



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

A Utilização de Biomassa como Alternativa Energética para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria Portuguesa

Leonel Jorge Ribeiro Nunes

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia e Gestão Industrial
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Paulo da Silva Catalão
Coorientador: Prof. Doutor João Carlos de Oliveira Matias

Covilhã, julho de 2015

Dedicatória

Aos meus Pais, por tudo o que sempre me deram.

À Mónica e ao Francisco, por me acompanharem em todos os momentos.

A todos os que já partiram, mas que continuam na minha lembrança.

Agradecimentos

Agradeço muito à minha família pelo incentivo e apoio incondicional.

Uma palavra em particular aos meus orientadores, pois sem o seu apoio este trabalho não seria possível. Ao Professor João Catalão e ao Professor João Matias, o meu muito obrigado.

Resumo

Atualmente, a produção de energia elétrica apresenta-se como uma das principais preocupações da sociedade atual, influenciando diretamente as atividades do dia-a-dia, tanto ao nível doméstico como industrial.

Historicamente, a utilização de combustíveis de origem fóssil, como o petróleo, carvão e o gás natural, afigura-se como sendo dominante, provendo o mundo de energia. Esta necessidade de produtos energéticos de origem fóssil obriga os países não detentores destes recursos a importá-los, criando um ciclo de dependência.

Com o dealbar da consciência ecológica, também surgiram as primeiras vozes a favor da necessidade de encontrar alternativas para os problemas ambientais levantados pela utilização massiva de combustíveis de origem fóssil. É neste enquadramento que surgem as energias de fonte renovável, que paulatinamente têm vindo a conquistar o seu espaço, e de entre as quais se destaca a biomassa.

Portugal, pelas suas características geográficas e climáticas, apresenta recursos de biomassa capazes de dar resposta a uma demanda crescente, em virtude das recentes aplicações industriais, tanto do ponto de vista da produção de energia elétrica como da produção de calor para os diferentes processos industriais.

É neste contexto que se desenvolve o presente trabalho e que tem como principal objetivo a análise da utilização da biomassa enquanto alternativa energética sustentável e motor da competitividade da indústria Portuguesa.

Nesse sentido foram analisados cinco casos de estudo, referentes a utilizações de biomassa enquanto alternativa energética propriamente dita, onde foi estudada a substituição de combustíveis de origem fóssil por biomassa, na indústria têxtil, mas também de análise dos mercados de produtos derivados de biomassa, como é o caso dos *pellets* de biomassa, ou a própria utilização de formas alternativas de biomassa. Foram também analisadas questões ambientais relacionadas com a utilização de biomassa em detrimento dos combustíveis de origem fóssil e também a utilização de novas tecnologias, ainda em desenvolvimento, como é o caso da torrefação de biomassa.

Nos casos de estudo analisados verificou-se que existem inúmeras vantagens na utilização da biomassa, e das quais se destacam a diminuição da dependência externa face à importação de produtos energéticos de origem fóssil substituída pela utilização de um recurso endógeno, o desenvolvimento da economia regional e a criação de postos de trabalho, e ainda a diminuição das emissões de CO₂ e de outros poluentes.

Verificou-se também que, por se tratar de uma área ainda a dar os primeiros passos, existe uma grande necessidade de se continuar a estudar de forma mais aprofundada todos os temas associados à utilização da biomassa como alternativa energética, pois também acarreta algumas desvantagens na sua utilização, por exemplo a gestão das cinzas, a emissão de partículas para a atmosfera, problemas de natureza logística e do estado atual da tecnologia.

Assim, conclui-se que a biomassa, não obstante algumas desvantagens aquando da comparação direta das diferentes formas de produto energético com os tradicionais combustíveis de origem fóssil, nomeadamente ao nível do poder calorífico, densidade e aspetos logísticos, apresenta vantagens que permitem encarar a biomassa como uma alternativa energética para a sustentabilidade e competitividade da indústria Portuguesa, tanto como fonte alternativa de natureza renovável, como pelo facto de a exploração de biomassa ser por si só um elemento potenciador de novos negócios, tanto associados à exploração dos recursos florestais, como também ao processamento industrial associado à produção de *pellets* ou mesmo à torrefação de biomassa.

Palavras-chave

Biomassa, energia, recursos florestais, sustentabilidade e competitividade.

Abstract

Currently, energy production is presented as one of the main concerns of our current society, influencing everyday activities directly, both domestically and industrial.

Historically, the use of fossil fuels such as oil, coal and natural gas, appears to be dominant, providing the world with energy. This need for fossil energy products requires that countries do not possess these resources to import them, creating a dependency cycle.

With the outbreak of the ecological consciousness, also emerged the first voices in favour of the need to find alternatives for the environmental problems raised by the massive use of fossil fuels. It is in this framework that renewable energy sources have been gradually gaining its space, and among which stands out the biomass.

Portugal, due to its geographical and climatic characteristics, presents biomass resources able to meet a growing demand, due to the recent industrial applications, both from the point of view of electricity production and heat production for different industrial processes.

It is in this context that the present work was developed and whose main objective is the analysis of the use of biomass as an alternative and sustainable energy source for the competitiveness of the Portuguese industry.

In this sense, five case studies have been analysed related to biomass use as an energy alternative itself, where the replacement of fossil fuels with biomass has been studied in the textile industry, but also an analysis of biomass-derived product markets has been made, as in the case of biomass *pellets*, or the actual use of alternative ways of biomass. Environmental issues related to the use of biomass at the expense of fossil fuels have been also analysed, as well as the use of new technologies under development such as the roasting biomass.

In the case of the studies analysed it was discovered that there are numerous advantages in using biomass, and of which can be highlighted the reduction in external dependency on imports of energy products of fossil fuels replaced by the use of an indigenous resource, regional economic development and jobs creation, reduced emissions of CO₂ and other pollutants. It was also found that, because it is an area still in its infancy, there is a great need to continue to study in greater depth all the topics related to the use of biomass as an energy alternative, bringing some disadvantages in its use, for example the management of ash particulate emissions to the atmosphere, logistic problems and the current state of technology.

Thus, it can be concluded that the biomass, despite some disadvantages when directly compared with traditional fossil fuels, especially in terms of calorific value, density and logistics, has advantages that allow to consider biomass as an alternative energy source for the sustainability and competitiveness of the Portuguese industry, both as an alternative source of renewable energy, as the fact that the exploitation of biomass by itself can be an enhancer element of new business forms, linked to the exploitation of forest resources, but also associated with the industrial processing such as the production of *pellets* or torrefaction of biomass.

Keywords

Biomass, energy, forestry, sustainability and competitiveness.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	3
1.2. Caracterização do tema	10
1.3. Motivação e objetivos	13
1.4. Metodologia da investigação	15
1.5. Organização do texto	17
1.6. Notação	18
2. Caracterização do sector da energia	21
2.1. Enquadramento	23
2.2. A energia na Europa e no Mundo	24
2.3. A energia em Portugal	29
2.4. Utilização atual da biomassa florestal em Portugal	32
2.4.1. A biomassa florestal como uma oportunidade de negócio e de criação de valor	32
2.4.2. Incentivos e políticas energéticas para o aproveitamento da biomassa florestal em Portugal	35
2.5. Vantagens/limitações da utilização de biomassa para produção de energia e tendências futuras	37
2.6. Conclusões	39
3. A biomassa como fonte de energia	41
3.1. Enquadramento	43
3.2. Potencial da biomassa enquanto recurso energético	45
3.3. Produção dedicada para fins energéticos	49
3.3.1. Concorrência entre culturas tradicionais e culturas energéticas	54
3.3.2. Culturas energéticas	56
3.3.3. Culturas energéticas em Portugal	57
3.4. Valorização de resíduos de biomassa	58
3.5. Perspetivas de utilização da biomassa	60
3.6. Conclusões	62
4. A floresta Portuguesa enquanto recurso	63
4.1. Enquadramento	65
4.2. A utilização de biomassa na Europa	65
4.3. A exploração de biomassa florestal	73
4.4. A situação em Portugal	77
4.4.1. A floresta Portuguesa	77
4.4.2. Valorização energética da biomassa florestal	77

4.5. Tendências futuras para a utilização de biomassa	81
4.6. Conclusões	82
5. Estudo de casos	85
5.1. Os <i>pellets</i> de biomassa como recurso energético em Portugal	87
5.1.1. Enquadramento	87
5.1.2. O mercado Português dos <i>pellets</i> de biomassa	89
5.1.3. Análise do mercado	94
5.1.4. Conclusões	97
5.2. Produção e caracterização de <i>pellets</i> de cortiça	97
5.2.1. Enquadramento	97
5.2.2. A produção de <i>pellets</i>	100
5.2.3. Produção e caracterização dos <i>pellets</i> de resíduos de cortiça	102
5.2.3.1. Resíduos de cortiça	102
5.2.3.2. Preparação do material para a <i>pelletização</i>	104
5.2.3.3. Teor de humidade	106
5.2.3.4. Poder calorífico	106
5.2.3.5. Teor de cinzas	106
5.2.3.6. Densidade	106
5.2.3.7. Durabilidade	106
5.2.4. Resultados e discussão	107
5.2.5. Conclusões	109
5.3. A energia da biomassa como alternativa energética sustentável para a indústria têxtil	110
5.3.1. Enquadramento	110
5.3.2. Fontes de energia utilizadas na indústria de tinturaria têxtil Portuguesa	112
5.3.3. Estudo comparativo entre a utilização de biomassa e gás natural	121
5.3.4. Análise SWOT da utilização de biomassa como fonte energética alternativa para a indústria têxtil	124
5.3.5. Conclusões	125
5.4. Utilização de biomassa residual: modelo teórico de co-combustão aplicado à central termoelétrica de Sines	126
5.4.1. Enquadramento	126
5.4.2. A co-combustão em centrais termoelétricas convencionais a carvão	126
5.4.3. Simulação teórica de co-combustão de biomassa residual na central termoelétrica de Sines	129
5.4.3.1. Central termoelétrica de Sines	129
5.4.3.2. Emissões atmosféricas de CO ₂	132

5.4.3.3. Redução das emissões com a co-combustão de biomassa	133
5.4.3.4. Viabilidade económica	134
5.4.4. Conclusões	135
5.5. Conversão de biomassa através da torrefação	136
5.5.1. Enquadramento	136
5.5.2. História do processo de torrefação	138
5.5.2.1. Origem do processo de torrefação	138
5.5.2.2. Trabalhos modernos sobre torrefação (1980 - ...)	139
5.5.3. Processo de torrefação de biomassa	140
5.5.3.1. Balanços de energia e de massa	141
5.5.3.2. Características dos produtos sólidos	142
5.5.3.2.1. Alterações na composição elementar	142
5.5.3.2.2. Poder calorífico e teor de voláteis	143
5.5.3.2.3. Friabilidade, resistência à moagem e características do pó	144
5.5.3.2.4. Características de abastecimento/fornecimento	144
5.5.3.2.5. Propriedades hidrofóbicas e resistência a fungos	144
5.5.3.2.6. Composição molecular e alterações	146
5.5.3.3. Gases produzidos	147
5.5.3.3.1. Gases permanentes	147
5.5.3.3.2. Gases condensáveis	148
5.5.4. Processos de refinamento adicionais	149
5.5.4.1. Lavagem	149
5.5.4.2. Densificação	149
5.5.4.2.1. <i>Pelletização</i>	149
5.5.4.2.2. Produção de <i>briquettes</i>	154
5.5.5. Tecnologias de torrefação	155
5.5.5.1. Tecnologias em desenvolvimento	155
5.5.5.2. Estado atual das unidades de produção construídas	156
5.5.6. Experiências de utilização final	159
5.5.7. Conclusões	161
6. Análise estratégica, social, económica e ambiental da utilização de biomassa como recurso energético	163
6.1. Análise estratégica associada à utilização de biomassa para fins energéticos	165
6.1.1. Enquadramento	165
6.1.2. Análise SWOT à utilização de biomassa para fins energéticos	166

6.1.3. Conclusões	172
6.2. Aspectos de natureza económica	172
6.2.1. Enquadramento	172
6.2.2. Impactes na economia	173
6.2.3. Conclusões	175
6.3. Análise social	175
6.3.1. Enquadramento	175
6.3.2. Custos sociais	176
6.3.3. Seleção de indicadores de sustentabilidade	178
6.3.4. Conclusões	180
6.4. Aspectos de natureza ambiental	180
6.4.1. Enquadramento	180
6.4.2. Impactes ambientais associados à recolha da biomassa	183
6.4.2.1. Biodiversidade	183
6.4.2.2. Solo	183
6.4.2.3. Recursos hídricos	184
6.4.3. Impactes ambientais associados ao transporte da biomassa	185
6.4.4. Impactes ambientais associados à combustão de biomassa	185
6.4.4.1. Emissões	185
6.4.4.2. Chuvas ácidas	187
6.4.4.3. Produção de cinzas	187
6.4.5. Conclusões	188
7. Conclusões	189
7.1. Contribuições	191
7.2. Limitações da investigação	196
7.3. Perspetiva de trabalhos futuros	197
7.4. Publicações	199
Referências bibliográficas	201

