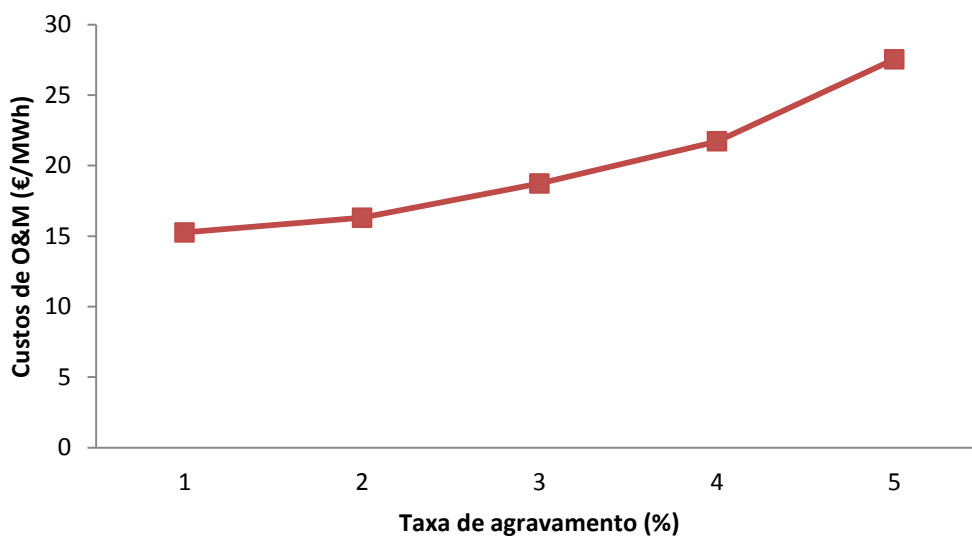


Figura 20 – Representação gráfica do agravamento dos custos de O&M.

▪ ***Agravamento dos Custos de Combustível***

Foi efectuada uma análise à variação dos custos totais considerando taxas de crescimento dos custos de combustível de 1, 3, 5 e 8% por ano.

Tabela 44 – Agravamento dos custos de combustível para o caso concreto das culturas energéticas dedicadas.

Taxa de crescimento	Custos de Combustível	Custos totais	Valor	Unidade
0%	45 €/MWh	Financeiros	51.621.119,78	€
		Sociais	58.733.701,67	€
		Financeiros	104.87	€/MWh
		Sociais	119.32	€/MWh
		VAL (Financeiro)	1.046.441,62	€
		VAL (Total)	- 6.066.140,27	€
1%	48.08 €/MWh	Financeiros	53.136.066,38	€
		Sociais	60.248.648,27	€
		Financeiros	107.95	€/MWh
		Sociais	122.40	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 468.504,98	€
		VAL (Total)	- 7.581.086,87	€
3%	55.24 €/MWh	Financeiros	56.660.414,04	€
		Sociais	63.772.995,93	€
		Financeiros	115.11	€/MWh
		Sociais	129.56	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 3.992.852,63	€
		VAL (Total)	- 11.105.434,53	€
5%	64.02 €/MWh	Financeiros	60.983.462,12	€
		Sociais	68.096.044,01	€
		Financeiros	123.89	€/MWh
		Sociais	138.34	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 8.315.900,71	€
		VAL (Total)	- 15.428.428,60	€
8%	81.18 €/MWh	Financeiros	69.430.822,74	€
		Sociais	76.543.404,63	€
		Financeiros	140.06	€/MWh
		Sociais	155.51	€/MWh
		VAL (Financeiro)	- 16.763.261,33	€

Apesar de Roth e Ambs, (2004) considerarem que as centrais alimentadas por resíduos florestais e agrícolas não apresentam custos de combustível, esta análise foi efectuada na mesma, uma vez que os custos de combustível representam um dos factores com mais peso nos custos finais. Pela tabela 44, verifica-se que um agravamento de 1% é o suficiente para tornar o VAL (financeiro) negativo e aumentar os custos de combustível em 3.08 €/MWh em comparação com o cenário base.

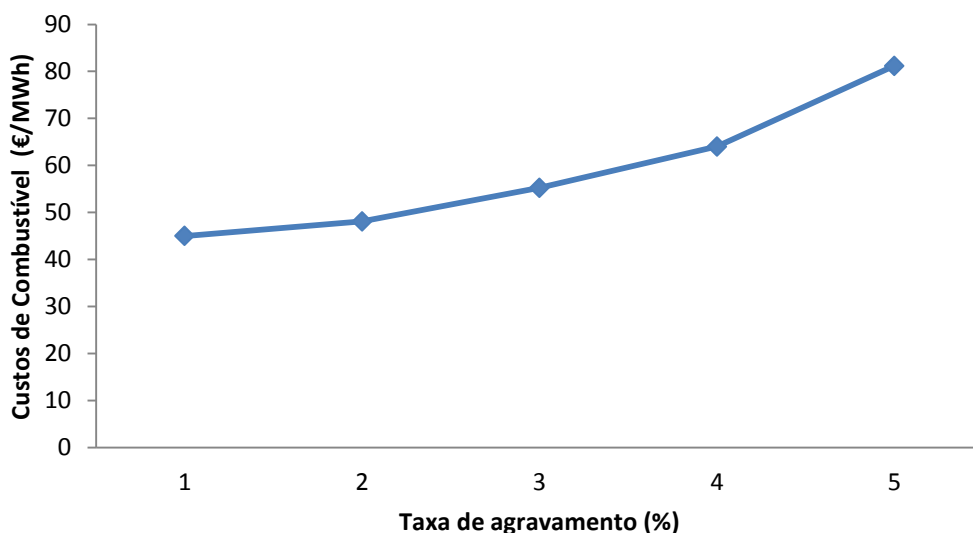


Figura 21 – Representação gráfica do agravamento dos custos de combustível.

7.5. Conclusões

Neste capítulo foi apresentada uma avaliação económica de projectos de biomassa em Portugal, recorrendo a um modelo desenvolvido em Excel. Autores como El-Kordy *et al.* (2002) e Sevilgen *et al.* (2005) defendem que a avaliação económica de sistemas de energia depende fortemente do custo de quatro factores: custo de capital, custo de manutenção e operação, custos de combustível e custos externos, quando considerados.

No segundo subcapítulo apresentou-se uma breve descrição de cada componente de custo. Evidenciou-se que o custo da electricidade produzida por qualquer central depende fortemente do custo de capital de construir a central como do custo de operação da central. A principal componente do custo de operação é o custo do combustível mas também se incluem os custos de operação e manutenção. Conforme Mirasgedis *et al.* (2000) todos estes componentes de custos variam de acordo com a forma de energia e do tipo de tecnologia usado.

No terceiro subcapítulo, recorreu-se a uma recolha bibliográfica para indicar as estimativas das variáveis económicas relevantes para o presente estudo. Na secção seguinte, foram indicados os resultados das várias simulações económicas realizadas através da folha de cálculo. Deu-se relevo ao caso particular das culturas energéticas, e a espécie considerada foi o *miscanthus*, uma vez que é indicada como uma das mais atractivas em territórios mediterrânicos.

Foi também realizada uma comparação entre os diferentes tipos de biomassa: culturas energéticas, resíduos florestais e resíduos sólidos urbanos. Verifica-se que o valor mais elevado para os custos financeiros e sociais é obtido para as culturas energéticas e para a biomassa florestal, com os resíduos sólidos urbanos a apresentarem o valor mais baixo.

De forma a permitir uma comparação da geração eléctrica da biomassa com outras formas de energia, foram usados dados obtidos para a energia eólica e ciclo combinado a gás. Tanto as centrais de biomassa como os parques eólicos considerados apresentam custos de investimento mais elevados do que os obtidos para as centrais de gás natural. Este facto juntamente com o custo do gás leva a um menor custo financeiro para as centrais de gás natural.

Como nota conclusiva, verifica-se que o custo do combustível varia de acordo com as diferentes fontes da biomassa, sendo maior no caso das culturas dedicadas. Tanto os custos de combustível como os custos externos são sensíveis ao tipo de combustível e à eficiência do sistema utilizado.

Os resultados mostram que os custos de investimento bem como os custos de combustível representam a maior quota do custo financeiro total. Quando os custos externos são incluídos na análise, o VAL torna-se negativo. Contudo na análise ao VAL verifica-se que à medida que o valor da tarifa praticada aumenta, o projecto torna-se mais atractivo, uma vez que aumenta o valor total das vendas. A existência de tarifas *feed-in* para a venda de electricidade coloca o

poder do lado do fornecedor de matéria-prima, colocando em causa a rentabilidade do investidor (Firme, 2010).

Numa primeira análise foram utilizados valores relativos à tecnologia de gaseificação, de forma a permitir uma comparação entre os três tipos de biomassa abordados. Contudo foram realizadas outras simulações com diferentes alternativas tecnológicas, para ser possível averiguar também a tecnologia que se apresenta mais viável para este tipo de projectos. Os resultados são apresentados nos Anexos V, VI e VII.