Lista de Figuras

Figura 1.1. Distribuição da área total de floresta por espécie [1.5].	4
Figura 1.2. Evolução da potência total instalada em renováveis (adaptado de [1.24]).	9
Figura 1.3. Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [1.34].	11
Figura 2.1. Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh) [2.44].	30
Figura 2.2. Produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis - Ano Móvel (GWh) Portugal Continental [2.49].	32
Figura 2.3. O Ciclo do Carbono da Biomassa (adaptado de [2.77])	38
Figura 4.1. Representação esquemática dos processos de conversão da biomassa [4.9].	70
Figura 5.1.1. Produção de <i>pellets</i> de biomassa em 2010 e a sua previsão para 2015 e 2020 (adaptado de [5.1.5]).	87
Figura 5.1.2. Consumo de <i>pellets</i> de biomassa em 2010 com previsões para 2015 e 2020 (adaptado de [5.1.5]).	88
Figura 5.1.3. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado num lar de 3ª idade no Norte de Portugal. O conjunto é formado por duas caldeiras de 150 kW e um depósito de inércia de 4.000 litros de água e um depósito de 300 litros de combustível para cada caldeira, que trabalham alternadamente.	89
Figura 5.1.4. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado numa piscina municipal no Norte de Portugal.	90
Figura 5.1.5. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado numa unidade de produção de <i>pellets</i> de Madeira e que alimenta uma estufa onde se efetua o choque térmico, como medida preventiva para a dispersão do nematode do Pinheiro.	90
Figura 5.1.6. Sistema a <i>pellets</i> de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - <i>pellets</i> de biomassa no depósito.	91
Figura 5.1.7. Sistema a <i>pellets</i> de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - sistema de fornecimento dos <i>pellets</i> de biomassa.	91
Figura 5.1.8. Sistema a <i>pellets</i> de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - caldeira de vapor.	92
Figura 5.1.9. Grande unidade de produção de <i>pellets</i> de biomassa, com uma capacidade de produção de cerca de 130.000 toneladas por ano, localizada na zona centro de Portugal.	93
Figura 5.1.10. Grande unidade de produção de <i>pellets</i> de biomassa, com uma capacidade de produção de cerca de 100.000 toneladas por ano, localizada na zona Norte de Portugal.	93
Figura 5.1.11. <i>Pelletizadora</i> numa unidade de pequenas dimensões localizada no Norte de Portugal. Esta unidade processa essencialmente resíduos de cortiça.	94

Figura 5.1.12. <i>Pellets</i> de biomassa à venda numa grande superfície na zona Norte de Portugal.	96
Figura 5.2.1. Esquema de uma unidade de produção de <i>pellets</i> de biomassa padrão (adaptado de [5.2.24]).	100
Figura 5.2.2. Granulado de cortiça com tamanho de partícula superior a 5 mm e uma densidade de 90 kg/m ³ .	102
Figura 5.2.3. Granulado de cortiça com tamanho de partícula superior a 2 mm e uma densidade de 120 kg/m ³ .	102
Figura 5.2.4. Granulado de cortiça com tamanho de partícula inferior a 2 mm e uma densidade de 60 kg/m ³ .	103
Figura 5.2.5. Moinho de martelos.	104
Figura 5.2.6. <i>Pelletizadora</i> Munch Edelshtal RMP 420 usada na produção dos <i>pellets</i> de cortiça.	105
Figura 5.2.7. <i>Pellets</i> de cortiça.	105
Figura 5.2.8. Comparação do PCS de <i>pellets</i> de madeira de pinho e eucalipto (1, 2, 3, 4 e 5), <i>pellets</i> de biomassa florestal (6 e 7) e <i>pellets</i> de cortiça (8).	109
Figura 5.3.1. Queimador a gás natural numa caldeira de vapor.	114
Figura 5.3.2. Queimador a gás propano numa caldeira a vapor.	114
Figura 5.3.3. Queimador a nafta numa caldeira de vapor.	115
Figura 5.3.4. Caldeira a vapor com 2 queimadores a gás natural que produz 20 t/h de vapor a 10 bar.	115
Figura 5.3.5. Sala de caldeiras de uma grande unidade de produção têxtil no Norte de Portugal.	116
Figura 5.3.6. Queimador a biomassa numa caldeira de vapor que utiliza <i>pellets</i> de biomassa.	116
Figura 5.3.7. Outro tipo de queimador de biomassa numa caldeira de vapor que utiliza <i>pellets</i> de biomassa. Neste conjunto queimador/caldeira os <i>pellets</i> de biomassa são fornecidos em <i>big-bags</i> , colocados numa tremonha superior ao queimador.	117
Figura 5.3.8. Queimador de biomassa numa caldeira de vapor que utiliza estilha de biomassa.	117
Figura 5.3.9. Silos para armazenamento de <i>pellets</i> de biomassa, que fazem a alimentação de uma caldeira de vapor.	118
Figura 5.3.10. Sistema automático de alimentação de <i>pellets</i> de biomassa. Nesta figura apresenta-se o depósito de <i>pellets</i> de biomassa.	118
Figura 5.3.11. Sistema automático de alimentação de <i>pellets</i> de biomassa. Nesta figura apresenta-se o sistema de transporte dos <i>pellets</i> de biomassa para o queimador.	119
Figura 5.3.12. Sistema automático de alimentação de estilha de biomassa. Nesta figura apresenta-se o depósito de estilha de biomassa.	119
Figura 5.3.13. Sistema automático de alimentação de estilha de biomassa. Nesta figura apresenta-se o sistema de transporte de estilha de biomassa para o queimador.	120

Figura 5.3.14. Sistema de filtragem de partículas (multiciclone) e economizador.	120
Figura 5.3.15. Sistema de filtragem de partículas (filtro de mangas).	121
Figura 5.4.1. Panorâmica da central e do Porto de Sines (www.edp.pt).	130
Figura 5.4.2. Quatro geradores da Central de Sines (www.edp.pt).	130
Figura 5.4.3. Pormenor dos grupos geradores que constituem a central (www.edp.pt).	131
Figura 5.4.4. Barco a efetuar a descarga de carvão para a Central Termoelétrica de Sines (www.edp.pt).	131
Figura 5.4.5. Panorâmica do parque de carvão e das baterias ativas (www.edp.pt).	132
Figura 5.4.6. Carvão a ser transportado pelos tapetes transportadores para a unidade de moagem.	132
Figura 5.4.7. Chaminés da Central Termoelétrica de Sines (www.edp.pt).	133
Figura 5.4.8. Comparação de preços entre carvão e biomassa residual (os preços para o carvão betuminoso foram consultados em www.indexmundi.com).	135
Figura 5.5.1. Diagrama de van Krevelen ilustrando as alterações elementares na composição de combustíveis de madeira torrificada [5.5.43; 5.5.48; 5.5.49].	143
Figura 5.5.2.a. Ilustração da resistência à água do material torrificado e <i>pelletizado</i> , comparado com <i>pellets</i> de biomassa não tratada, após 5 minutos de imersão em água.	145
Figura 5.5.2.b. Ilustração da resistência à água do material torrificado e <i>pelletizado</i> , comparado com <i>pellets</i> de biomassa não tratada, após uma hora de imersão em água.	145
Figura 5.5.3. Estilha biomassa torrificada utilizada no ensaio.	151
Figura 5.5.4. Preparação da amostra e homogeneização da mesma, antes de ser introduzida no processo industrial.	152
Figura 5.5.5. Introdução da amostra no processo industrial por transporte pneumático para ser submetida à moagem.	152
Figura 5.5.6. Equipamento de <i>pelletização</i> usado neste ensaio.	153
Figura 5.5.7. <i>Pellets</i> de biomassa torrificada à saída da <i>Pelletizadora</i> .	153
Figura 5.5.8. <i>Pellets</i> de biomassa torrificada produzidos no ensaio.	154
Figura 5.5.9. Reator de tipo rotativo pertencente à empresa Konza Renewable Fuels, dos EUA.	155
Figura 5.5.10. Instalações da YGE - Yser Green Energy SA, situada em Oliveira de Azeméis (Portugal).	158
Figura 5.5.11. Caldeira de óleo térmico equipada com uma fornalha de biomassa, que se encontra a queimar <i>pellets</i> de biomassa torrificada desde Maio de 2014. Estima-se que tenham sido consumidos cerca de 200 toneladas de <i>pellets</i> de biomassa torrificada nesta caldeira.	160
Figura 5.5.12. Aspeto do interior da fornalha com a combustão de <i>pellets</i> de biomassa torrificada.	161
Figura 6.4.1. Equipamento de carga e descarga de madeira a operar num centro logístico de biomassa, no momento em que carrega um destrocador móvel de biomassa que produz estilha a partir de rolaria de pinheiro.	182

- Figura 6.4.2. Aspeto de uma chaminé industrial que faz a emissão para a atmosfera de um conjunto de caldeiras de vapor e de óleo térmico de uma unidade industrial de tinturaria têxtil de grandes dimensões, localizada no norte de Portugal. 186
- Figura 6.4.3. Amostra de cinzas recolhidas de uma caldeira de produção de água quente. 188

Lista de Tabelas

Tabela 1.1. Prós e contras da utilização de biomassa como fonte de energia.	5
Tabela 1.2. Produção de biomassa florestal (A); Disponibilidade de biomassa florestal (B); Potencial disponível de resíduos da floresta para produção de energia (C).	6
Tabela 1.3. Evolução da instalação de fontes de energias renováveis no período de 2005 a 2012.	9
Tabela 2.1 - Evolução da energia elétrica produzida a partir da biomassa (GWh) (adaptada de [2.47]).	31
Tabela 2.2. As energias renováveis no balanço energético (adaptado de [2.50]).	32
Tabela 5.1.1. Lista de unidades de produção de <i>pellets</i> de biomassa em Portugal.	95
Tabela 5.2.1. Comparação do teor de humidade: resíduos de cortiça antes de entrar no processo produtivo e <i>pellets</i> de cortiça.	107
Tabela 5.2.2. Poder calorífico das amostras de <i>pellets</i> de cortiça.	107
Tabela 5.2.3. Comparação de densidades: resíduos de cortiça, <i>pellets</i> de cortiça e <i>pellets</i> de madeira convencionais.	108
Tabela 5.2.4. Resumo das características físicas dos <i>pellets</i> de cortiça.	108
Tabela 5.2.5. Resumo das características físicas dos <i>pellets</i> de biomassa (pinheiro e eucalipto) e <i>pellets</i> de resíduo florestal.	109
Tabela 5.3.1. Valores médios mensais do consumo de gás natural de 2012, obtidos nas 10 maiores tinturarias do Vale do Ave e do Vale do Cávado.	122
Tabela 5.3.2. Valores médios anuais de consumo de gás natural em 2012.	122
Tabela 5.3.3. Valores anuais estimados para o consumo de estilha de madeira.	123
Tabela 5.3.4. Valores anuais estimados para o consumo de <i>pellets</i> de biomassa.	123
Tabela 5.3.5. Poupança anual total com a utilização de biomassa comparativamente ao gás natural.	124
Tabela 5.3.6. Investimento necessário para a substituição das caldeiras de vapor.	124
Tabela 5.3.7. Análise SWOT.	125
Tabela 5.4.1 - Características do carvão betuminoso originário da Colômbia, utilizado em Portugal e da biomassa residual (adaptado de [5.4.23])	129
Tabela 5.5.1. Vantagens da torrefação e desafios (adaptado de [5.5.4]).	138

Lista de Acrónimos

UE	União Europeia
RCM	Resolução do Conselho de Ministros
ENF	Estratégia Nacional para as Florestas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
FER	Fontes de Energias Renováveis
TCMA	Taxa de Crescimento Média Anual
PIP	Projetos de Interesse Público
GEE	Gases com Efeito de Estufa
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
MLA	<i>Modern Language Association</i>
PNDFCI	Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios
ZIF	Zonas de Intervenção Florestal
MAAPE	Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético
QREN	Quadro de Referência Estratégica Nacional
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
PIB	Produto Interno Bruto
IEA	<i>International Energy Agency</i>
CESE	Comité Económico e Social Europeu
PAC	Política Agrícola Comum
SMG	Superfície Máxima Garantida
AEBIOM	<i>European Biomass Association</i>
IFN	Inventário Florestal Nacional
PROF	Planos Regionais de Ordenamento Florestal
PGF	Planos de Gestão Florestal
CNR	Conselho Nacional de Reflorestação
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
LHV	<i>Low Heating Value</i>
HHV	<i>High Heating Value</i>
EUA	Estados Unidos da América

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma introdução ao assunto em análise nesta tese, onde se aborda a temática da biomassa como alternativa energética e de sustentabilidade para a indústria Portuguesa, tanto do ponto de vista da sua utilização em detrimento dos combustíveis ditos tradicionais, como da possibilidade de criação de negócios associados à sua produção, fornecimento e disponibilização aos potenciais consumidores finais. Faz-se também o enquadramento da investigação realizada, e a motivação para a seleção do tema. Seguidamente, também se descreve a forma como o texto está organizado e a notação utilizada nesta tese.

1.1. Enquadramento

Portugal tem cerca de 35% do seu território coberto com floresta. No entanto, este valor representa uma diminuição superior a 150 mil hectares de 1995 a 2010, a que corresponde a uma perda líquida de 0.3% por ano. Esta diminuição é sentida especialmente nas regiões Norte e Centro, com a reconversão do uso florestal para uso urbano (cerca de 28 mil hectares) [1.1].

Neste período de tempo registou-se igualmente um crescimento contínuo da área arborizada inferior a 1% ao ano. Só na região do Alentejo houve um aumento líquido da área de florestas de 25 mil hectares. O aumento da área arborizada é explicado pela regeneração natural, demonstrando a aptidão natural dos solos portugueses para a floresta, mas também pela ação dos proprietários florestais, que têm continuado a investir na floresta com ações de arborização e rearborização, com particular ênfase para as culturas de eucalipto, sobreiro e pinheiro [1.2].

A área florestal nacional pertence maioritariamente a proprietários privados, dado este que torna Portugal o país da União Europeia com mais floresta nas mãos dos privados. Estima-se que 93% da floresta portuguesa pertença a mais de 400 mil proprietários particulares, sendo o restante distribuído entre o Estado e baldios comunitários geridos por associações. Esta realidade contrasta com países como Espanha ou Grécia onde a floresta pública representa, respetivamente, 30% e 75% da totalidade da área florestal. A dimensão média da propriedade florestal em Portugal, que ronda os 2 a 4 hectares, assume um valor baixo, que justifica também a grande fragmentação da propriedade florestal [1.3].

Nos últimos anos, a estrutura florestal do país alterou-se significativamente, mas continua a verificar-se que o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), o sobreiro (*Quercus suber*) e os eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) são as três espécies mais representativas, ocupando quase 75% da área de floresta, e são também aquelas com maior interesse económico. O eucalipto (dominado pela espécie *Eucalyptus globulus*) passou a ser a principal ocupação florestal do continente em área e percentagem (812 mil hectares; 26%), o sobreiro a segunda (737 mil hectares; 23%), e o pinheiro bravo (714 mil hectares; 23%) passou de primeira espécie a terceira [1.4].

A principal alteração das áreas das espécies florestais entre 1995 e 2010 ocorreu ao nível do pinheiro bravo que apresenta uma diminuição de cerca de 263 mil hectares, e na área de eucalipto, aumentando cerca de 95 mil hectares (Figura 1.1).

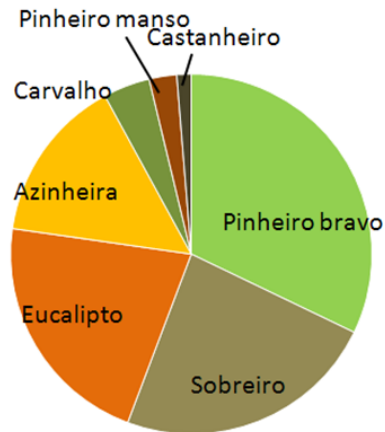


Figura 1.1. Distribuição da área total de floresta por espécie [1.5].

Estima-se que a floresta é a base de um sector da economia que gera cerca de 113 mil empregos diretos, ou seja, 2% da população ativa. Este número tem-se mantido mais ou menos constante durante as últimas duas décadas o que, com o nível de produção que se tem verificado, sugere um crescimento na produtividade do trabalho no sector. Este representa também cerca de 10% das exportações e 3% do valor acrescentado bruto [1.6].

No âmbito da indústria florestal destaca-se o seguinte:

- A fileira da madeira de serração tem vindo a assistir a um fenómeno de concentração, com o desaparecimento de pequenas serrações. Estima-se, contudo, que se mantém o volume de vendas total. Em 2009, contribuiu para cerca de 1,5% das exportações totais [1.7].
- A fileira da pasta e papel contribui para cerca de 4 mil empregos diretos, mas a sua principal evolução tem sido no aumento da integração vertical no sector, com maior produção de papel e cartão, o que conduz a um acréscimo notável de valor do produto, evolução que tende ainda a aumentar. É o segundo sector com maior valor acrescentado nacional, e corresponde a 5% das exportações nacionais [1.8].
- A fileira da cortiça representa uma importante fração no comércio externo nacional, com cerca de um terço do total das exportações. O número de empresas desta fileira era de 828 em 2003, sendo o número de empregos por elas gerados superior a 12 mil [1.9].

Face às preocupações crescentes no âmbito das alterações climáticas, à crescente dependência de combustíveis fósseis e ao aumento dos custos da energia, diversos países, em particular europeus, têm vindo a promover as fontes de energia renováveis.

Neste contexto, surge o conceito de biomassa, como sendo a matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada como fonte de energia renovável, sob a forma de eletricidade, calor ou combustível [1.10].

Em Portugal, a biomassa é identificada, essencialmente, como um recurso apto para a utilização nas seguintes opções:

- Fornos industriais e instalações de cogeração existentes.
- Centrais termoelétricas já existentes.
- Novas centrais e unidades energéticas com base em tecnologias avançadas.

Na Tabela 1.1 apresentam-se algumas das vantagens e desvantagens da utilização de biomassa [1.11].

Tabela 1.1. Prós e contras da utilização de biomassa como fonte de energia.

Vantagens	Desvantagens
Redução da dependência energética;	Custos de investimentos por MW elevados;
Possibilidade de aproveitamento de resíduos industriais;	Maior probabilidade de emissão de partículas para a atmosfera;
Possibilidade de gestão integrada das florestas (se assegurada de forma sustentável);	A pressão sobre o recurso poderá aumentar consideravelmente o seu custo, comprometendo a rentabilidade dos projetos;
Regularidade da produção e possibilidade de modulação (maior controlo na produção da eletricidade);	Menor poder calorífico comparativamente com os combustíveis convencionais;
Balanço de emissões de CO ₂ nulo.	Necessidade de armazenamento, com complexas e onerosas operações de transporte e manuseamento da biomassa;
	Poderá colocar em risco a sustentabilidade do recurso a médio e longo prazo (colocando em risco os investimentos).

Perante a percentagem de área do território nacional coberta por floresta, identificou-se a biomassa florestal como sendo os materiais lignocelulósicos obtidos da limpeza das florestas, incluindo ramos e bicadas, assim como os matos de sub-coberto e em áreas de incultos, sem esquecer a madeira sem valor comercial proveniente de áreas percorridas por incêndios, e ainda, os resíduos e os desperdícios das unidades de transformação da madeira que, na situação atual, não podem ser reciclados ou escoados para transformação ou incorporação em produtos com interesse comercial [1.12].

A biomassa florestal resulta fundamentalmente das ações de gestão florestal, como desbastes, desramações e corte final (ramos, bicadas e cascas), derivados das indústrias de transformação e produtos no final do ciclo de vida dos produtos florestais lenhosos.

Na verdade, o aproveitamento da biomassa florestal esteve desde sempre ligado à necessidade da madeira para energia, nomeadamente para utilização doméstica. Com o desenvolvimento industrial, muitos destes resíduos passaram a ser canalizados para o abastecimento de unidades industriais como fonte de energia [1.13].

Em Portugal existe uma grande discrepância entre a disponibilidade potencial e a disponibilidade efetiva de biomassa florestal. A Tabela 1.2 apresenta as quantidades indicativas de biomassa florestal de acordo com a proveniência, distinguindo a produção de biomassa florestal, e a efetiva disponibilidade deste recurso energético [1.14]:

Tabela 1.2. Produção de biomassa florestal (A); Disponibilidade de biomassa florestal (B); Potencial disponível de resíduos da floresta para produção de energia (C).

Tipo de resíduo (A)	Quantidade (milhões de toneladas/ano)
Matos	5,0
Produção de lenhas	0,5
Ramos e bicadas	1,0
Total	6,5
Produção de biomassa florestal	
Tipo de resíduo (B)	Quantidade (milhões de toneladas/ano)
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e bicadas	1,0
Total	2,0
Disponibilidade potencial de biomassa florestal	
Proveniência dos resíduos (C)	Quantidade (milhões de toneladas/ano)
Floresta	2,0
Indústria Transformadora da Madeira	0,2
Total	2,2

Perante esta discrepância, existe a consciência de que, em muitas situações, só uma pequena porção destes resíduos terá viabilidade económica para ser aproveitada para produção de energia. Aliás, de acordo com a gestão florestal sustentável dos povoamentos, é recomendável a incorporação de parte dos matos e resíduos na floresta, e não a sua exportação integral [1.15].

Em Portugal já é utilizada uma importante parte da biomassa florestal para aproveitamento energético, principalmente nas indústrias de produção de pasta de papel, painéis, aglomerados e resíduos de madeira (briquetes e *pellets*) [1.16]. Paralelamente, em 2005, o país lançou um concurso para atribuir 100 MW de potência para a produção de energia elétrica a partir de biomassa florestal (em 15 centrais). O objetivo era atingir os 250 MW de potência de centrais a biomassa florestal dedicadas, somando aos 150 MW licenciados em Projetos de Interesse Público (PIP) fora destes concursos [1.17].

Perante a aposta nesta energia renovável e considerando a potencialidade de biomassa florestal em Portugal, é expectável que aumentem as necessidades. Neste sentido, a sustentabilidade do subsector energético com base na biomassa florestal, face às capacidades a instalar, poderá ter de passar pela existência de culturas florestais energéticas complementares aos sobrantes, no caso de carências de fornecimento regular às centrais. Caso contrário, as disponibilidades de biomassa poderão ser insuficientes para as necessidades do país, o que poderá pôr em causa a consecução dos objetivos iniciais [1.18].

O recurso à produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis requer o cumprimento de vários trâmites legais. Assim, o quadro legislativo em Portugal está enquadrado com as metas europeias de utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis e com a melhoria substancial na eficiência energética do país [1.19]. Desde logo, no programa de atuação para reduzir a dependência de Portugal face ao petróleo, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 171/2004, de 29 de Novembro, foi identificado um conjunto de medidas para reduzir em 20% a intensidade energética e a dependência do petróleo, nas quais são listadas medidas relevantes para a energia renovável relacionada com a biomassa oriunda da atividade agrícola, florestal e respetivas fileiras industriais [1.20].

A Comissão Europeia, por seu lado, em 2005, aprovou o Plano da Biomassa visando uma abordagem coordenada das políticas em vigor no espaço europeu, que inclui medidas destinadas às fileiras do bioetanol e do biodiesel, e à produção de biomassa para geração de energia elétrica e térmica. Nesta sequência, Portugal aprovou os seguintes planos [1.21]:

- A RCM n.º 169/2005, de 24 de Outubro, estabeleceu a Estratégia Nacional para a Energia. Este documento apontava para a necessidade de aumentar a potência instalada (objetivo em concretização através de um concurso público para a instalação de 15 centrais termoelétricas a biomassa florestal com uma potência conjunta de 100 MW a decorrer), assim como a adoção de medidas de valorização da biomassa florestal, em regime a compatibilizar com as indústrias da madeira e da pasta de papel e medidas de avaliação de critérios de remuneração da eletricidade produzida, tendo em conta as especificidades tecnológicas e os critérios ambientais.
- A Estratégia Nacional para as Florestas (RCM n.º 114/2006) destaca a necessidade de se criar um mercado para os materiais combustíveis que promovam o aproveitamento dos matos e reduzam os custos de manutenção e limpeza dos povoamentos florestais.
- O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) (2008-2015) estabeleceu como meta a alcançar até 2015 a implementação de medidas de melhoria de eficiência energética equivalentes a 10% do consumo final de energia (RCM n.º 80/2008, de 20 de Maio).

- A Estratégia para a Energia (ENE 2020), apresentada na RCM n.º 29/2010, de 15 de Maio, definiu a aposta nas energias renováveis e a utilização da política energética, para a promoção do crescimento e da independência energética e financeira nacional, bem como para o desenvolvimento económico territorialmente equilibrado.
- A Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2010, de 3 de Novembro, veio estabelecer no âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, medidas de concretização dos projetos de centrais dedicadas a biomassa florestal relativos aos concursos realizados em 2006. São medidas destinadas a assegurar a sustentabilidade a prazo do abastecimento das centrais dedicadas a biomassa, bem como a efetivar a sua construção e exploração, até final de 2013, associando ao cumprimento destes objetivos a aplicação de um incentivo económico.
- O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), em que é prevista a geração de calor e energia elétrica, a partir da combustão de biomassa de diferentes origens, como um recurso importante na matriz energética nacional. Este plano, aprovado a 30 de Julho de 2010, imposto pela Diretiva das Energias Renováveis (2009/28/CE), definia uma meta de 31% de incorporação de energia de Fontes de Energia Renováveis (FER) no consumo de energia final em Portugal, além de uma meta de utilização de 10% de energias renováveis nos transportes.

Recentemente, a RCM n.º 20/2013, de 10 de Abril, aprovou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013 - 2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013 - 2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020), tendo revogado a RCM n.º 80/2008 de 20 de Maio e n.º 29/2010 de 15 de Abril. Esta resolução pretende proceder a uma revisão integrada do PNAEE 2016 e do PNAER 2020, na medida em que a integração de dois planos, que até agora eram tratados de forma independente, permite uma ação concertada para o cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, minimizando o investimento necessário e aumentando a competitividade nacional [1.22].

Portugal tem registado uma evolução favorável no que respeita à meta de incorporação de Fontes de Energia Renováveis (FER) no consumo final bruto de energia desde 2005 até ao momento. No período compreendido entre 2005 e 2010, a monitorização efetuada permitiu verificar que, em 2010, a quota global de FER alcançou 24,6% do consumo final bruto de energia, o que representa uma evolução de cinco pontos percentuais face a 2005 [1.23]. Na Tabela 1.3 e na Figura 1.2 apresenta-se esta evolução.

Tabela 1.3. Evolução da instalação de fontes de energias renováveis no período de 2005 a 2012.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TCMA
Hídrica	4752	4784	4787	4792	4821	4837	5261	5826	1.5%
Eólica	1047	1681	2446	3037	3519	3863	4301	4450	23.0%
Biomassa (c/cogeração)	357	357	357	357	359	360	367	367	0.4%
Biomassa (s/cogeração)	12	24	24	24	101	106	105	105	36.3%
Biogás	8	8	12	12	20	28	43	61	33.2%
Fotovoltaica	3	3	15	59	104	123	158	226	86.3%
Total	6267	6945	7729	8369	9011	9405	10322	10583	7.8%

TCMA - Taxa de Crescimento Média Anual entre 2005 e 2012

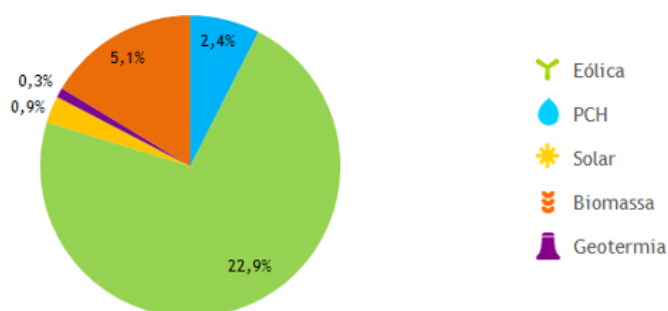


Figura 1.2. Evolução da potência total instalada em renováveis (adaptado de [1.24]).