Na análise efectuada para a **biomassa florestal**, a gaseificação é a tecnologia que apresenta os melhores custos financeiros totais, com um VAL (financeiro) positivo. O motivo é o facto da eficiência de conversão considerada para a gaseificação ser superior à eficiência da combustão de resíduos florestais, fazendo com que o custo de combustível seja inferior na gaseificação (Anexo V). No que respeita os **RSU**, a segunda alternativa (combustão) apresenta-se mais favorável, com custos financeiros totais ligeiramente inferiores à gaseificação (Anexo VI). No caso particular das **culturas energéticas**, a tecnologia de gaseificação apresenta-se como uma tecnologia mais viável a nível financeiro, apresentando custos financeiros totais bastante inferiores aos custos referentes á tecnologia de combustão (ciclo a vapor). Isto deve-se mais uma vez, a um valor bastante superior dos custos de combustível na combustão (126 €/MWh) em relação aos 45 €/MWh na gaseificação. Este aumento dos custos de combustível é explicado pela diferença da eficiência de conversão das duas tecnologias. Os resultados apontam para um VAL financeiro e social negativo para o ciclo a vapor enquanto na gaseificação, quando os custos externos não eram incluídos, o VAL era positivo (Anexo VII).

Conclusões e Trabalho Futuro

8. Conclusões e Trabalho Futuro

8.1. Conclusões

O aumento da poluição, as limitações nas reservas de combustíveis fósseis e a ausência de regulações no sector de distribuição de energia, são preocupações que representam uma forte motivação para a investigação e desenvolvimento de novas fontes de energia amigas do ambiente, como por exemplo, a biomassa que se apresentam com ciclos de vida renováveis, estabelecendo assim evidente ligação entre a energia, o ambiente e o desenvolvimento sustentável. A biomassa assume especial relevância na **Estratégia Nacional para a Energia**, não sendo a solução directa para substituir os combustíveis fósseis, no entanto, aparece como mais um contributo para uma política mais adequada, tanto a nível ambiental como a nível económico, para o sector energético português, permitindo a integração entre as políticas florestais e ambientais com as políticas energéticas.

Do ponto de vista ambiental, a utilização da biomassa para fins energéticos é favorável à redução das emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa (dióxido de carbono e metano), verificando-se um ciclo fechado do carbono, uma vez que o dióxido de carbono é absorvido no processo de fotossíntese aquando da regeneração da biomassa. Além disso, a biomassa contém, em geral, menos agentes poluentes, como o enxofre e os metais pesados, do que os combustíveis fósseis mais comuns.

Dentro das energias renováveis, a biomassa é uma das poucas fontes energéticas cuja disponibilidade não depende das condições atmosféricas e pode ser armazenada de acordo com a procura. Isto representa uma vantagem importante permitindo que a geração de electricidade a partir da biomassa seja altamente previsível. Além disso é uma fonte de energia doméstica, contribuindo para a diversificação de combustíveis e segurança do abastecimento.

Quanto aos aspectos sociais, a **bioenergia pode ser capaz de trazer benefícios consideráveis para Portugal tanto a nível nacional e à escala regional**. Foram apontados como alguns dos pontos fortes da biomassa florestal o facto de o seu aproveitamento constituir um excelente meio de minimizar os riscos de incêndio. De facto, a limpeza da floresta e a

valorização económica dos resíduos resultantes são factores que contribuem para a conservação da própria floresta, reduzindo as cargas combustíveis que agravam a propagação de incêndios. Outra das razões para a energia da biomassa receber tanta atenção é representar uma oportunidade de converter desperdícios em algo valioso. Os impactos socioeconómicos demonstram que a bioenergia envolvendo culturas energéticas pode contribuir significativamente para a criação de emprego e para o desenvolvimento do meio rural. As culturas energéticas levam a mudanças nos padrões de trabalho agrícola e podem dar contribuições positivas para diversificação da economia rural. Por outro lado, a valorização energética da biomassa permite também reduzir a importação de derivados de petróleo.

Considera-se também nos dias de hoje a adopção de terras para a produção de culturas energéticas como uma opção para tratar vários desafios do sector agrícola decorrentes do alargamento da UE, como o abandono de terras e o êxodo de áreas rurais. Apesar do aumento da produção de biomassa para fins energéticos ter potencial para compensar o uso substancial de combustíveis fósseis, também tem o potencial de ameaçar áreas de conservação, poluir recursos hídricos e diminuir a segurança alimentar ao sacrificar áreas naturais para gerir monoculturas, contaminando as águas com poluentes agrícolas, ameaçando o abastecimento alimentar e aumentando a rede de emissões de carbono para a atmosfera.

Este projecto tencionou contribuir para a promoção das energias renováveis - biomassa em Portugal, centrando-se sobre a avaliação do interesse económico, estratégico e ambiental destes projectos em Portugal. Pretendeu-se assim fazer uma avaliação económica da produção de energia a partir de biomassa, através de um levantamento dos custos financeiros e sociais dos projectos de produção de energia a partir de biomassa, verificando por fim a sua viabilidade. Os custos financeiros incluíram os custos de investimento, operação e manutenção e de combustível. A análise económica pretendeu ir mais longe do que a análise financeira, incluindo as externalidades na avaliação. Os resultados mostram que os **custos de investimento** bem como os **custos de combustível** representam a maior quota do custo financeiro total. Os custos externos apesar de representarem um valor inferior a qualquer uma das outras componentes de custos apresentadas, conduzem a um valor do VAL negativo para as culturas energéticas, reduzindo também significativamente os valores do VAL para os cenários da biomassa florestal e dos RSU.

De acordo com os resultados da simulação da análise das diversas fontes de biomassa e baseado nos dados assumidos, verifica-se que o valor mais elevado para os custos financeiros e sociais é obtido para as culturas energéticas e para a biomassa florestal, com os resíduos sólidos urbanos a apresentarem o valor mais baixo. Um dos aspectos a focar deverá ser que quanto maior a potência da central, menor o seu custo de produção por kWh, mas maior também a área de recolha e transporte da biomassa e o respectivo custo.

As ameaças mais relevantes dos projectos de biomassa são os elevados custos de investimento que os projectos de biomassa apresentam e o custo das matérias-primas, fazendo assim com que apareça a concorrência de outras fontes de energias renováveis, como a eólica e a solar, em que as matérias-primas estão disponíveis a custo zero.

Os resultados da simulação económica indicaram que quando o custo social total (custos financeiros e externos) é considerado, a proposta da tarifa *feed-in* pode não ser suficiente para atrair investidores. Os custos de investimento, O&M e de combustível por MWh não apresentam oscilações à medida que a tarifa praticada varia, fazendo com que os custos financeiros e sociais permaneçam constantes. Contudo na análise ao VAL verifica-se que à medida que o valor da tarifa praticada aumenta, o projecto torna-se mais atractivo, uma vez que aumenta o valor total das vendas. Retira-se também desta análise que tendo em conta os dados considerados no estudo, apenas com uma tarifa de **120 €/MWh** seria possível atingir um valor positivo tanto no VAL financeiro como no VAL total. Na análise de sensibilidade foi também ilustrada a importância da taxa de desconto e demonstrada como a economia da biomassa é fortemente afectada pelo uso de taxas de desconto elevadas.

É preciso realçar as dificuldades encontradas na recolha de dados, tendo sido apenas possível utilizar dados obtidos através de estudos produzidos para outros países, uma vez as culturas energéticas ainda são um tema pouco explorado em Portugal. Contudo, ao longo da recolha de informação teve-se o cuidado de seleccionar os dados que mais se aproximavam da realidade Portuguesa. A presente avaliação apresentou importantes contribuições e possibilitou uma visão geral da biomassa no futuro do sistema eléctrico em Portugal, sob as restrições assumidas.

Assumindo uma abordagem simplista de uma substituição directa das fontes de energia para geração de electricidade, foi possível quantificar as emissões de CO₂ equivalentes para o caso particular das culturas energéticas. Uma análise mais profunda dos impactos ambientais é necessária, não apenas sobre as emissões mas também considerando os impactos sociais relevantes e incluindo sempre a participação do público no processo.

Os trabalhos futuros deverão abordar mais detalhadamente a questão da escolha das culturas energéticas apropriadas para Portugal, um parâmetro que influencia significativamente a viabilidade financeira do projecto. Embora os custos externos continuem a representar uma parte considerável do custo total social, é importante notar que é difícil determinar as externalidades de biomassa com precisão, devido à heterogeneidade desta fonte de energia. Uma vez mais, os trabalhos futuros deverão contemplar a determinação destes custos externos para o caso particular de Portugal tendo em consideração as características económicas das regiões com maior potencial agrícola para culturas dedicadas, para deste modo seleccionar as variáveis relevantes para a análise e em seguida proceder á sua tradução em valores monetários.

8.2. Trabalho Futuro

O sector energético nos últimos anos tornou-se foco de grande interesse por parte das políticas mundiais e as questões de segurança energética converteram-se num elemento fundamental nas políticas de segurança nacional. De forma que se torna relevante um bom planeamento energético por parte de todos os países.

O planeamento eléctrico envolve a determinação do tipo de tecnologia de geração de electricidade que melhor irá atender aos objectivos da sociedade. As decisões de energia são complexas por natureza e requerem conhecimento do contexto económico, ambiental e social dentro das quais os projectos vão ter lugar (Ferreira, 2007).