A biomassa desempenha já um papel importante na produção de energia em Portugal. Atualmente, a capacidade instalada é de cerca de 670 MW, dos quais 450 MW em cogeração e 120 MW em centrais dedicadas. Para 2020 prevê-se uma capacidade instalada total de 769 MW. A capacidade atribuída em centrais dedicadas será conciliada com a disponibilização de biomassa florestal, sendo agilizada a concentração de potência para a obtenção de economias de escala, sempre que justificável e salvaguardando os equilíbrios intersectoriais e territoriais [1.25].

Até ao ano de 2005 apenas existiam em Portugal duas centrais termoelétricas ligadas à rede elétrica a utilizar a biomassa florestal como principal combustível. Eram a central da EDP, em Mortágua, e a Centroliva, em Vila Velha de Ródão [1.26].

Em 2006 foram lançados 15 concursos para a atribuição de 100 MW de potência para a produção de energia elétrica a partir de biomassa florestal residual. O objetivo era atingir os 250 MW de potência de centrais a biomassa florestal dedicada, somando aos 150 MW licenciados em Projetos de Interesse Público (PIP) fora destes concursos. Destas centrais somente duas foram concluídas até ao momento, tendo sido apontadas várias razões para o insucesso do concurso:

- Má localização de algumas das centrais;
- Custos da matéria-prima elevados face à tarifa disponível;
- Problemas no aprovisionamento, logística e disponibilidade da matéria-prima;

- Burocracia dos procedimentos dos concursos;
- Falta de financiamento junto da banca.

A localização de doze destas centrais era nas regiões Norte e Centro de Portugal. Entre 2007 e 2009 foram implementadas cinco novas centrais com uma potência total de 78 MW, o que totaliza pouco mais de 100 MW, ficando longe da meta dos 250 MW [1.27].

Para além das utilizações de biomassa como base da produção de energia elétrica, importa também referir a produção de energia térmica, que, embora muito comum desde há longa data, principalmente no sector doméstico para aquecimento, mas que começa também a ser utilizada em alguns sectores industriais, em substituição dos combustíveis tradicionais também para produção de calor [1.28].

Estas utilizações resultam da conversão direta da biomassa, por exemplo sob a forma de estilha de biomassa florestal, mas também da conversão de derivados densificados de biomassa florestal, principalmente sob a forma de *pellets*. Estas utilizações começam já a ser frequentes em sectores da indústria como o têxtil, tradicionalmente um grande consumidor de energia primária, mas também noutros sectores, como o sector agropecuário e agroalimentar [1.29].

1.2. Caracterização do tema

O mundo enfrenta atualmente uma dupla ameaça no sector da energia, provocada pela inexistência de uma oferta segura e adequada de energia a preços acessíveis e os danos infringidos ao ambiente pelo excessivo consumo de energia [1.30].

A ascensão rápida dos preços da energia e os recentes eventos geopolíticos servem para lembrar a importância que a energia a preços acessíveis tem para o crescimento económico e o desenvolvimento da sociedade, bem como a vulnerabilidade do sistema energético global às crises da oferta [1.31].

A proteção das fontes de energia encontra-se no topo da agenda política internacional. A conciliação dos objetivos da segurança energética e da proteção ambiental exige uma intervenção forte e coordenada por parte dos Estados, juntamente com o apoio da sociedade civil. O atual modelo energético mundial baseia-se fundamentalmente na utilização de combustíveis fósseis, facto este que se deve ao domínio tecnológico existente para a utilização destes recursos, ao baixo custos destes mesmos recursos devido à grande disponibilidade existente e à falta de preocupação com as questões ambientais e que só recentemente começaram a ser levantadas de forma generalizada.

O padrão de oferta de energia é acompanhado pela ameaça de danos graves e irreversíveis ao meio ambiente. A produção de energia e a sua utilização representam cerca de 80% do total das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), que estão na origem das alterações climáticas e de grande parte da poluição atmosférica [1.32].

Portugal, tal como a Europa, está cada vez mais dependente de hidrocarbonetos importados; cerca de 85% da energia primária consumida em Portugal é importada e tem origem em combustíveis fósseis, maioritariamente do petróleo (58%), sendo o país europeu com maior dependência desta fonte (média da UE é de 40%) [1.33].

Como as perspetivas atuais e futuras apontam para o esgotamento das fontes de energia não renováveis, ou seja, apontam no sentido da ocorrência de uma crise energética, e para a necessidade de atenuar a crise ambiental, resultante da sua excessiva utilização, torna-se urgente o aproveitamento mais eficaz e eficiente das fontes de energia renováveis.

O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se a atividade económica, o meio ambiente e o bem-estar das sociedades evoluírem de forma harmoniosa, onde se dá importância não só aos aspetos de natureza económica, mas também, e com a mesma relevância, aos aspetos de natureza ambiental e social (Figura 1.3).

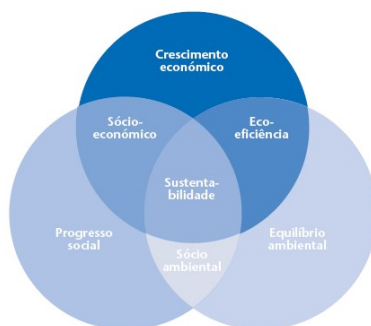


Figura 1.3. Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [1.34].

O alcance do desenvolvimento sustentável, a nível energético, requer a implementação de três estratégias complementares [1.34]:

- Intensificação da eficiência energética e da cogeração;
- Aumento da utilização das energias renováveis;
- Fixação de CO₂.

Enquanto a primeira estratégia procura atenuar o crescimento da procura de energia, a segunda tem como objetivo dar resposta à satisfação da procura, utilizando de forma crescente recursos renováveis. Estas estratégias têm como objetivo principal minimizar os impactes ambientais da produção de energia [1.34].

As crises energéticas dos anos setenta motivaram a economia mundial a aumentar a eficiência energética, tendo sido obtidos ganhos elevados de eficiência nas últimas décadas. Como complemento ao incremento da eficiência energética, surge a produção de energia com base na cogeração, uma técnica que permite utilizar um processo único para produção de energia térmica e de eletricidade [1.35].

Num verdadeiro mercado da energia é essencial atingir três objetivos 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 competitivo é vital para permitir que a aplicação efetiva de instrumentos económicos, como o mecanismo de comércio de emissões, funcione corretamente.
- **Segurança do aprovisionamento:** um mercado interno da energia que funcione eficazmente e 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 infraestruturas, capacidades de interconexão e novas capacidades de geração, podem evitar-se cortes totais de eletricidade e aumentos desnecessários dos preços.

A dependência energética relativamente aos combustíveis fósseis não é uma característica exclusiva de Portugal. A EU no seu conjunto é responsável pelo consumo de cerca de 15% da energia consumida em todo o mundo, apesar de representar apenas 6% da população mundial. Este consumo representa 19% de todo o petróleo, 16% do gás natural, 10% de carvão e 35% do urânio consumidos no mundo [1.36].

O total de energia consumida na Europa tem sido, aproximadamente, constante, havendo apenas um ligeiro aumento do consumo de gás, em detrimento do consumo de carvão. Quanto à produção de energia a partir de fontes renováveis, apesar desta ter vindo a aumentar, ainda representa valores baixos quando comparadas com as restantes fontes de energia e em especial quando comparada com os combustíveis fósseis [1.37].

A produção de energia a partir de fontes renováveis assume grande importância geoestratégica e está em consonância com o objetivo da política energética comunitária de redução da dependência do petróleo. O incremento na utilização de fontes de energia renováveis irá igualmente contribuir para atingir os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto, redução das emissões de GEE, cujas medidas são concretizadas em Portugal pelo Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) [1.38].

A utilização de energias renováveis apresenta ainda como vantagens 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 [1.39].

Do ponto de vista do Estado, o investimento nas energias renováveis irá diminuir a necessidade de energia exógena e criar-se-ão novas oportunidades de negócio, de emprego e um avanço tecnológico [1.40].

Atualmente, em todo o Mundo, milhões de pessoas utilizam a biomassa como fonte de energia, principalmente nos países em vias de desenvolvimento, no entanto uma grande parte é utilizada em processos simples, poluidores e ineficazes em termos energéticos [1.41].

O aproveitamento da biomassa florestal deverá constituir uma das prioridades da política energética, sobretudo em sociedades que não dispõem de combustíveis fósseis, como é o caso de Portugal. Esta opção fará ainda maior sentido nas situações onde o combustível aparece como resíduo de algumas matérias lenhosas. A biomassa constitui uma fonte renovável de produção energética para a produção de eletricidade ou calor, sendo muito variado o leque de produtos utilizáveis para este fim, oriundos em larga medida da atividade agrícola e silvícola, entre os quais os produtos e subprodutos da floresta e resíduos da indústria da madeira. Quando utilizada para aquecimento ambiente (a nível doméstico) ou produção de eletricidade (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 eletricidade. Mais concretamente, no aquecimento, os rendimentos no consumidor podem variar entre 15 e 90% e na produção de eletricidade entre 20 e 60% [1.42].

A viabilidade da utilização de resíduos da biomassa para fins de geração de energia requer uma avaliação de toda a cadeia produtiva da energia gerada por biomassa, devendo englobar os custos globais de recolha, processamento, armazenamento, transporte e geração de energia.

1.3. Motivação e objetivos

A crescente procura por fontes de energia alternativas, que sejam capazes de substituir de forma eficiente os tradicionais combustíveis de origem fóssil, tem conduzido a um multiplicar de estudos e linhas de investigação relacionadas com este tema. Estas novas áreas do saber, muitas delas suportadas por projetos de natureza industrial, têm, no entanto, centrado a sua atenção na utilização, ou melhor, nas utilizações possíveis para a biomassa enquanto fonte de energia renovável.

A biomassa, dentro das suas mais variadas ocorrências, e mais concretamente a biomassa de natureza lignocelulósica, assume-se como a única forma de armazenamento da energia proveniente do Sol. É esta energia química armazenada, que vai depois ser libertada e convertida noutras formas de energia, nomeadamente, energia térmica e elétrica.

Portugal, não sendo um País com recursos energéticos de origem fóssil, possui elevado potencial no que aos recursos energéticos renováveis diz respeito. Trata-se de um território com excelente exposição solar, com diferentes tipos de ventos dominantes, que variam consoante a estação do ano, com recursos hídricos abundantes e com uma linha de costa longa. Estas características, para além de permitirem uma exploração do ponto de vista de muitas formas de energias renováveis, potenciam sobremaneira o desenvolvimento dos recursos biomássicos.

Estes recursos são capazes de gerar quantidades enormes de energia, que devidamente conduzida pode fazer com que Portugal satisfaça muitas das suas necessidades energéticas. Assim, Portugal que importa grande parte da energia que consome, através da compra no exterior de carvão, petróleo e gás natural, passaria a caminhar na direção da autossuficiência energética, ou seja, a caminhar no sentido de uma independência relativamente a terceiros, que nunca teve até ao momento.

Esta será também a possibilidade do desenvolvimento de uma indústria assente na exploração florestal, com a utilização de recursos endógenos, numa perspetiva de proximidade, em que o princípio vigente é o da produção e consumo dos produtos energéticos numa base regional, assim como o da criação de produtos energéticos, com mais valor acrescentado, como os produtos densificados ou torrificados, que são exportados, contribuindo diretamente para o equilíbrio da balança comercial Portuguesa.

Serão estes produtos energéticos, à semelhança do que já aconteceu noutros países da Europa e da América do Norte, que permitirão o desenvolvimento das indústrias tradicionais, numa re-industrialização de base energética, onde os pressupostos da sustentabilidade e da competitividade permitem o relançamento da economia e a saída de uma crise que teima em terminar.

Numa sociedade global, onde os mercados não têm fronteiras, e onde nem todos jogam com as mesmas regras, serão estas pequenas vantagens tecnológicas que vão fazer a diferença para um País que, sendo parco em recursos, adquira uma vantagem pela inovação tecnológica e pela eficiência energética que poderá alcançar.

É nesta base que se encontra a motivação para a realização deste estudo, pois trata-se de um campo onde já se deram importantes passos, mas onde ainda resta muito caminho para percorrer, nomeadamente no que respeita à utilização da biomassa em ambiente industrial, mais exigente do ponto de vista da eficiência, e também sobre a análise dos poucos casos de estudo que existem em Portugal, nomeadamente sobre os novos desenvolvimentos na área dos processamentos térmicos da biomassa, como o são a torrefação e a carbonização, que vêm complementar o conhecimento já existente sobre a produção de *pellets* de biomassa, onde Portugal já é uma referencia a nível internacional pela eficiência das suas unidades produtivas.

Este trabalho, enquadrado no âmbito da investigação sobre a utilização de biomassa enquanto alternativa energética para a indústria Portuguesa e o seu contributo para o aumento da sua sustentabilidade e competitividade, é uma contribuição que se entende como inovadora, pelos aportes que traz, nomeadamente pela descrição e análise de estudos de caso relacionados com a temática apresentada, e que apresentam possibilidades concretas para a melhoria da situação existente, nomeadamente para a substituição dos combustíveis tradicionais para geração de energia térmica e elétrica, mas também pela abordagem que é feita à temática da torrefação de biomassa, que se entende ser a evolução natural da indústria de produção de *pellets* de biomassa, pelas oportunidades que apresenta.

Os estudos de caso aqui apresentados são o culminar de uma longa investigação levada a cabo nos últimos anos, e que resultaram na transposição dos resultados obtidos para situações reais de natureza empresarial e industrial, provando a viabilidade da tese aqui defendida, da biomassa enquanto veículo promotor da sustentabilidade e da competitividade da indústria Portuguesa, e como veículo gerador de riqueza, criação de postos de trabalho, proteção do meio ambiente e estabilizador social.

1.4. Metodologia da investigação

Por metodologia da investigação entende-se o enquadramento geral utilizado num trabalho de investigação, assim como os caminhos seguidos e as técnicas utilizadas. A metodologia da investigação trata, de uma perspetiva mais prática, dos caminhos concretos utilizados para melhor compreender as realidades envolvidas e que se encontram em análise numa investigação [1.43].

O desenho ou modelo de uma investigação pode ser compreendido como o plano que conduz o investigador no processo de recolha, análise e interpretação das observações, e que permite retirar conclusões acerca do tema em investigação [1.43].

Os métodos de investigação quantitativos e qualitativos baseiam-se em diferentes pressupostos que moldam os objetivos da investigação, os papéis assumidos pelo investigador e a relação que este mantém com os demais intervenientes na investigação [1.44].

O método qualitativo difere do quantitativo pela forma distinta de recolha e análise dos dados. A metodologia qualitativa preocupa-se em analisar e interpretar aspetos mais profundos, fornecendo uma análise mais detalhada sobre as investigações, hábitos, atitudes, tendências de comportamento, entre outros aspetos, o que evidencia a riqueza de uma abordagem qualitativa [1.45].

Não se pode definir que uma investigação é qualitativa simplesmente pela escolha de certos métodos. No entanto, esta exige um entendimento particular da relação entre o tema a estudar e o método escolhido [1.46], nomeadamente no que se refere às questões de investigação, que devem ser elaboradas com clareza, com vista a diminuir o risco do investigador não ter dados relevantes para interpretar. Nesta perspetiva, os estudos de caso têm sido associados a métodos de análise qualitativa [1.47].

Os estudos de caso são uma estratégia de investigação cada vez mais popular e relevante, embora existam vários desafios na condução de estudos de caso, uma vez que são demorados e as conclusões podem não ser generalizáveis se os resultados obtidos forem de alguma forma ambíguos ou levantarem alguma forma de dificuldade na interpretação dos resultados finais [1.48].

A construção de teorias a partir de estudos de caso é uma estratégia de investigação que pode envolver o uso de um ou mais casos [1.44]. Os estudos de caso individuais são apropriados quando o caso é especial por alguma razão específica, o que pode ocorrer quando o caso fornece um teste crítico para uma teoria bem estabelecida ou quando o caso é extremo, único, ou tem algo de especial para revelar [1.49].

O estudo de caso pode também incorporar vários casos, ou seja, vários estudos de caso. No entanto, em certo ponto já não será possível investigar os casos de forma intensiva, pelo que se considera que, dependendo dos recursos disponíveis, quantos menos forem os estudos de caso, maior a oportunidade para a observação mais profunda [1.44]. Desta forma, e no caso concreto que aqui se apresenta, entendeu-se como merecedor de análise, o desenvolvimento de cinco estudos de caso, todos relacionados com a temática da biomassa enquanto objeto do desenvolvimento sustentável e da promoção da competitividade da indústria Portuguesa, e que de alguma forma se podem considerar sucessivamente interligados entre si, como sendo uma progressão evolutiva de subtemas definidos como estando dentro do tema principal.

Assim, após a definição dos cinco estudos de caso, cada um foi abordado de forma independente de acordo com a sua especificidade e natureza, tendo sido também considerado pertinente conhecer a importância e razões subjacentes a cada um dos subtemas, no sentido de apurar as mais-valias recolhidas em cada caso, e o seu impacto no cumprimento dos pressupostos desejados. Para o efeito, e para cada subtema, procedeu-se à recolha extensiva e revisão cuidada da literatura existente, o que permitiu a compreensão de conhecimentos relacionados com o assunto em análise, sendo que em alguns dos casos não foram encontrados nos meios habituais de pesquisa bibliográfica outras referências, para além das resultantes da evolução dos estudos de caso aqui referidos, já que se entende que a investigação não é apenas uma questão de metodologia, mas antes que a seleção do método implica conhecer a situação em estudo. Pretende-se, fundamentalmente:

- Identificar as formas de biomassa com maior potencial de utilização como alternativa energética na indústria;
- Analisar as vantagens ambientais e sociais que a utilização da biomassa como forma de energia na indústria tem;
- Analisar o impacto que a biomassa enquanto forma de energia tem na criação de emprego;
- Identificar de que maneira a biomassa enquanto forma de energia pode contribuir para a re-industrialização do país;
- Analisar a importância da utilização de recursos endógenos em detrimento de recursos importados na economia do país;
- Analisar o estado-da-arte da utilização da biomassa como fonte energética sustentável em Portugal;
- Avaliar a contribuição que a biomassa, enquanto fonte energética alternativa, pode ter na sustentabilidade e competitividade da indústria Portuguesa.

Os estudos de caso combinam diversos métodos de recolha de dados, como arquivos, entrevistas, questionários e observações, consoante o tipo de enquadramento. As fontes de evidência mais comuns utilizadas na elaboração de estudos de caso são a documentação, os arquivos, as entrevistas, a observação (direta e participante) e os artefactos físicos [1.50]. Uma das grandes virtudes dos estudos de caso, comparativamente com outros métodos, é que permite a recolha de provas com base em várias fontes [1.49].

1.5. Organização do texto

O texto desta tese está organizado em 7 capítulos, em cujos assuntos se distribuem da seguinte forma:

- No Capítulo 2 faz-se uma caracterização genérica do sector da energia, partindo-se do global para o caso particular Português.

- No Capítulo 3 faz-se caracterização da biomassa como fonte de energia e o estado-da-arte da utilização da biomassa e das suas potencialidades.
- No Capítulo 4 faz-se uma caracterização da floresta Portuguesa e dos recursos de biomassa existentes no território nacional.
- No Capítulo 5 faz-se a descrição e análise dos estudos de caso, que se dividem por cinco subcapítulos que se dispõem do seguinte modo:
 - O primeiro subcapítulo é dedicado à produção de *pellets* de biomassa, onde se faz uma caracterização do mercado Português;
 - O segundo subcapítulo é dedicado à possibilidade de valorização energética de um resíduo industrial, neste caso proveniente da indústria corticeira;
 - O terceiro subcapítulo é dedicado à utilização de biomassa como combustível alternativo para produção de vapor em unidades industriais (tinturaria têxtil);
 - O quarto subcapítulo é dedicado à co-combustão de biomassa com carvão para produção de energia elétrica e onde também se faz a análise da redução das emissões de CO₂;
 - O quinto e último subcapítulo faz uma abordagem ao tema da torrefação de biomassa como uma possibilidade de melhoramento dos combustíveis e das possibilidades associadas.
- No Capítulo 6, dividido em quatro subcapítulos, abordam-se as questões estratégicas, económicas, sociais e ambientais relacionadas com a utilização de biomassa nas vertentes descritas anteriormente.
- No Capítulo 7 apresentam-se as contribuições, publicações e perspetivas de trabalhos futuros.

1.6. Notação

Em cada um dos capítulos desta dissertação é utilizada a notação mais usual na literatura especializada harmonizando, sempre que possível, aspetos comuns a todos os capítulos. Contudo, quando necessário, em cada um dos capítulos é utilizada uma notação apropriada.

As figuras e tabelas são identificadas com referência ao capítulo em que são apresentadas e são numeradas de forma sequencial no capítulo respetivo, sendo a numeração reiniciada quando se transita para o capítulo seguinte.

A identificação de referências bibliográficas é efetuada através de parênteses retos [], numerada sequencialmente após a referência ao número do capítulo. Nos capítulos mais extensos, em que exista descontinuidade temática entre os subcapítulos, as referências bibliográficas são indicadas sequencialmente após a referência ao número do capítulo e do subcapítulo.

A bibliografia é apresentada na secção das referências bibliográficas de acordo com a notação da *Modern Languages Association* (MLA).

Capítulo 2

Caracterização do sector da energia

Neste capítulo apresenta-se uma caracterização do sector da energia, primeiramente de uma forma genérica a uma escala mundial e europeia, passando-se de seguida para uma escala nacional, com o aprofundar do papel da biomassa para a geração de energia eléctrica e térmica, assim como uma revisão do estado atual dessa mesma geração de energia a partir da biomassa e quais as perspetivas de futuro.

2.1. Enquadramento

A determinação do consumo de energia de um qualquer país está baseada num conjunto de diversas variáveis, muitas delas complexas. Estas variáveis incluem pontos tão distintos como as flutuações dos preços da energia, as variáveis climáticas, o comportamento dos cidadãos no que respeita aos hábitos de consumo de energia, o peso relativo que cada um dos distintos sectores da economia tem no perfil de consumo nacional e, obviamente, o peso que essa atividade económica tem no conjunto nacional, e que é medido pela riqueza com que essa atividade contribui para o total da riqueza produzida no país [2.1].

Vários estudos apontam os objetivos que devem ser atingidos num mercado de energia, de forma a este ser sustentável e eficiente. Destacam-se os três objetivos energéticos a atingir num mercado de energia [2.2-2.4]:

- **Competitividade:** a competitividade num mercado, provocada pela concorrência entre diversos prestadores/fornecedores de bens e serviços, fará com que os custos diminuam para os consumidores finais, sejam eles particulares ou empresariais, promovendo a eficiência energética, o investimento e a produtividade.
- **Sustentabilidade:** só é possível a implementação e o correto funcionamento de instrumentos de regulação económica, como por exemplo o mecanismo de comércio de emissões, num mercado sustentável.
- **Segurança do fornecimento:** um mercado de energia a funcionar de forma eficaz e competitiva, traz grandes vantagens relativamente às garantias de fornecimento de energia, aumentando o nível de qualidade do serviço prestado aos consumidores. Num mercado moderno e desenvolvido é fundamental que existam incentivos reais para que as empresas fornecedoras de energia (seja ela elétrica ou térmica) invistam em novas infraestruturas, capacidades de interconexão e novas capacidades de produção, evitando-se, assim, cortes no fornecimento e instabilidade nos preços.

No que ao sector energético diz respeito, a energia elétrica é uma forma fundamental de energia para o desenvolvimento das economias, pois é a forma de energia mais consumida pela indústria, representando a maior quota do consumo final de energia [2.5]. A energia elétrica tem um impacto direto no desempenho económico das empresas e é igualmente considerada um dos fatores indispensáveis para o desenvolvimento das sociedades. No entanto, para se manter uma taxa de desenvolvimento sustentável, com preservação do ambiente, é fundamental atingir-se um ponto de equilíbrio no uso da energia, pois o seu consumo desmedido e de forma insustentável pode conduzir a impactos ambientais negativos.

Salienta-se, no entanto, que outras formas de energia também assumem um papel preponderante principalmente para a indústria, mas também para os consumidores particulares, nomeadamente a energia térmica, fundamental para diversas aplicações tão distintas como o aquecimento doméstico e de edifícios de serviços (seja sob a forma de aquecimento direto, como associado a grandes unidade de produção de “*district heating*”, tão comuns no Norte da Europa, mas que também já começam a ser uma realidade em países como a Espanha ou a França, principalmente pelo modelo de caldeiras comunitárias que fornecem calor a pequenas comunidades rurais), ou para a produção de calor para fins industriais, por exemplo através de caldeiras de vapor ou de óleo térmico [2.6].

Atualmente verifica-se um aumento crescente da dependência energética da maioria dos países, em relação ao exterior, devido às importações crescentes de combustíveis fósseis, nomeadamente de petróleo, carvão e gás natural, de forma a fazerem face ao suprimento das necessidades energéticas. Nas últimas década, a taxa média de dependência energética dos 27 países da União Europeia cresceu 20%, ou seja, do total da energia consumida na UE, cerca de 55% foi importada de países terceiros, fora da União Europeia [2.7]. Em Portugal, a situação é ainda mais discrepante, já que a importação direta de energia ou de produtos energéticos representa 85% do consumo total nacional [2.8]. O mercado energético Português baseia-se fundamentalmente na importação de combustíveis (petróleo, carvão e gás natural). No entanto, relativamente às necessidades elétricas de Portugal, que eram supridas pela utilização de combustíveis fósseis, começa a haver um equilíbrio com a utilização de energias renováveis, principalmente com a energia hídrica, mas também com a energia eólica e, mais recentemente, a biomassa [2.9].

Em Portugal, o consumo energético, tanto de eletricidade como de calor, tem aumentado a um ritmo ligeiramente superior à taxa de crescimento económico e, conseqüentemente, o peso que o consumo energético tem na economia é 4% superior ao que era em 1991, e 10% acima da média da UE [2.10]. A importação de petróleo de Portugal representava, em 1998, 6% do total das importações nacionais, subindo atualmente para 15% [2.11]. Com esta forte dependência de fontes externas de energia, e uma perspetiva crescente no consumo de energia das mais elevadas da UE, Portugal tem de enfrentar um dos desafios mais importantes no domínio da energia, que é o de conseguir atingir a sustentabilidade do consumo, ao mesmo tempo que consegue diversificar as fontes e aumentar a produção interna [2.12].

2.2. A Energia na Europa no e Mundo

A UE, na totalidade dos seus 27 países membros, consome de cerca de 15% do total de energia consumida no mundo, embora represente apenas 6% do total da população mundial. Este consumo representa cerca de 20% de todo o petróleo, 15% do gás natural, 10% de carvão e 35% do urânio consumido no mundo [2.13].