Sugere-se como trabalho futuro, a análise de softwares de planeamento energético e estudo do impacto da produção de energia a partir da biomassa sobre os custos, emissões e dependência energética externa. Pretendendo-se uma aplicação ao caso Português de forma a

permitir uma comparação com outros países, abordando-se assim a dimensão económica e ambiental da energia eléctrica no planeamento energético.

Foram desenvolvidos vários modelos de energia de diferentes tipos, a nível institucional e nacional, e utilizados para a análise das opções estratégicas de longo prazo (Sahir, M. e Qureshi, A., 2006). Indicam-se alguns: *COMPEED XL*, *MESSAGE*, *REAP*, *SUPER*, *MAED*, *LEAD*, *HOMER*, *EnergyPLAN*. O *EnergyPLAN* é indicado, uma vez que este modelo abrange todo o sistema energético nacional ou regional, incluindo os sectores de calor e electricidade, bem como os transportes e o sector industrial. *EnergyPLAN* é um instrumento programado em *Delphi Pascal* criado para auxiliar no planeamento estratégico nacional ou regional de energia. Este software simula e otimiza o funcionamento de um sistema energético nacional inteiro para cada hora num determinado ano, com base em entradas e saídas definidas pelo usuário. É um modelo determinista, em oposição a um modelo estocástico ou modelos usando métodos Monte Carlo, ou seja, é um modelo no qual o estado do sistema é definido por causas que se podem determinar e identificar e descrito adequadamente sem recorrer a elementos probabilísticos. Este modelo matemático determina os resultados, exactamente, a partir das condições iniciais, sendo capaz de analisar a influência da flutuação de fontes renováveis de energia no sistema, bem como diferenças semanais e sazonais da electricidade e as procuras de calor e entradas de água para grandes sistemas de energia hidroeléctrica.

Referências Bibliográficas

9. Referências Bibliográficas

Abreu, C (2006) Custos Financeiros e Sociais da Geração de Electricidade em Parques Eólicos. Tese de Mestrado em Tecnologia do Ambiente, Universidade do Minho Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Biológica.

Agência Nacional de Energia Eléctrica – ANEEL (2005) Resolução Normativa nº176, de 28 de Novembro de 2005.

Almeida, A (2009) Avaliação do Potencial Ecológico para a Realização de Culturas Energéticas na Zona de Influência do Perímetro de Rega do Alqueva. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Agronómica – Agro-pecuária. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.

Antunes, P, Santos, R, Martinho, S, Lobo, G (2003) Estudo sobre sector eléctrico e ambiente. Relatório Síntese. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

Azar, C, Lindgren, K, Andersson, B.A (2003) Global energy scenarios meeting stringent CO₂ constraints-cost-effective fuel choices in the transportation sector. Energy Policy 31 (10), 961–976

Asikainen, A, Harri, L, Sanna, P, Timo, K, Juha, L (2008) Forest Energy Potential in Europe (EU27), Working Papers of the Finnish Forest Research Institute.

Avillez, F (2009) “A fileira do bioetanol em Portugal – Uma morte anunciada”.

Avillez, F, Jorge, N, Montes, D, Brandão, A, Campilho, P (2009) “Sustentabilidade da Produção de Bioetanol em Portugal”.

Baptista, F, Santos, R (2006) Proprietários florestais privados: caracterização e critérios de gestão, in Incêndios florestais em Portugal – Caracterização, impactes e prevenção, 2006, Santos

Pereira, J., Cardoso Pereira, J., Castro Rego, F., Neves Silva, J., Pereira da Silva, T. (editores), ISA Press, Lisboa, 41-71.

Berndes, G e Hansson, J (2007) Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels, *Energy Policy* 35 (2007) 5965 – 5979.

Berndes, G, Hoogwijk M, van den Broek, R (2003) The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 2003;25:1–28.

Biewinga, EE e van der Bijl, G (1996) Sustainability of energy crops in Europe – a methodology developed and applied. Utrecht, CLM: Centre for Agriculture and Environment, 234; 1996.

Bilek, M, Lenzen, M, Hardy, C, Dey, C (2006) Life-cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear power in Australia. The University of Sydney; 2006.

Borjesson, P, Hansen, AC, Roos, A, Rosenqvist, H, Takeuchi, L (2004) Market development problems for sustainable bio-energy in Sweden. In: Helby P, editor. *Environmental and Energy System Studies*. Report no. 38, BIOMARK project, Lund; 2004.

Borrego, D (2008) Biofuels in Portugal and the new challenges for the rural World. 8th European IFSA Symposium, 6 - 10 July 2008, Clermont-Ferrand (France).

Boukis, I, Vassilakos, N, Kontopoulos, G, Karellas, S (2008) Policy plan for the use of biomass and biofuels in Greece, *Renew Sustain Energy Rev* (2008), doi:10.1016/j.rser.2008.02.008

Brás, A, Miranda, F, Hipólito, L, Dias, L (2008) Biomassa e produção de energia, Direcção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho.

Brose, I (nd) Monetization of Environmental and Socio-Economic Externalities from Bioenergy.

Bruinsma, J (2003) *World agriculture: towards 2015/2030, an FAO Perspective*, Earthscan, London / FAO, Rome.

Camargo, A, Sutil, G, Peralta, L, Fassi, E (nd) Indicadores de Sustentabilidade para Geração de Energia Eléctrica.

Campbell, J, Lobell, D, Genova, R, Field, C (2008) The Global Potential of Bioenergy on Abandoned Agriculture Lands. *Environ. Sci. Technol.* XXXX, xxx, 000–000.

Carapellucci, R (2002) Power generation using dedicated woody crops: thermodynamics and economics of integrated plants. *Energy* 27 (2002) 143–159.

Carrasco, JE (2002) Estado Actual de la Biomasa como Fuente de Energía. Madrid: CIEMAT – Curso Situación actual y futuro de la biomasa como recurso energético.

Gasol, C, Brun, F, Mosso, A, Rieradevall, J, Gabarrell, X (2010) Economic assessment and comparison of acacia energy crop with annual traditional crops in Southern Europe *Energy Policy* 38 (2010) 592–597.

Comité Económico e Social Europeu, CECE (2006) Matérias-primas renováveis - Perspectivas de desenvolvimento para o seu aproveitamento material e energético. (2006/C 110/10)

Coelho, S (1999) Mecanismos para implementação da cogeração de electricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo. Doutoramento em Energia da Universidade de São Paulo.

Comunicação das Comunidades Europeias (2005) Plano de acção Biomassa, Bruxelas

Costa, J (2007). Caracterização de resíduos, resultantes da Co-combustão de Biomassa e Carvão. Tese de Mestrado de Bioenergia. Faculdade Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa

Costa, C, e Prates, P (2005) O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do sector energético e barreiras à sua penetração no mercado. BNDES Sectorial. Rio de Janeiro. N° 21, p. 5-30, Março 2005.

Couto, L, Couto, L, Watzlawick, L, Câmaras, D (2004) Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004

Council of the European Union (2007) Brussels European Council 8/9 March 2007 – Presidency conclusions. Brussels, 7224/1/07 REV 1; 2007.

Coyle, W (2007) *The future of biofuels: A Global Perspective*.

Dam J, Junginger, M, Faaij, A, Jurgens, I, Best, G, Fritsche, U (2008) Overview of recent developments in sustainable biomass certification, *Biomass and Bioenergy* 32 (2008) 749 – 780.

Dias, A (nd) PDIS – Biomassa e Cogeração. Feup

de Joode, J, Kingma, D, Lijesen, M, Mulder, M, Shestalova, V, (2004). Energy policies and risks on energy markets—a cost-benefit analysis. Centraal Planbureau, (CPB) ISBN:90-5833-161-X.

Denholm P, Kulcinski GL (2005) Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Convers Manage* 2005;45:2153–72.

Developing technology for large-scale production of forest chips (2004) Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Technology Programme 6/2004 Final Report. Pentti Hakkila VTT Processes. National Technology Agency Helsinki 2004

DEEC/FCTUC (2006) *Produção e Planeamento de Energia Eléctrica. Biomassa, aspectos técnicos e económicos*.

Direcção Geral dos Recursos Florestais, DGRF (2006) *Estratégia Nacional para as Florestas, Versão preliminar para discussão pública*.

DGGE (2007a) *Contribuição para o Balanço Energético*.

DGGE (2007b) “Preços de Energias Renováveis”.

DGGE (2008a) “Estatísticas. Balanços Energéticos”.

DGGE (2008b) “Factura Energética Portuguesa”.

DGGE (2008c) Potência instalada das centrais de produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis (MW).

DGGE (2008d) “Produção de Energia Eléctrica”.

DGGE (2009) “Renováveis. Estatísticas Rápidas”. Setembro de 2009.

DGGE (2010) “Renováveis. Estatísticas Rápidas”. Fevereiro de 2009.

Domac, J, Richards, K (2002) *Final results from IEA Bioenergy Task 29: socioeconomic aspects of bioenergy systems*, 12th European Conference on Biomass for Energy and Climate Protection, 4 pp.