Por este motivo, o risco de quebra no fornecimento é uma forte possibilidade, já que todas as previsões indicam, para o período entre 2007 e 2035, um aumento do consumo de energia de cerca de 50% nos países da OCDE, e de cerca de 85% nos restantes países [2.14]. Como a UE está dependente da importação de produtos energéticos, fica incondicionalmente vulnerável no caso de haver uma crise de fornecimento internacional [2.15]. Na UE, a produção de energia, nomeadamente a elétrica, ainda é dominada pela energia nuclear (28%), seguida pelo gás natural (20%). As energias renováveis representam o maior incremento, fomentado principalmente pelo rápido crescimento do preço dos produtos energéticos nos últimos anos, associado às preocupações ambientais e às emissões dos GEE [2.16].

A produção de energia a nível mundial é dominada pelo petróleo (35%), seguido do carvão (25%). Ao contrário do que sucede na UE, a energia nuclear é a que contribuiu menos para a produção da energia primária [2.17].

As energias renováveis, a nível mundial, contribuem com 13% para a energia primária, distribuídas pela produção hídrica com 15%, a biomassa com 77% (4% de resíduos industriais e municipais, 9% de culturas agrícolas e subprodutos, 87% de resíduos florestais) e as restantes fontes energéticas renováveis com 8% [2.18]. Na grande maioria dos países da UE, com particular destaque para a Áustria, Suécia, Finlândia e também Portugal, a fonte de energia renovável que mais contribui para a produção de energia elétrica foi o aproveitamento hídrico. Portugal surge em quinto lugar entre os países da UE com maior aproveitamento de energia proveniente de fontes renováveis, com cerca de 27%, com particular destaque para a hídrica com 47%, a eólica com 39% e a biomassa com 17% [2.19]. A Nova Zelândia (65%) e o Canadá (64%) são os países que apresentam o maior aproveitamento de energias renováveis [2.20].

Embora as energias renováveis apresentem vantagens, tanto de natureza ambiental como de segurança e independência energética, a maioria destas fontes não será capaz de ser economicamente competitiva com os combustíveis de origem fóssil até ao ano 2035 [2.21]. As estimativas obtidas em diversos relatórios e estudos, afirmam que os combustíveis de origem fóssil vão continuar a fornecer a maior fatia da energia consumida no mundo até 2035, com a procura global de petróleo a aumentar 41% em 2030 relativamente ao valor de consumo atual. No entanto, nada se conhece concretamente sobre a capacidade e vontade dos produtores de petróleo e gás de aumentarem a produção de forma a satisfazer a crescente procura [2.22]. Prevê-se que consumo mundial de petróleo, atualmente com aproximadamente 92 milhões de barris por dia, ultrapasse os 110 milhões de barris por dia em 2035 [2.23]. Por sua vez, estima-se que o consumo de energias renováveis, a nível mundial, para a produção de eletricidade aumente cerca de 3% ao ano, até 2035, com a contribuição das energias renováveis para a produção de eletricidade a crescer para 23% em 2035, com particular destaque para os investimentos em energia eólica e energia hídrica [2.24].

Apesar deste crescimento de quota das energias renováveis nas próximas décadas, as estimativas para 2030 apontam para a supremacia do gás natural na produção de energia e a perda de quota de mercado por parte da energia nuclear e dos combustíveis fósseis [2.25].

O crescimento da produção de energia com recurso a fontes energéticas renováveis deve-se principalmente à necessidade de reduzir a dependência da importação de combustíveis fósseis a países terceiros, ao mesmo tempo que também contribui para a multiplicidade das opções energéticas da Europa. Como as necessidades energéticas atuais, e as previstas para o futuro, não conseguirão ser atendidas apenas pela produção hídrica e eólica, a biomassa configura-se como complemento para estas fontes energéticas [2.26].

A utilização de biomassa como fonte de energia é muito utilizada em países em desenvolvimento, fornecendo cerca de 30% das necessidades de energia primária, ao contrário do que sucede nos países mais desenvolvidos, onde esta contribuição é menos significativa. As florestas disponibilizam uma fonte local e renovável de combustível às populações. No entanto, a sua exploração tem que ser sustentável do ponto de vista ecológico, económico e social, de forma a garantir que as futuras gerações tenham à sua disposição os recursos da floresta com a mesma abundância. As vantagens da biomassa como fonte de energia são conhecidas ao longo de toda a história da Humanidade, e as florestas já foram alvo de exploração intensa e depredatória. Atualmente, as atitudes relativamente à gestão do recurso florestal mudaram radicalmente. Nos países desenvolvidos o estado dos ecossistemas florestais são um tema fundamental da agenda dos ambientalistas, políticos e da sociedade civil [2.27]. A procura crescente de biomassa como fonte energética, tanto para a produção de calor como para a produção de eletricidade, assim como para a produção de combustíveis líquidos e gasosos, sendo esta uma possibilidade mais recente, justifica-se pelos seguintes fatores [2.28]:

- Contribuição para a redução dos níveis de pobreza nos países em desenvolvimento;
- Satisfação das necessidades de energia de forma direta, sem necessidade de recurso a equipamentos de conversão dispendiosos;
- Produção de energia sob diferentes formas;
- Contribuição para a requalificação de terrenos degradados, aumentando a biodiversidade, fertilidade do solo e retenção de água.

Diversos estudos e relatórios indicam que a percentagem de biomassa no cenário global do consumo de energia se mantém estabilizado ao longo dos últimos 30 anos. Estima-se que o consumo de energia final produzida a partir de biomassa a nível mundial seja de 16%, percentagem esta muito semelhante comparativamente ao consumo final de energia proveniente de outras fontes, designadamente eletricidade (15%) e gás natural (16%) [2.29].

Várias referências apontam para que cerca de 50% da população dos países em desenvolvimento utilize a biomassa como fonte primária de energia, sendo que em algumas regiões poderá mesmo atingir taxas superiores a 70%. A biomassa é considerada a energia “dos pobres”, principalmente pelo facto de nestas mesmas regiões ser possível ainda adquirir a biomassa de forma gratuita. Tradicionalmente, a utilização de biomassa para produção de energia refere-se à combustão direta da madeira, folhas e resíduos agrícolas [2.30].

Na UE, a produção de energia elétrica a partir da biomassa tem aumentado anualmente cerca de 7% [2.31]. A UE importa biomassa de várias regiões do mundo, como por exemplo da América do Sul, América do Norte e algumas zonas de África [2.32]. Por um lado, alguns autores defendem que a UE pode aumentar a utilização de biomassa explorando mais os seus recursos endógenos, ou através do aumento da importação de biomassa do resto do mundo [2.33]. Por outro lado, com este novo fluxo de produtos energéticos podem aparecer problemas relacionados com a dependência dos combustíveis importados, provocados pela dificuldade de abastecimento e a permanente flutuação dos preços, devido a dificuldades de expedição dos produtos em larga escala nos principais países exportadores, provocadas por exemplo por surgimento de conflitos, catástrofes naturais ou problemas de natureza política e de embargo económico [2.34].

As implicações ambientais, económicas e sociais, provocadas pelas alterações climáticas são inevitáveis, e a segurança energética da Europa está em risco devido à elevada dependência das importações de energia de países terceiros [2.35].

Tendo em conta estas considerações, a UE tem demonstrando ao longo dos anos a iniciativa de imposição de metas para a energia a partir de fontes de energia renováveis. A política energética europeia tem avançado em três frentes distintas [2.36]:

- No aumento da competitividade das empresas, que leve ao crescimento económico e à criação de emprego;
- Na segurança do abastecimento, reduzindo a dependência energética dos países;
- Na sustentabilidade, comprometendo-se com a redução de emissões de GEE.

Estas três forças motrizes estão patentes em várias estratégias e políticas que visam objetivos concretos e ambiciosos, ainda que realistas e imperativos, conduzindo a que em 1997 a União Europeia estabelecesse o objetivo de atingir um contributo global das fontes de energia renováveis de 12 % em 2010 [2.37].

Em 2001 surgiu a diretiva 2001/77/CE que estabeleceu uma meta global de 22,1% para a produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis em 2010; a meta individual para Portugal era de 39%. Em 2004, o contributo das energias renováveis para a produção de eletricidade da União Europeia (UE15) e Portugal situava-se em 14,7% e 24,4% respetivamente [2.37].

Mais recentemente em 2009 surgiu uma diretiva (2009/28/EC) que constitui um marco histórico na legislação europeia no que diz respeito à promoção do uso de energia através de fontes renováveis. Esta diretiva dá o necessário apoio político aos mercados das energias renováveis que têm enorme potencial para o crescimento económico e criação de emprego. Os estados membros da União Europeia (27) são obrigados pela diretiva a entregar um plano de ação nacional para as energias renováveis (PNAER) [2.37].

A diretiva das Energias renováveis estabelece os seguintes objetivos para 2020 [2.37]:

- Aumentar a quota de fontes de energia renováveis no consumo final de energia para 20%, a partir de aproximadamente 8,5% em 2005, através de metas nacionais obrigatórias;
- Alcançar a meta de 10% de energias renováveis nos transportes em todos os estados membros.

Objetivos destes são sinais para os investidores de que a aposta nas energias renováveis está incluída numa política coerente e de longo prazo. Neste sentido, a Comissão Europeia ciente de que a biomassa pode dar um contributo maior para a produção de energia primária, elaborou um Plano de Ação para a Biomassa [2.38]. Este plano estabelece um conjunto de medidas para promover a produção de energia a partir deste recurso. Entre as mais relevantes, pode-se destacar a sugestão de que os Estados-membros deverão elaborar os seus próprios planos, rever o valor de IVA no aquecimentos de edifícios a biomassa, implementar e monitorizar ajuda às culturas energéticas, incentivar a investigação na área das biorefinarias e biocombustíveis, e desenvolver uma estratégia temática para o aproveitamento de resíduos [2.38].

A União Europeia tem uma política de liderança no problema das alterações climáticas e que é indissociável da sua política energética. O protocolo de Quioto tem como principal objetivo o estabelecimento de um compromisso vinculativo para a redução de GEE no período 2008-2012. Com as metas apontadas no período referido a redução de GEE representara uma redução de 5,2% em relação às emissões de 1990. A União Europeia interessada em combater o problema assumiu uma redução de emissões de GEE na ordem dos 8%, tendo repartido as reduções pelos diferentes países, assumindo desta forma o protocolo como um bloco [2.38].

O mecanismo de Quioto - o mercado de emissões, a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo - favorece o desenvolvimento da biomassa. O comércio de licenças de emissão, já em funcionamento a nível europeu e regulamentado pela diretiva 2003/87/CE, permite aos produtores de energia reduzirem as suas emissões através da co-combustão de biomassa. O mecanismo de desenvolvimento limpo e a implementação conjunta abrem o caminho ao desenvolvimento de projetos que reduzam as emissões de GEE. As centrais dedicadas de biomassa podem, neste contexto, ser elegíveis para reduzir as emissões de GEE e ajudar a alcançar as metas definidas [2.38].

Juntamente com as metas estabelecidas, que vão no sentido de aumentar a relevância da contribuição da bioenergia, prevê-se que o potencial da biomassa, que inclui o sector dos biocombustíveis, possa representar cerca de 16% das necessidades energéticas da Europa em 2030 [2.39].

2.3. A Energia em Portugal

À semelhança dos restantes países da União Europeia, o consumo de energia em Portugal tem aumentado significativamente nos últimos anos. Este consumo é dominado pelo sector dos transportes (39%) e pelo sector da indústria (31%), ao contrário do que sucedia em 1991, quando a indústria representava 39% e os transportes 33% [2.40]. O sector de serviços também tem crescido consideravelmente nos últimos anos, representando atualmente 32% do consumo de eletricidade em comparação com 21% em 1991 [2.41]. Em 2012, o consumo de eletricidade foi de 4.127 ktep e de petróleo foi de cerca de 9.000 ktep. Observou-se um aumento no consumo de eletricidade em relação aos anos anteriores e uma diminuição no consumo de petróleo, provavelmente derivado da crise económica que se faz sentir nos últimos anos e que reduziu drasticamente o consumo de combustíveis líquidos derivados de petróleo [2.42].

Após a crise do petróleo dos anos 70, os países do Sul da Europa, como Portugal, não desenvolveram os devidos esforços necessários para a produção adicional de energia. Contudo, uma vez que atualmente a promoção das energias renováveis é uma das metas importantes da política Europeia, a produção destas fontes adicionais de energia parece surgir como uma oportunidade para a diminuição da dependência de energia externa Portuguesa [2.43].

Em 2010, as energias renováveis já contribuíam com quase 50% para a produção energética em Portugal, ano em que o total da potência instalada renovável em Portugal atingiu os 9.321MW. A produção energética está maioritariamente concentrada a Norte, principalmente nos distritos de Viana do Castelo, Bragança, Viseu, Coimbra, Vila Real, Castelo Branco e Braga (1.084, 1.063, 1.040, 994, 856, 650 e 646 MW) [2.44].

A Figura 2.1 apresenta a evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis em Portugal.

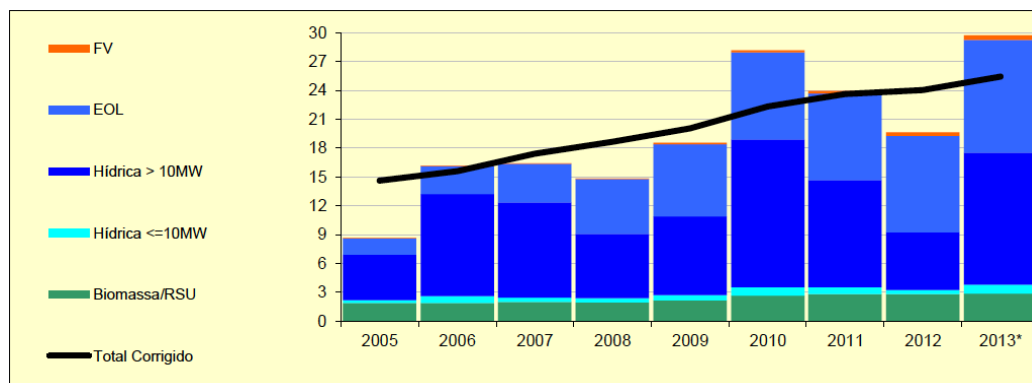


Figura 2.1. Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh) [2.44].

A produção total de energia elétrica, a partir de fontes de energia renováveis, registou um aumento de 90% no 1º semestre de 2010, relativamente ao período homólogo de 2009. Para este crescimento continua a contribuir fortemente o comportamento da componente hídrica. Num ano onde se verifica um elevado índice de pluviosidade 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 elétrica 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 pluviosidade, terá que se recorrer a outro tipo de fonte energética ou a importações de Espanha [2.45].

A energia eólica também tem vindo a contribuir para o aumento da produção elétrica nacional, apresentando-se como a segunda maior fonte de energia renovável em Portugal. 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 3.802 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 de 2005 com o ano de 2008. Em 2005, o total de energia elétrica produzida a partir de fontes de energia renováveis foi de 8.941 GWh; este valor é justificado pela baixa hidraulicidade que prejudicou a produção hídrica. Em 2008, apesar do baixo índice de hidraulicidade também registado, a produção energética não sofreu uma diminuição significativa, chegando a atingir os 15.419 GWh. Este facto é justificado pela prestação da energia eólica, que contribuiu com 5.757 GWh para este valor [2.46].

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 elétrica por parte da eólica, hídrica ou solar, poderá ser uma alternativa para atenuar muitos dos problemas associados à intermitência no futuro [2.46].

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 elétrica produzida a partir da biomassa ao longo dos anos, como apresentado na Tabela 2.1. Este crescimento tornou a biomassa a terceira maior fonte renovável em Portugal. No final de Junho de 2010, a energia elétrica total produzida a partir de fontes de energia renováveis atingiu um valor de 26.761 GWh [2.47].

Tabela 2.1 - Evolução da energia elétrica produzida a partir da biomassa (GWh) (adaptada de [2.47]).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Hídrica total	11.323	10.351	7.102	8.717	16.249	11.827	6.447	14.640
Eólica	2.892	4.007	5.720	7.506	9.078	9.003	10.011	11.755
Biomassa total	1.945	2.063	2.035	2.239	2.743	2.984	3.004	3.123
Fotovoltaica	4	24	41	160	213	265	360	448
Total	16.164	16.445	14.898	18.622	28.283	24.089	19.821	29.965
% de renováveis	29,6%	32,9%	34,8%	37,7%	40,7%	44,2%	45,5%	48,1%

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 [2.48].

No entanto, a produção elétrica por via eólica e hidroelétricas apresenta-se muito dependente das condições meteorológicas, como é apresentado na Figura 2.2. As duas maiores fontes de energia renovável em Portugal apresentam aumentos na produção durante os meses de inverno (ou de grande pluviosidade), refletindo assim a sua dependência ao contrário do verificado com a Biomassa, que tende a afigurar-se estável ao longo dos meses [2.49].

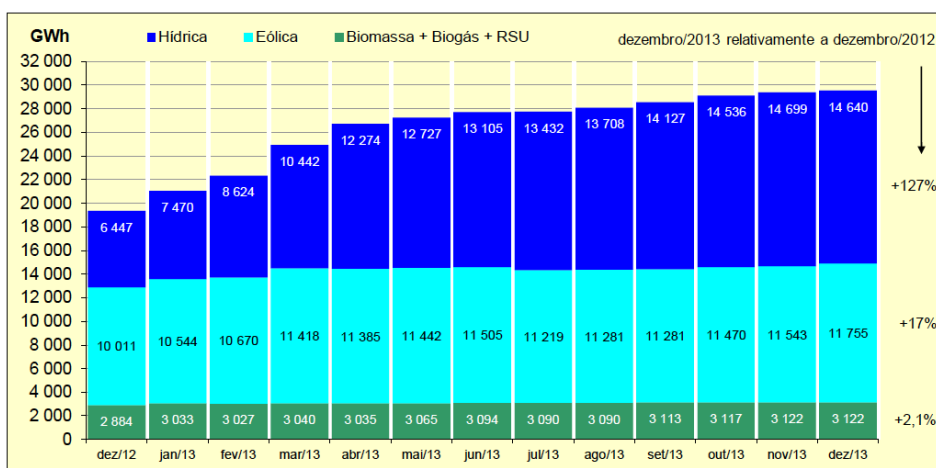


Figura 2.2. Produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis - Ano Móvel (GWh) Portugal Continental [2.49].

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 apresentado na Tabela 2.2. O aumento verificado em 2005 e 2006 pela energia eólica deve-se mais uma vez ao grande licenciamento de parques eólicos nesses anos. E a oscilação da produção de energia elétrica a partir da hídrica deve-se às condições climatéricas observadas ao longo dos anos. A Tabela 2.2 vem evidenciar estes fatores e realçar a importância que a biomassa apresenta, pelo facto de permanecer praticamente constante ao longo do tempo, não oferecendo grandes oscilações [2.50].

Tabela 2.2. As energias renováveis no balanço energético (adaptado de [2.50]).

	Produção (GWh)							
	1º Tri 2012	2º Tri 2012	3º Tri 2012	4º Tri 2012	1º Tri 2013	2º Tri 2013	3º Tri 2013	4º Tri 2013
Hídrica total	1 275	1 616	972	2 583	5 271	4 279	1 994	3 096
Eólica	2 349	2 594	2 155	2 914	3 756	2 681	1 931	3 388
Biomassa total	738	728	752	785	783	783	771	794
Fotovoltaica	79	93	119	70	73	135	143	97
Total	4 441	5 031	3 998	6 351	9 894	7 877	4 840	7 374

2.4. Utilização atual da biomassa florestal em Portugal

2.4.1. A biomassa florestal como uma oportunidade de negócio e de criação de valor

No âmbito do aproveitamento energético, a biomassa direta da floresta é aquela que em Portugal tem suscitado maior interesse, quer pelo potencial energético que representa, quer pela quantidade produzida [2.51].

A biomassa florestal para fins energéticos pode ser dividida em três grupos: primária, secundária e terciária de resíduos. As principais fontes de resíduos primários são os resíduos de exploração de madeira que são subproduto das operações florestais convencionais [2.52]. Resíduos industriais ou secundários são subprodutos de processos industriais florestais, incluindo a casca, serradura, aparas e lascas, pontas de corte transversal e secreções negras [2.53]. Madeira reciclada ou resíduos de nível terciário são outra fonte de biomassa para energia, constituídos predominantemente por produtos de construção, demolição e processos de embalagem [2.54].

A biomassa florestal corresponde assim a um dos maiores recursos endógenos de que Portugal dispõe. O interesse na utilização da biomassa para fins energéticos em centrais dedicadas aumentou após a alteração do valor da tarifa verde, para a energia elétrica produzida com base na biomassa, em 2005. Este aumento da tarifa representou aproximadamente 38% face ao valor anterior [2.55]. Este fator foi determinante para o aumentar a apetência dos agentes económicos para os 15 concursos públicos abertos pela administração pública, em 2006, para a atribuição de capacidade de injeção de potência na rede do sistema elétrico de serviço público. A potência total em concurso foi de 100 MVA [2.56].

A Estratégia Nacional para as Florestas (ENF), aprovada pela RCM n.º 114/2006, de 15 de Setembro, reconheceu a importância que o sector florestal representa para o país e destacou o valor dos recursos florestais nas suas diversas valências económicas, sociais, e ambientais [2.57]. A Estratégia Nacional para Energia (ENE) aprovada pela RCM n.º 29/2010, de 15 de Abril, considera as energias renováveis como uma alavanca para a política energética, dado o contributo destas para a promoção do crescimento económico e para independência energética nacional. A conjugação dessas duas estratégias visa criar sinergias e contribuir para uma gestão profissional e sustentável da floresta, assim como para a concretização dos objetivos assumidos para o sector energético, nomeadamente o de atingir 31% de energia renovável até 2020 para o consumo de energia final [2.58].

De acordo com o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), a capacidade instalada para a produção de eletricidade é de cerca de 500 MW, sendo de esperar que em 2013-2014 sejam atingidos os 958 MW. Para as centrais dedicadas foi estabelecida uma meta específica de 250 MW de potência instalada para o mesmo horizonte [2.58]. A utilização energética da biomassa, no contexto florestal, representa uma forma de aumentar a eficiência dos recursos disponíveis, promovendo o desenvolvimento do sector e a viabilidade económica dos sistemas agroflorestais pelo associativismo e emparcelamento, contrariando assim a tendência atual de abandono, favorecendo o ordenamento e gestão florestal até à indústria e, simultaneamente, garantindo a conservação dos recursos [2.58].

No contexto energético o uso de biomassa permite contribuir para a forte diminuição da dependência energética. Portugal importa mais de 80% da energia que consome; interessa pois reduzir o desequilíbrio das contas externas que as importações de energia geram e, simultaneamente, contribuir para o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo governo, nomeadamente as metas do protocolo de Quioto [2.59, 2.60]. As metas definidas para a produção de energia a partir de biomassa, a que se assistiu nos últimos cinco anos, não foram acompanhadas da geração de recurso, ou seja, o sector da biomassa debate-se hoje com uma grave barreira, a sustentabilidade e disponibilidade do recurso capaz de responder aos desafios propostos, aos projetos já licenciados e outros que possam surgir.

Na última década têm sido apresentadas diversas estimativas para o potencial de biomassa existente no país, valores estes que nem sempre são convenientemente identificados de acordo com a sua representatividade face ao universo da biomassa florestal [2.59, 2.60]. Os estudos sobre a biomassa florestal em Portugal começaram em 1985 e estavam orientados por oito objetivos, dos quais sobressai a determinação da disponibilidade e custos dos resíduos florestais. A produção anual de resíduos florestais e resíduos da indústria da madeira foi avaliada em 3,54 milhões de toneladas verdes, proveniente na sua maioria da exploração florestal do pinheiro bravo, eucalipto e sobreiro. Para além do seu enorme contributo como pioneiro para a avaliação do potencial de biomassa florestal, o estudo fundamentou-se numa não menos importante amostragem de campo que culminou no desenvolvimento das primeiras equações para a estimação de biomassa florestal residual [2.61-2.63].

A ADENE e o INETI em 2001 procederam a uma nova estimativa da produção de biomassa em Portugal. Os resultados obtidos mostram que a floresta portuguesa pode fornecer anualmente cerca de 2 milhões de toneladas secas, enquanto o contributo da indústria transformadora da madeira foi estimado em 200 mil toneladas secas [2.64]. A estimativa efetuada para floresta inclui não só os ramos e bichadas, mas também os matos e a biomassa proveniente de áreas ardidas [2.65]. Em 2006, um estudo realizado baseado numa diferente abordagem de avaliação concluiu que a produção de biomassa florestal proveniente da exploração do pinheiro bravo e do eucalipto, complementada com uma estimativa da produção de biomassa dos matos do sub-coberto florestal, perfazia um total de 5,1 milhões de toneladas secas, dos quais 1,4 e 1,1 milhões de toneladas resultavam dos povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, respetivamente [2.65]. Quando se fala de biomassa, e em particular de biomassa florestal para fins energéticos, deve-se ter particular atenção aos fatores que condicionam a rentável e sustentável utilização deste recurso. A biomassa florestal é um recurso muito heterogéneo, bastante disperso no território, associado a condições geográficas adversas e, muitas vezes, com escassas infraestruturas associadas, o que o torna oneroso e de difícil exploração. Importa pois distinguir alguns conceitos que contribuem para as grandes variações quanto aos valores da biomassa florestal frequentemente apresentados [2.66].

O 6.º Inventário Florestal Nacional (IFN6) apresenta valores para o acréscimo médio anual de biomassa total e para a biomassa média por hectare e por espécie. Esses valores representam o potencial produtivo e dessas quantidades apenas uma parte pouco significativa representa a biomassa disponível para utilização energética [2.67].

Outra estimativa baseada no potencial produtivo, mas com uma validade mais próxima daquela que procura o equilíbrio entre a rentabilização do investimento e a manutenção da sustentabilidade, tem a ver com a disponibilidade da biomassa, ou seja biomassa disponível, quer seja para utilização energética ou qualquer outra [2.67].

Por um lado, o conceito de disponibilidade associado à biomassa entra em consideração com fatores limitantes, quer seja a nível da sua exploração, nomeadamente, condicionantes físicas decorrentes do relevo e ambientais, quer do tipo de solo e outras que tornem restritivas a sua utilização. Importa pois verificar a disponibilidade ambiental da biomassa. Por outro lado, devem ser avaliadas também as condicionantes económicas que poderão surgir quando a exploração da biomassa se torna de tal modo onerosa que impossibilita a rentabilização do seu uso; neste caso trata-se da disponibilidade económica [2.68].

É fundamental a integração da fileira da biomassa com várias fileiras já existentes no sector florestal, promovendo uma melhor floresta com uma maior e melhor produção em todas as suas vertentes produtivas [2.69].

2.4.2. Incentivos e políticas energéticas para o aproveitamento da biomassa florestal em Portugal

A bioenergia florestal precisa de um quadro político favorável para ser competitivo. Um dos princípios em que se baseia a política europeia é o princípio da subsidiariedade, que pretende o poder de decisão o mais próximo possível do cidadão. A União Europeia enquadra e orienta as políticas dos estados membros, sem deixar de lhes conferir a liberdade na definição concreta das políticas e instrumentos que pretendem implementar [2.70].