Domac, J, Richard, K, Risovic, S (2005) Socio-Economic Drivers in Implementing Bioenergy Projects. *Biomass&Bioenergy*. Volume 28, Issue 2, Pages 95-266 (February 2005), p 97-106.

El-Kordy, M, Badr, M, Abed, K, Ibrahim, S (2002) Economical evaluation of electricity generation considering externalities. *Renewable Energy* 25 (2002) 317–328

Enersilva (2007) Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa

Ericsson, K, Nilsson, LJ (2006) Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 2006;30:1–15.

Ericsson, K, Rosenqvist, H, Nilsson, L (2009) Energy crop production costs in the EU. *Biomass and bioenergy* 33 (2009) 1577 – 1586.

EurObserv'ER. 6th report, State of Renewable Energies in Europe; 2006.

European Commission External (2003) Costs Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport.

European Commission/Joint Research Centre (EC/JRC) (2006) Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. CONCAVE/EUCAR Well-to-wheels report, version 2b, May 2006.

European Environment Agency (EEA) (2007a) Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Technical report No 12/2007.

European Environment Agency (EEA) (2007b) Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2005 and inventory report; 2007. Technical report No 7/2007.

Eurostat (2008) Energy, transport and environment indicators. 2008 edition

European Environment Agency (EEA) (2009a) Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2007 and inventory report 2009 Submission to the UNFCCC Secretariat 2009 — 15 pp. — 21 x 29.7 cm ISBN 978-92-9213-001-5 EEA Technical report series: ISSN 1725-2237 DOI 10.2800/11551

Eurostat (2009b) Energy, transport and environment indicators. 2009 edition

Eurostat (2009c) Agricultural statistics. Main results — 2007–08. 2009 edition

Eurostat (2009d) Panorama of energy. Energy statistics to support EU policies and solutions. 2009 edition

Evans, A, Strezov, V, Evans, T (2009) Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1082 – 1088.

Evangelista, M, (2007) Culturas Energéticas. Biomassa e Biocombustíveis. Instalação e colheita da cultura do cardo (*Cynara cardunculus*). AFLOPS – Associação de Produtores Florestais. Évora, 6 de Dezembro de 2007.

Faaij, A e Domac, J (2006) Emerging international bio-energy markets and opportunities for socio-economic development. *Energy for Sustainable Development*. Volume X No. 1. March 2006

Faaij, F, Meuleman, B, Turkenburg, W, Bauen, A, Calle, F e Hall, D (1997) Externalities of biomass based electricity production compared with power generation from coal in the Netherlands. *Biomass and Bioenergy* Vol. 14, No. 2, pp. 125±147, 1998

Fernandes, S, Trautmann, N, Streets, D, Roden, C, Bond, T (2007) Global biofuel use, 1850-2000. *Global Biogeochem. Cycles*,21 DOI: 10.1029/2006GB002836

Fernandes, U, Costa, M (2010) Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal, *Biomass and Bioenergy*, doi:10.1016/j.biombioe.

Ferreira, M (2008) Atomização Efervescente na Combustão de Óleo Usadas. Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica Energia e Fluidos. Universidade do Minho. Guimarães.

Ferreira, P e Vieira, F (2010) Evaluation of an Offshore Wind Power Project: Economic, Strategic and Environmental value.

Ferreira, P (2007) Electricity Power Planning in Portugal: The Role of Wind Energy. Tese de Doutoramento em Engenharia Económica - Ramo de Conhecimento Engenharia Produção e Sistemas – Universidade do Minho. Guimarães

Ferreira, J (2004) Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. *Gestão Ambiental*. Instituto Politécnico de Viseu.

Ferreira, S, Moreira, N, Monteiro, E (2009) Bioenergy overview for Portugal. *Biomass and Bioenergy* 33 (2009) 1567 – 1576.

Field, C, Campbell, J, Lobell, D (2007) *Biomass energy: the scale of the potential resource*. Cell Press.

Firme, C (2010) *Biomassa – Financiar uma Fonte Limpa de Produção Energética*. 07 de Julho de 2010.

Fraiture, C, Giordano, M, Liao, Y (2008) Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. *Water Policy* 10 Supplement 1 (2008) 67–81.

Garcia, R (2010) *Deterioração dos ecossistemas pode trazer problemas ao país, da economia ao lazer*.

Gasol, C, Brun, F, Mosso, A, Rieradevall, J, Gabarrel, X (2008) Feasibility assessment of poplar bioenergy systems in the Southern Europe, *Renew Sustain Energy Rev* (2008), doi:10.1016/j.rser.2008.01.010

Gagnon, L, Belanger, C, Uchiyama, Y (2002) Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001. *Energy Policy* 2002;30:1267–78.

Gielen, D, Hashimoto, S, Moriguchi, Y (2003) Modeling of global biomass policies. *Biomass Bioenergy* 25 (2), 177–195.

Goldemberg, J (2002) “Brazilian Energy Initiative” World Summit On Sustainable Development, Joanesburgo, África do Sul. Setembro, 2002.

Guardabassi, P (2006) *Sustentabilidade da Biomassa como Fonte de Energia: Perspectivas para Países em Desenvolvimento*. 2006. 123p. Dissertação de mestrado - Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

Gustavsson, L, Borjesson, P, Johansson, B, Svaningsson, P (1995) Reducing CO₂ emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy* 20, 1097–1113.

Hall, DO, Rosillo-Calle, F, Woods, J (1993) Biomass for energy: supply prospects. In: Johansson TB, Kelly H, Reddy AKN, Williams RH (eds) *Renewable energy – sources for fuels and electricity*. Island, Washington, DC.

Hansson, J, Berndes, G (2006) Perspectives on European energy pathways: description of Version 1.0 of the PEEP Model. Report from The European Energy Pathways project within the Alliance for Global Sustainability

Hazell, P e Pachauri, R (2006) *Bioenergy and Agriculture. Promises and Challenges*. International Food Policy Research Institute.

Hellmann, F, Verburg, PH (2008) Spatially explicit modelling of biofuel crops in Europe. *Biomass and Bioenergy*, in press.

Heller, M, Keoleian, G, Volk, T (2003) Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy* 25 (2003) 147 – 165

Henriques, R (2004) *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Tese de Mestrado em ciência de planejamento energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Hill, J, Nelson, E, Tilman, D, Polasky, S, Tiffany, D (2006) Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103, 11206–11210

Hondo, H (2005) Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy* 2005;30:2042–56.

Horta, F e Bello, C (2009) *Integração em Edifícios de Sistemas de micro-geração. Análise Tarifária e Económica aplicada a instalações com potências até 150kW*. Dissertação para

obtenção do grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Instituto Superior Técnico .
Universidade Técnica de Lisboa.

Hoogwijk, M, Faaij, A, Broek, R, Berndes, G, Gielen, D, Turkenburg, W (2003) Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25 (2003) 119 – 133

Houghton, R (1983) Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecol. Monogr.* 53, 235–262

IEA Bioenergy (2005) Benefits of Bioenergy. IEA BIOENERGY: EXCO: 2005:01

IEA Bioenergy (2009) Strategic Plan 2010-2016. IEA Bioenergy: ExCo: 2009: 03

IEA Bioenergy (2010) Annual Report 2009. IEA BIOENERGY:EXCO:2010:01

International Energy Agency (IEA) (2006) World Energy Outlook. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/index.asp>>; 2006.

Johansson, D e Azar, C (2006) A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-006-9208-1.

Kageson, P (2001) The impact of CO₂ emissions trading on the European Transport Sector. *Vinnova Report VR 2001:17*, Sweden.

Kheshgi, H, Price, R, Marland, G (2000). The Potential of Biomass Fuels in the Context of Global Climate Change: Focus on Transportation Fuels. *Annual Review of Energy and the Environment.* 25: pp. 199-244.

Kobosa, P, Erickson, J, Drennen, T (2006) Technological learning and renewable energy costs: implications for US renewable energy policy. *Energy Policy* 34 (2006) 1645–1658.

Kosugi, T, Tokimatsu, K, Kurosawa, A, Itsubo, N, Yagita, H, Sakagami, M (2009) Internalization of the external costs of global environmental damage in an integrated assessment model. *Energy Policy* 37 (2009) 2664–2678.

Lazarus, M, Greber, L, Hall, J, Bartels, C, Bernow, S, Hansen, E, Raskin, P, Hippel, D (1993) *Towards a Fossil Free Energy Future*. 1993, Stockholm Environmental Institute - Boston Center: Boston.

Leemans, R, Amstel, A, Battjes, C, Kreileman, E, Toet, S (1996) The land cover and carbon cycle consequences of large-scale utilizations of biomass as an energy source. *Global Environmental Change*, 6(4), 335–357. (1996).

Long, S, Beale, C, Heaton, E, Dohleman, F (2008) *The Energy Biosciences Institute –Realizing Cellulosic Biofuels and Benefiting the Environment*. Plant Biology, Crop Sciences, Institute for Genomic Biology, National Center for Supercomputer Applications, University of Illinois.

Loução, I (2008) *Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de peletes*. Tese de Mestrado em Bioenergia. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

Lourenço, M e Januário, M (nd) *Culturas energéticas e Desenvolvimento Rural*.

Machado, F (2006) *Indicador de Sustentabilidade Energética – Um modelo de avaliação para a governação reguladora*. Brasília.

MADRP (2005) *Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas (ponto da situação, Junho de 2005)*. Doc. Policopiado.

Martins, O (2004) *Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia Eléctrica*. 1º Seminário sobre a Utilização de Energias Renováveis para Electrificação Rural do Norte e Nordeste do Brasil. Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO. Brasília, 09 de dezembro de 2004.

McKendry, P (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83 (2002) 37–46

Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (2005) *Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas*.

Mirasgedis, S, Diakoulaki, D, Papagiannakis, L, Zervos, A (2000) Impact of social costing on the competitiveness of renewable energies: the case of Crete. *Energy Policy* 28 (2000) 65-73

Monteiro, C (nd) *Produção e Transporte de Energia II (FEUP)*

Müller, A, Schmidhuber, J, Hoogeveen, J, Steduto, P (2007) Some insights in the effect of growing bio-energy demand on global food security and natural resources. Paper presented at the International Conference: “Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries”, Hyderabad, India, 28-31 January 2007.

Nakicenovic, N, Grubler, A, McDonald, A (1998) *Global energy perspectives: International Institute for Applied Systems Analysis/World Energy Council*. Cambridge University Press, 1998.

NEEDS (2008) “Final report on technical data, costs and life cycle inventories of biomass CHP plants” Deliverable nº13.2 – RS 1a. Project no: 502687. *New Energy Externalities Developments for Sustainability*.

Netto, C (2008) *Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito de Santarém*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

Nonhebel, S (2005) Renewable energy and food supply: will there be enough land? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9 (2005) 191–201.

Oliveira, L e Rosa, L (2003) Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. *Energy Policy* 31 (2003) 1481–1491.

Owen, A (2006) Renewable energy: Externality costs as market barriers. *Energy Policy* 34 (2006) 632–642

Ortiz, L e Míguez J (1995) *Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vigo: Concello de Vigo; 1995.

Pietrapertosa, F, Cosmi, C, Macchiato, M, Salvia, M, Cuomo, V (2009) Life Cycle Assessment, ExternE and Comprehensive Analysis for an integrated evaluation of the environmental impact of anthropogenic activities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1039–1048.

Pimentel, D (2003) Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*, 12, 127-134.

Pimentel, D e Patzec , T (2005) Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resources Research*, 14, 65-76.

Pinto, A (2009) “Mercado dos cereais e a sustentabilidade do mundo rural”.

Powell, J, Pearce, D, Brisson, I (1995) *Valuation for Life Cycle Assessment of Waste Management Options*. Report for the Department of the Environment. Centre for Social and Economic. Research on the Global Environment, University of East Anglia and University College London.

Rafaj, P e Kypreos, S (2007) Internalisation of external cost in the power generation sector: Analysis with Global Multi-regional MARKAL Model.

Raghu, S, Anderson, R, Daehler, C, Davis, A, Wiedenmann, R, Simberloff, D, Mack, R (2006) *ECOLOGY: Adding biofuels to the invasive species fire?* *Science* 313, 1742

Rowe, R, Street, N, Taylor, G (2007) Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renew Sustain Energy Rev* (2007), doi:10.1016/j.rser.2007.07.008.

Roth, I e Ambs, L (2004) Incorporating externalities into a full cost approach to electric power generation life-cycle costing. *Energy*, 29 (12-15), 2125–2144.

Rutz, D e Janssen, R (2007) BioFuel SWOT – Analysis WIP Renewable Energies.

Sáez, R, Linares, P, Leal, J (1998) Assessment of the externalities of biomass energy, and a comparison of its full costs with coal. *Biomass and Bioenergy* Vol. 14, Nos. 5/6, pp. 469±478, 1998

Saião, M (2009) Implementação de uma central a biomassa. Análise de Sustentabilidade ambiental e económica. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

Sahir, M e Qureshi, A (2006) Energy modeling applications for analysis of policy options-an overview

Sales, C, Andrade, R, Lora, E (2005) Geração de electricidade a partir da gaseificação de biomassa. *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 3, p. 195-204, 2005

Santos, J (2009) Avaliação da biomassa de plantas bioenergéticas. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.

Schaeffer, M, Eickhout, B, Hoogwijk, M, Strengers, B, Vuuren, D, Leemans, R, Opsteegh, T (2006) CO₂ and albedo climate impacts of extratropical carbon and biomass plantations. *Global Biogeochem. Cycles*,20 DOI: 10.1029/2005GB002581

Schleisner L (2000) Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renew Energy* 2000;20:279–88.

Silva, C, Garrafa, M, Navarenho, P, Gado, R, Yoshima, S (2005) A biomassa como alternativa energética para o Brasil.

Stewart, G, Pullin A, Coles C (2007) Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environ Conserv* 2007;34:1–11.

Sevilgen, S, Erdem, H, Cetin, B, Akkaya, A, Dagdas, A (2005) Effect of economic parameters on power generation expansion planning. *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 1780–1789

Solino, M, Prada, A, Vazquez, M (2009) Green electricity externalities: Forest biomass in an Atlantic European Region, *Biomass and Bioenergy* 33 (2009) 407-414

Sousa, C (2009) A biomassa florestal como fonte de energia renovável em Portugal. Centro da Biomassa para a Energia. Lisboa, 19 de Novembro de 2009

Studiorum, A (2006) Estudo sobre a aplicação das medidas da PAC no âmbito das culturas energéticas e do mercado da bioenergia.

Sundqvist, T (2004) What causes the disparity of electricity externality estimates? *Energy Policy* 32 (2004) 1753–1766

Swisher, J, Wilson D (1993) Renewable energy potentials. *Energy* 1993;18(5):437–59.

Tegtmeier, E, e Duffy, M (2004) External Costs of Agricultural Production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability*. Vol. 2, No.1, 2004

Terrados, J, Almonacid, G, Hontoria, L (2007) Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools. Impact on renewables development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (2007) 1275–1287

Timmons, D, Damery, D, Allen, G, Petraglia, L (2007). Energy from forest biomass: Potential economic impacts in Massachusetts.

Thornley, P (2006) “Increasing biomass based power generation in the UK”, *Energy Policy*, Vol. 34 (15), pp.2087–2099.

Tzimas, E e Peteves, S (2005). The Impact of Carbon Sequestration on the Production Cost of Electricity and Hydrogen from Coal and Natural-Gas Technologies in Europe in the Medium Term. *Energy*, 30, pp 2672–2689.

Uchiyama, Y (2007) Life cycle assessment of renewable energy generation technologies. *IEEJ Trans Electr Electron Eng* 2007;2:44–8.

Umberto, G (1995) “As Ciências da Terra e a mundialização das sociedades”.

Van, J, Faaij A, Lewandowski, I, Fischer, G (2007) Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass and Bioenergy* 2007;31(6): 345–66.

Vannini, L, Aragrande, M, Gentile, E, Guarnieri, A, Molari, G, Venturi, G (2006) Study on implementing the energy crops CAP measurers and bioenergy market. Final report. Bologna: University of Bologna; 2006.

VIEWLS (2005) Shift gear to biofuels. Results and recommendations from the VIEWLS project. November 2005.

Warren, J, Weitz, K (1994) Development of an Integrated Life-Cycle Cost Assessment Model. In: *Electronics and the Environment*. IEEE International Symposium on Publication Date: 2-4 May 1994. Center for Economics Research. 155-163. ISBN: 0-7803-1769-6.

Weisser, D (2007) A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy* 2007;32:1543–59.

Weisser, D (2001) A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. PESS / IAEA. Wagramer Strasse 5 1400 – Vienna Austria

Wiesenthal, T, Mourelatou, A., Petersen, J, Taylor, P (2006) *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*, European Environment Agency, 67 pp.

Wit, M e Faaij, A (2009) European biomass resource potential and costs, *Biomass and Bioenergy* (2009), doi:10.1016/j.biombioe.2009.07.011

Wolf, J, Bindraban, P, Luijten, J, Vleeshouwers, L (2003) Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems* 76 (2003) 841–861.

Yamamoto, H, Yamaij, K, Fujino, J (1999) Evaluation of bioenergy resources with a global land use and energy model formulated with SD technique. *Applied Energy* 1999;63:101–13.

Zarrilli, S (2006) *The emerging biofuels market: regulatory, trade and development implications*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD); 2006 Available at [/www.unctad.org/en/docs/ditcted20064_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20064_en.pdf).

Sites pesquisados:

<http://www.energiasealternativas.com/energia-renovavel-portugal.html>

<http://naturlink.sapo.pt/articlelist.aspx?menuid=5&exmenuid=3&page=2>

<http://www.centrodabiomassa.pt/index.php/documentos>

<http://www.germanwatch.org/start/english.htm>

<http://www.omel.es/frames/es/index.jsp>

<http://www.externe.info/>

<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=527>

http://ec.europa.eu/energy/renewables/bioenergy/bioenergy_en.htm

<http://www.centrodabiomassa.pt/>

<http://aie.ineti.pt/>

<http://www.iea.org/>

<http://my.epri.com/portal/server.pt?>

<http://bioenergy.ornl.gov/>

<http://www.energy.gov/>

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>

Anexos

10. Anexos

Anexo I – Parâmetros económicos

- *Taxa de inflação*

Os dados relativos à taxa de inflação desde 1996 até ao presente foram obtidos através do INE (Instituto Nacional de Estatística) e do BP (Banco de Portugal).

Ano	Taxa de inflação	Ano	Taxa de inflação
1995	4,2	2003	3,3
1996	3	2004	2,4
1997	2,3	2005	2,3
1998	2,8	2006	3,1
1999	2,3	2007	2,5
2000	2,9	2008	2,6
2001	4,4	2009	-0,8
2002	3,6	2010	0,7

- *Taxas de câmbio utilizadas*

Taxa de câmbio é o preço de uma unidade monetária de uma moeda em unidades monetárias de outra moeda. Uma das referências mais utilizadas para obter as taxas de conversão é o site www.xe.com. De acordo com a fonte mencionada, as taxas de conversão em Junho de 2010 eram as seguintes:

	USD	EURO
USD	1.00000	0.80792
Inverso	1.00000	1.23775
EURO	1.23775	1.00000
Inverso	0.80792	1.00000

Segundo as referências do Banco de Portugal, as taxas de câmbio obtidas no dia 18/6/2010 eram:

	USD	EURO
USD	1.0000	0.8083
Inverso	1.0000	1.2372
EURO	1.2372	1.0000
Inverso	0.8083	1.0000

Anexo II – Fórmulas utilizadas no modelo desenvolvido em Excel

$$\text{Produção Anual (MWh)} = \text{Capacidade Instalada (MW)} \times 8760(\text{h}) \times \text{Factor de Carga}(\%)$$

$$\text{Custo de Investimento (Euros)} = \text{Custo de Investimento} \left(\frac{\text{€}}{\text{kW}} \right) \times \text{Capacidade Instalada (kW)}$$

$$\text{Custo de O\&M fixos (Euros)} = \text{Custo de O\&M fixo} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWano}} \right) \times \text{Capacidade Instalada (kW)}$$

$$\text{Custo de O\&M variáveis (Euros)} = \text{Custo de O\&M variável} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWhora}} \right) \times \text{Produção Anual (MWh)}$$

$$\text{Custo de Combustível (Euros)} = \frac{\left[\text{C. Comb.} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWhora}} \right) \times \text{Produção Anual Total (MWh)} \right]}{\text{Eficiência térmica} (\%)}$$

$$\text{Custo Externos (Euros)} = \text{Custo Externos} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWhora}} \right) \times \text{Produção Anual (MWh)}$$

$$\text{Valor presente C. O\&M} = (\text{Custo de O\&M (€)}) \times (1 + \text{taxa de desconto})^{-\text{ano}}$$

$$\text{Valor presente C. Comb.} = (\text{Custo de Comb. (€)}) \times (1 + \text{taxa de desconto})^{-\text{ano}}$$

$$\text{Valor presente Prod. Anual} = (\text{Prod. Anual (MWh)}) \times (1 + \text{taxa de desconto})^{-\text{ano}}$$

$$\text{Valor presente C. Externos} = (\text{Custos Externos (€)}) \times (1 + \text{taxa de desconto})^{-\text{ano}}$$

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Horas de Produção equivalente (h)}}{8760 (h)}$$

$$\text{Custos de Inv. Final} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{C. \text{Inv} (\text{€})}{\text{Produção anual total (MWh)}}$$

$$\text{Custos de O\&M Final} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{C. \text{O\&M} (\text{€})}{\text{Produção anual total (MWh)}}$$

$$\text{Custos de Comb. Final} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{C. \text{Combustível} (\text{€})}{\text{Produção anual total (MWh)}}$$

$$\text{Tarifa} (\text{€}) = \text{Tarifa} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) \times \text{Produção anual (MWh)}$$

$$\text{Tarifa actualizada} = (\text{Tarifa} (\text{€})) \times (1 + \text{taxa de desconto})^{-\text{ano}}$$

$$\text{VAL} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Cash} - \text{Flows}}{(1+i)^t}, \text{ onde:}$$

i = taxa de mínima de atractividade

n = horizonte temporal

Receitas = Vendas – Custos Financeiros totais

Custos Financeiros Totais = Custo de Investimento + Custo de O&M + Custo de Combustível

Custos Sociais Totais = Custos Financeiros Totais + Custos Externos

Para determinar os custos financeiros em valor presente foi necessário actualizar todos os custos, através da taxa de desconto considerada. Apesar da produção anual não ser um custo, também foi actualizada, uma vez que:

O custo total do ciclo de vida de cada tecnologia, em valor presente, pode ser calculado pela expressão:

$$\text{CCV} = I + \sum \left[(\text{O \& M} + \text{Comb} + \text{E}) \times P_t (1+r)^{-t} \right]_{\text{2}}$$

Onde,

I – Custos de Investimento

O&M – Custos de O&M

E – Custos Externos

P_t – Produção Anual

r – Taxa de desconto

Assumindo um valor das vendas constante ao longo do tempo de vida da central, obtemos custos uniformes de produção de electricidade:

$$\sum [PM(1+r)^{-t} \times P_t] = I + \sum [(O \& M + Comb + E) \times P_t (1+r)^{-t}]$$

$$PM \times \sum [P_t (1+r)^{-t}] = I + (O \& M + Comb + E) \sum [P_t (1+r)^{-t}]$$

$$PM = \frac{I}{\sum [P_t (1+r)^{-t}]} + (O \& M + Comb + E)$$

Onde,

PM – Preço médio que teria de ser pago pelos consumidores para compensar exactamente as despesas de I, O&M e Comb, com uma taxa de retorno igual à taxa de desconto (€/MWh)

I – Custos de Investimento (€/MWh)

O&M – Custos de O&M (€/MWh)

E – Custos Externos (€/MWh)

P_t – Produção Anual (MWh)

r – Taxa de desconto (%)

Estudo Socioeconómico da Biomassa

Matéria-prima considerada: Culturas energéticas: Miscanthus

Tecnologia considerada: Gaseificação

Dados considerados		
	Unidade	Valor
Capacidade instalada	MW	15
Factor de carga	%	44
Tempo de vida	Anos	20
Taxa de desconto	%	10
Eficiência de conversão	%	56
Produção anual	MWh	57816

Custos considerados		
	Unidade	Valor
Custos de investimento	€/kW	1464
Custos fixos anuais de O&M	€/kW ano	43,4
Custos variáveis anuais de O&M	€/kW hora	0,004
Custos de combustível	€/MW hora	25,2
Custos ambientais	€/MW hora	14,45

Nº horas por ano: 8760

	Unidade	Valor
Custos fixos anuais de O&M		651000
Custos variáveis anuais de O&M	€	231264
Custos totais de O&M		882264

Tarifa	Unidade	Valor
	€/MWh	107

Vendas	Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Vendas (€/MWh)		107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Vendas (€)			6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312
Valor presente			5623920	5112655	4647868	4225334	3841213,032	3492011,8	3174556	2885960	2623600	2385091
Vendas	Ano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Vendas (€/MWh)	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	
Vendas (€)		6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	6186312	
Valor presente		2168265	1971150	1791954	1629049	1480954	1346322	1223929	1112663	1011511	919556	
Soma Vendas (€)		52667561,4										

Receitas	Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Receitas (€/MWh)		-44,61417877	2,125962363	2,12596	2,12596	2,12596	2,125962363	2,1259624	2,12596	2,12596	2,12596
Receitas (€)		-21960000	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328
Receitas	Ano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Receitas (€/MWh)	2,12596	2,12596	2,12596	2,12596	2,12596	2,125962	2,12596	2,125962	2,12596	2,12596	
Receitas (€)		2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	2702328	

Custos Financeiros					
Ano	Investimento	O&M		Combustível	
	€	€	Valor presente	€	Valor presente
0	21960000				
1		882264	802058,1818	2601720	2365200
2		882264	729143,8017	2601720	2150181,818
3		882264	662858,0015	2601720	1954710,744
4		882264	602598,1832	2601720	1777009,767
5		882264	547816,5302	2601720	1615463,425
6		882264	498015,0274	2601720	1468603,113
7		882264	452740,934	2601720	1335093,739
8		882264	411582,6673	2601720	1213721,581
9		882264	374166,0612	2601720	1103383,256
10		882264	340150,9647	2601720	1003075,687
11		882264	309228,1497	2601720	911886,9882
12		882264	281116,4998	2601720	828988,1711
13		882264	255560,4543	2601720	753625,61
14		882264	232327,6857	2601720	685114,191
15		882264	211206,987	2601720	622831,0827
16		882264	192006,3519	2601720	566210,0752
17		882264	174551,229	2601720	514736,432
18		882264	158682,9354	2601720	467942,2109
19		882264	144257,214	2601720	425402,0099
20		882264	131142,9218	2601720	386729,0999
Soma			7511210,782		22149909
	Custos de Inv.	Custos de O&M		Custos de Comb.	
	(€/MWh)	(€/MWh)		(€/MWh)	
	44,61417877	15,25985886		45	

Custos Ambientais		
Ano	Custos ambientais	
	€	Valor presente
0		
1	835441	759492
2	835441	690447,2727
3	835441	627679,3388
4	835441	570617,5808
5	835441	518743,2552
6	835441	471584,7775
7	835441	428713,4341
8	835441	389739,4855
9	835441	354308,6232
10	835441	322098,7484
11	835441	292817,044
12	835441	266197,3127
13	835441	241997,557
14	835441	219997,7791
15	835441	199997,981
16	835441	181816,3464
17	835441	165287,5876
18	835441	150261,4433
19	835441	136601,3121
20	835441	124183,011
Soma		7112581,89
	Custos ambientais	
	(€/MWh)	
	14,45	

Produção anual	
MWh	Valor presente
57816	52560
57816	47781,81818
57816	43438,01653
57816	39489,10594
57816	35899,18721
57816	32635,62474
57816	29668,74976
57816	26971,59069
57816	24519,6279
57816	22290,57082
57816	20264,15529
57816	18421,95936
57816	16747,23578
57816	15224,7598
57816	13840,69073
57816	12582,44611
57816	11438,58738
57816	10398,7158
57816	9453,377998
57816	8593,979998
	492220,2

Custos Financeiros totais	Custos Externos totais	Custos Sociais totais
(€/MWh)	(€/MWh)	(€/MWh)
104,8740376	14,45	119,3240376

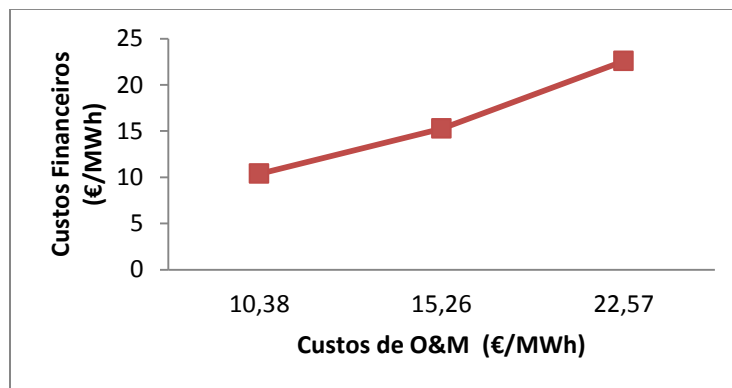
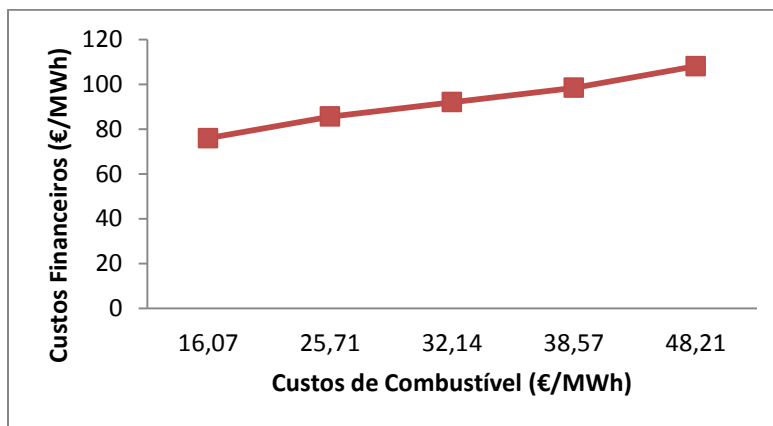
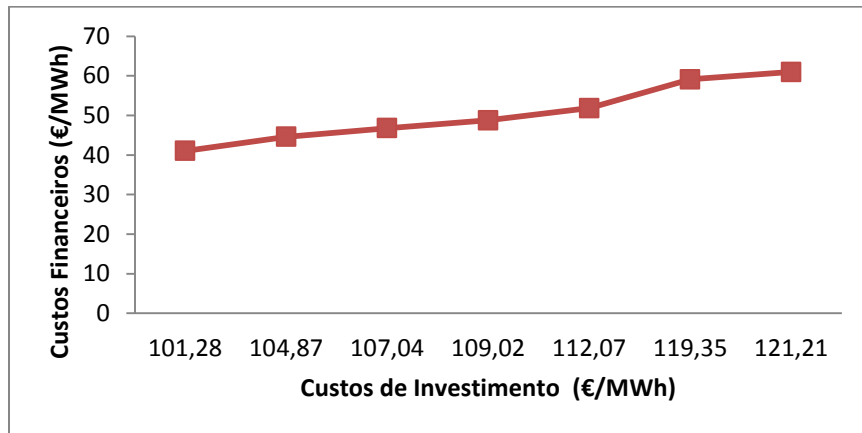
Custos Financeiros totais	Custos Externos totais	Custos Sociais totais
(€)	(€)	(€)
51621119,78	7112581,89	58733701,67

VAL (€) financeiro	1.046.441,62 €
--------------------	----------------

VAL (€) social	-6.066.140,27 €
----------------	-----------------

TIR	11%
-----	-----

Anexo IV – Representação gráfica da variação dos custos financeiros das culturas energéticas



Anexo V – Avaliação Económica para a Biomassa Florestal: Combustão directa

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.28	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	107	€/MWh
Factor de carga	0.44	–	Custos		
			Capital	1346	€/kW
			O&M fixos	60.0	€/kWano
			O&M variáveis	0.007	€/kWh
			Combustível	18.0	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

- 1) A tecnologia de conversão considerada foi a combustão directa.
- 2) Custos de capital de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 3) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 4) Custo de combustível de acordo com Ericsson *et al.* (2009).
- 5) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

Resultados para a Biomassa Florestal

Custos reportados ao instante zero	Valor	Unidade	Custos totais	Valor	Unidade
Investimento	20.190.000,00	€	Financeiros	62.961.077,18	€
<u>O&M</u>	11.076.425,64	€	Sociais	70.008.999,24	€
Combustível	31.694.651,54	€	VAL (Financeiro)	- 10.772.311,80	€
Externos	7.047.922,06	€	VAL (Total)	- 17.820.233,85	€
Vendas	52.188.765,39	€			

(1) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

Anexo VI – Avaliação Económica para os RSU: Combustão directa (ciclo a vapor)

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.37	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	107	€/MWh
Factor de carga	0.59	–	Custos		
			Capital	1346	€/kW
			O&M fixos	60.0	€/kWano
			O&M variáveis	0.007	€/kWh
			Combustível	9.0	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

- 1) A tecnologia de conversão considerada foi a combustão directa.
- 2) Custos de capital de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 3) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 4) Custo de combustível de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 5) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

Resultados para os Resíduos Sólidos Urbanos

Custos reportados ao instante zero	Valor	Unidade	Custos totais	Valor	Unidade
Investimento	20.190.000,00	€	Financeiros	48.491.925,52	€
<u>O&M</u>	12.274.534,36	€	Sociais	58.013.086,27	€
Combustível	16.027.391,16	€	VAL (Financeiro)	- 13.570.021,01	€
Externos	9.521.160,76	€	VAL (Total)	- 23.091.181,76	€
Vendas	34.921.904,51	€			

(1) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

Anexo VII – Avaliação Económica para as Culturas Energéticas: Combustão directa (ciclo a vapor)

Parâmetros	Valor	Unidade	Parâmetros Económicos	Valor	Unidade
Central eléctrica			Parâmetros Económicos		
Tempo de vida	20	Anos	Taxa de desconto	0.1	–
Capacidade	15	MW	Energia		
Eficiência eléctrica	0.20	–	Tarifa <i>Feed-in</i>	107	€/MWh
Factor de carga	0.44	–	Custos		
			Capital	1535	€/kW
			O&M fixos	32.32	€/kWano
			O&M variáveis	0.002	€/kWh
			Combustível	25.2	€/MWh
			Externos	14.5	€/MWh

- 1) A tecnologia de conversão considerada foi a combustão directa.
- 2) Custos de capital de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 3) Custos de O&M de acordo com DEEC/FCTUC (2006).
- 4) Custo de combustível de acordo com Ericsson *et al.* (2009).
- 5) Custos externos de acordo com *European Commission* (2003). Os valores dos custos externos foram actualizados para 2010 de acordo com a taxa de inflação Portuguesa, como indicado no Anexo I.

Resultados para as Culturas Energéticas

Custos reportados ao instante zero	Valor	Unidade	Custos totais	Valor	Unidade
Investimento	23.025.000,0	€	Financeiros	90.156.561,29	€
O&M	5.111.816,091	€	Sociais	97.269.143,18	€
Combustível	62.019.745,2	€	VAL (Financeiro)	- 37.488.999,89	€
Externos	7.112.581,89	€	VAL (Total)	- 44.601.581,78	€
Vendas	52.667.561,4	€			

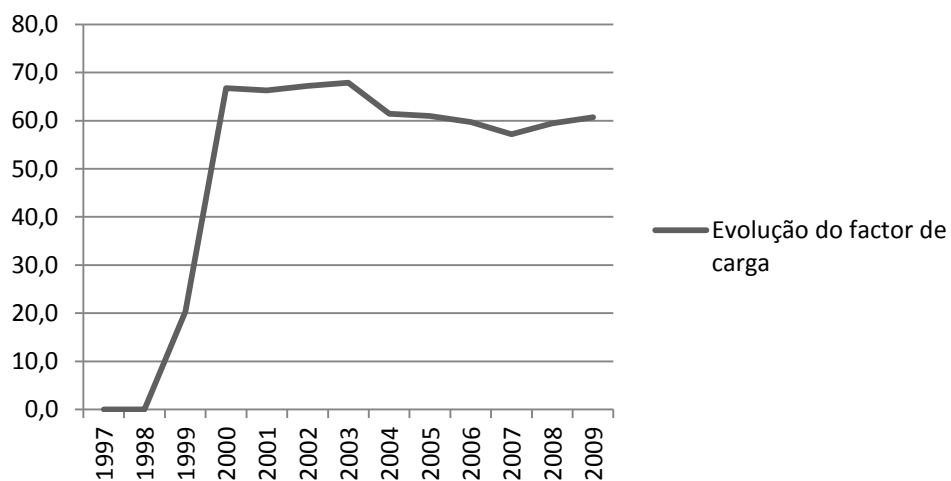
(1) Custos sociais = Custos Financeiros + Custos Externos

Anexo VIII – Comparação do Factor de Carga de várias tecnologias

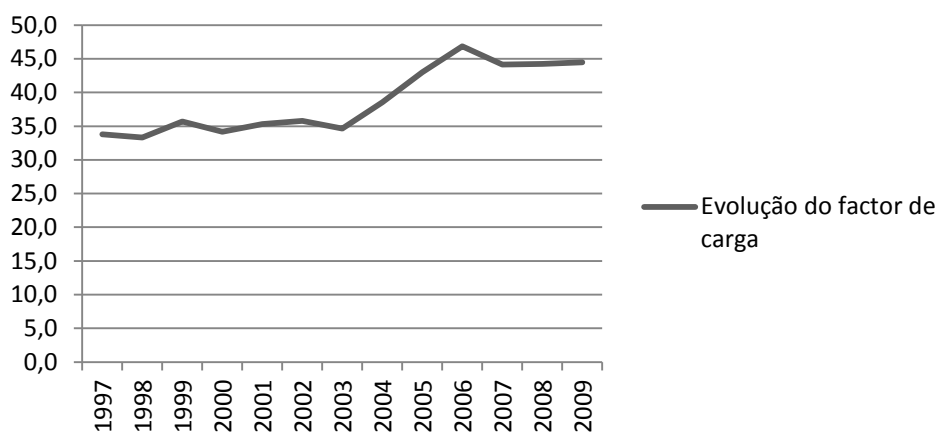
Processo	Factor de carga
Resíduos Sólidos Urbanos	58.9%
Biomassa c/cogeração	38.8%
Biomassa s/cogeração	43.6%
Eólica	25.7%
Grande Hídrica	26.6%
Foto voltaica	15.1%
Biogás	30.5%

(1) Factor de Carga relativo ao ano de 2009. Dados obtidos através da fonte: DGGE (2010)

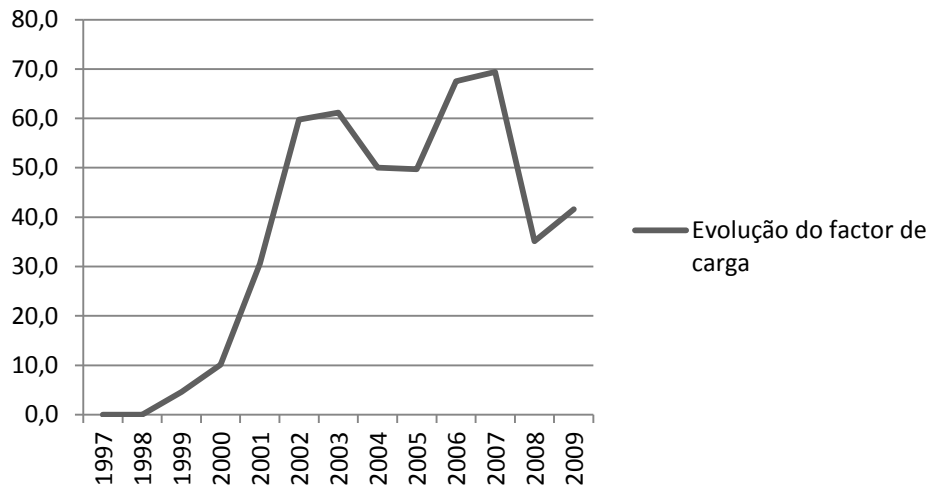
Evolução do factor de carga dos RSU



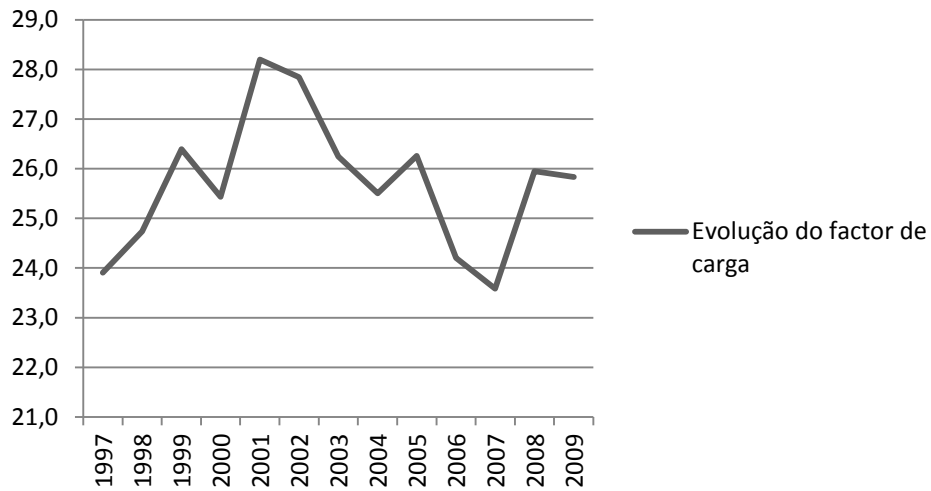
Evolução do factor de carga da biomassa com cogeração



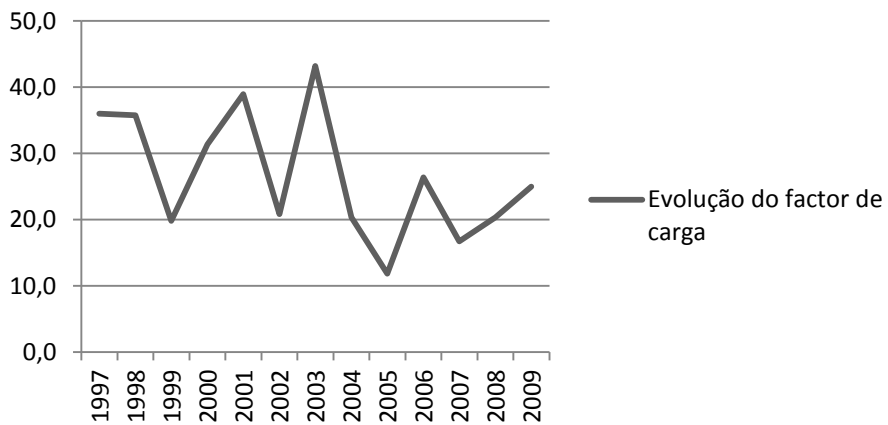
Evolução do factor de carga sem cogeração



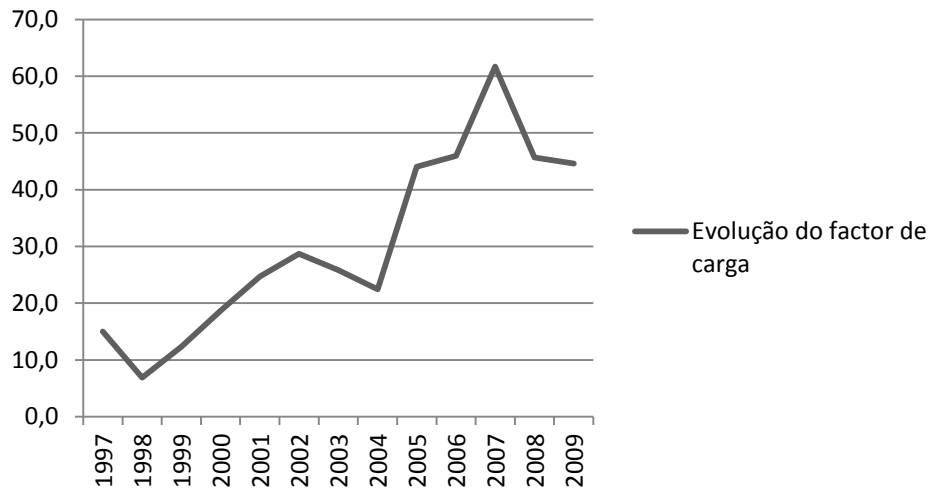
Evolução do factor de carga da eólica



Evolução do factor de carga da Grande hídrica



Evolução do factor de carga do biogás



Evolução do factor de carga da foto voltaica