A nível comunitário a preocupação de integração das políticas energética e ambiental está revertida na nova “Política Energética para a Europa”, assente em 4 pilares:

- Um mercado de energia funcional;
- A passagem para uma economia de baixo carbono;
- Aumentar a eficiência energética;
- Criar uma nova abordagem nas relações com os países terceiros.

Pretende-se assim transformar a Europa numa economia energética altamente eficiente e com baixa produção de CO₂, satisfazendo em simultâneo os requisitos energéticos e ambientais. Do enquadramento estratégico dos compromissos internacionais assumidos resultaram as estratégias e planos nacionais destinados ao cumprimento dos objetivos propostos.

Em Portugal a aposta na biomassa tem-se restringido à produção de eletricidade, tendo-se optado por um sistema de tarifas de aquisição aliada a concursos públicos. Foi no seguimento desta política que foi aberto um concurso para quinze centrais dedicadas a biomassa. Segundo o decreto-lei n.º 225/2007 - a tarifa de aquisição para as centrais de biomassa está entre os 106-108 €/MWh e é válida nos primeiros 25 anos a partir do momento em que se começa a fornecer eletricidade à rede. Contudo, em vários países europeus a co-combustão de biomassa é elegível para uma tarifa superior à do mercado português [2.71].

Este tipo de incentivos e de políticas para além de irem ao encontro dos objetivos da política energética europeia, pretendem também valorizar os resíduos das operações de silvicultura tradicionais e de silvicultura preventiva. Neste último caso, o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI) considera uma medida que consiste na redução de combustível através da implementação de uma rede de gestão de combustível, e que envolverá a redução total ou parcial da vegetação. Também a criação das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), com a melhoria da gestão silvícola que se espera, poderá criar condições para uma abordagem integrada dos produtos e serviços florestais, entre os quais a biomassa florestal residual [2.72].

A Estratégia Nacional para a Energia prevê a instalação efetiva de 250 MW de potência elétrica a partir de centrais dedicadas a biomassa, mas omite o potencial da biomassa como fonte de energia para o aquecimento residencial e de edifícios públicos [2.72].

No entanto, apesar da política energética portuguesa no que respeita à biomassa ser excessivamente estreita nas suas aplicações, existe a possibilidade de recorrer a outro tipo de incentivos, nomeadamente, através da comparticipação de investimentos. O programa PRIME, através da Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético (MAAPE), permitiu eleger projetos de energias renováveis para obtenção de juros reduzidos e comparticipações que podiam chegar até 40% do investimento total. Também foram aprovados os programas Operacionais para o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN) para o período entre 2007 e 2013, e que permitiram a candidatura de projetos baseados na investigação e desenvolvimento e internacionalização de pequenas e médias empresas [2.73].

2.5. Vantagens/limitações da utilização de biomassa para produção de energia e tendências futuras.

Das diferentes vantagens em diferentes campos de uso da biomassa que têm vindo a ser verificadas, torna-se necessário resumir as principais, uma vez que a biomassa é apontada como uma excelente oportunidade de negócio no campo energético. Das várias vantagens verificadas destacam-se [2.74]:

- Dinamização das zonas rurais com a criação de emprego;
- Redução da emissão dos GEE;
- Auxílio no cumprimento das metas nacionais através de fontes renováveis;
- Elevada disponibilidade de biomassa por todo o país;
- A experiência adquirida com os primeiros projetos realizados;
- Aumento da diversidade de oferta e possibilidade de armazenamento de energia;
- Diminuição dos riscos de incêndios;
- Balanço CO₂ neutro;
- Dinamização e criação de florestas mais sustentáveis.

Como qualquer outro combustível sólido, a sua utilização e toda a logística associada apresentam várias limitações e desvantagens. O mesmo se verifica com o uso da biomassa. Das principais limitações apontam-se [2.75]:

- É um combustível taxado com 23% de IVA na atualidade;
- Fraco conhecimento e experiência de aproveitamento energético de biomassa;
- Inexistência de equipamentos específicos de recolha de resíduos, com as inerentes dificuldades de recolha e comercialização, e limitações inerentes ao tipo de propriedade: dimensão, dispersão e orografia;
- O aproveitamento de resíduos resultantes da exploração florestal encarado separadamente da exploração de material lenhoso;
- Incêndios florestais;
- Ausência de mercado para resíduos florestais, pois não se criou a tradição de recolha de resíduos em grande escala;
- Dificuldades de abastecimento pela existência de diferentes fontes e agentes intervenientes na fileira florestal, que não se dedicam exclusivamente ao negócio da biomassa;
- Falta de conhecimento científico que justifique o balanço entre a recolha de resíduos e o fundo de fertilidade dos solos;
- Falta de informação quanto às políticas, incentivos e tecnologias a usar.

No entanto, é importante referir que o balanço de CO₂ neutro referido como vantagem no uso de biomassa para energia apenas se verifica se se excluir, para efeitos de análise, as emissões adicionais de CO₂ fóssil libertadas na recolha, tratamento e transporte da biomassa. De qualquer forma, o balanço global de CO₂ neste sistema é menos negativo do que o balanço de CO₂ num sistema de produção de energia elétrica ou de aquecimento a partir de combustível fóssil, como por exemplo, o carvão ou o gás natural [2.76]. A Figura 2.3 ilustra o ciclo de carbono da biomassa.

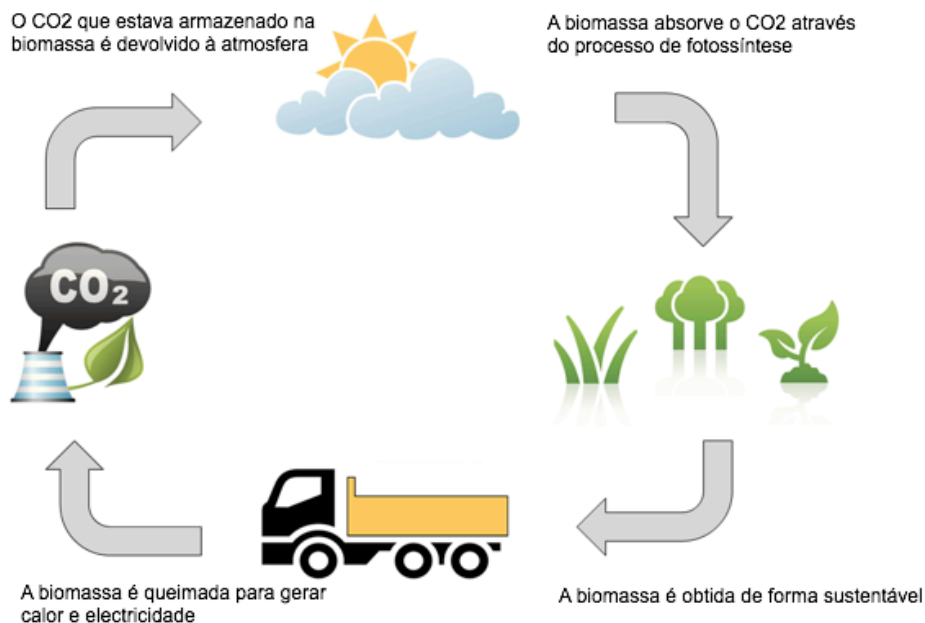


Figura 2.3. O Ciclo do Carbono da Biomassa (adaptado de [2.77])

Quanto às tendências futuras, as culturas florestais energéticas são parte do futuro da bioenergia. O desenvolvimento de culturas energéticas, tais como o salgueiro, choupo, ou eucalipto, irão aumentar, pois tratam-se de sistemas intensivos de produção de biomassa e são caracterizados por ciclos de corte curtos, entre um a seis anos [2.78]. Esses sistemas permitem não só uma maior mecanização das operações, bem como uma gestão orientada para uma sustentabilidade mais facilitada e uma redução de pressão na exploração da biomassa florestal residual [2.78].

Embora o desenvolvimento tecnológico avance no sentido de proporcionar tecnologias de produção de eletricidade cada vez mais eficientes, a biomassa tem um enorme potencial para substituir combustíveis fósseis no aquecimento ambiente e água, recorrendo a sistemas limpos, baratos e eficientes. Este deve ser o principal caminho para a utilização de biomassa e onde a sua aplicação é mais otimizada, tendo em conta o grau de desenvolvimento de Portugal [2.79].

Contudo, os sistemas de aquecimento de edifícios públicos e residenciais recorrendo à instalação de caldeiras modernas de biomassa podem também funcionar em regime de cogeração, produzindo calor e eletricidade; no entanto, será a trigeriação, e não a cogeração, a tecnologia que mais se adequaria ao clima português, aproveitando o calor produzido no verão, período em que as necessidades de aquecimento são quase nulas para produzir frio [2.79].

O muito aguardado avanço tecnológico que se considera que poderá causar uma pequena revolução no mundo da energia é a produção de biocombustíveis a partir de biomassa florestal, nomeadamente bioetanol e o biodiesel. Existem determinados processos para a produção destes biocombustíveis em desenvolvimento, no entanto ainda não são tecnologias comerciais para gerar produções a níveis industriais, mas podem sê-lo a médio prazo [2.79].

A biomassa será, no futuro, um recurso que pode ser utilizado para aquecimento, arrefecimento, eletricidade e transportes, respondendo com uma percentagem significativa às necessidades energéticas das sociedades modernas. É pois neste contexto que devem ser feitos todos os esforços para ultrapassar todos os estrangulamentos [2.80].

2.6. Conclusões

Neste capítulo pretendeu-se fazer a caracterização do sector da energia, dando uma panorâmica do sector energético pelas diferentes fontes que contribuem para a produção de energia. Esta caracterização teve como principal objetivo fazer um ponto de situação sobre o estado atual da utilização de fontes renováveis na produção de energia de uma forma global, abrindo já uma perspetiva para a evolução natural que será a substituição das formas de energia tradicionais, como por exemplo os combustíveis de origem fóssil, para as formas de energia renováveis, entre as quais se destaca a biomassa. Interessa também ressaltar que se trata de uma abordagem que já se iniciou, mas que, como se verificou, ficou aquém do esperado, pois, por diversos motivos, não se iniciou da melhor forma, nomeadamente no que respeita à utilização de biomassa para produção de energia elétrica.

Esta era também, como se viu, a principal abordagem da utilização de biomassa, e continua a ser a principal abordagem para as restantes formas de produção de renovável. No entanto, novas formas de utilização se perspetivam para a biomassa, nomeadamente a produção de calor, à semelhança do que se passava já no sector de consumo doméstico, mas agora a uma escala maior com as aplicações industriais.

Capítulo 3

A biomassa como fonte de energia

Este capítulo analisa a situação atual e futura da biomassa baseada numa revisão da literatura. O potencial da biomassa do ponto de vista das alterações climáticas e da sociedade é apresentado. O papel da biomassa em relação à segurança no abastecimento energético é analisado do ponto de vista de diversos autores. Os impactes 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.

3.1. Enquadramento

A biomassa define-se como sendo constituída pelo material produzido por todos os seres vivos nos seus diferentes processos. Ou seja, a matéria orgânica viva fixa energia solar nas moléculas constituintes das suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar ou trófica [3.1-3.6]. Alguns autores definem biomassa como qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável num período de tempo inferior a 100 anos [3.7-3.10] e, sendo assim, a maioria dos recursos energéticos como o petróleo, carvão mineral e xistos betuminosos são excluídos da definição, apesar de serem derivados da vida vegetal [3.11]. Outros autores definem, de forma abrangente, a biomassa como sendo qualquer combustível ou matéria bruta derivada de organismos que estiveram vivos recentemente. Tal definição claramente exclui os tradicionais combustíveis fósseis que, mesmo tendo sido derivados de matéria orgânica vegetal e animal, necessitaram de milhões de anos para a sua conversão na forma que são encontrados atualmente [3.12-3.15].

Diversos autores 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 [3.16]. 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 neutro para a utilização da biomassa, não contribuindo assim para o aquecimento global que está na origem das alterações climáticas. Na mesma linha de pensamento, outros autores defendem que quando produzida por recursos sustentáveis, a biomassa emite aproximadamente a mesma quantidade de carbono que absorveu durante o crescimento das plantas [3.17-3.20]. Portanto, também consideram que o uso da biomassa não contribui para a acumulação de CO₂ na atmosfera. Apesar destas considerações, outros autores referem que é necessário ter em atenção 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 [3.21]. Também realçam o facto de que o balanço de CO₂ é neutro se for apenas considerado o processo de queima em si. No entanto, se se analisar toda a cadeia de aproveitamento de biomassa (recolha, transporte, queima), está sempre associada a libertação de GEE [3.22]. Um sistema ideal de produção de biomassa é aquele em que a energia não contribui para a mudança do clima através dos GEE. Os sistemas reais de produção de biomassa diferem dos sistemas ideais em três aspetos. Em primeiro lugar, a produção de energia de biomassa quase sempre implica a utilização de energia fóssil para a cultura, transporte e produção nas diferentes fases do processo [3.23]. Em segundo, a desflorestação geralmente liberta uma grande quantidade de carbono das árvores para a atmosfera [3.24]. O terceiro aspeto refere-se ao efeito da biomassa sobre o clima, que envolve o equilíbrio entre absorção e reflexão da energia solar na superfície da terra [3.25].

A forma 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 [3.26].

A biomassa é a fonte de energia 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 é utilizada como uma importante fonte de energia, enquanto nos países industrializados representa apenas um aproveitamento ainda residual da oferta de energia [3.27].

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 da disponibilidade de terras não produtoras de alimentos. A longo prazo, a biomassa de algas aquáticas também poderia ter uma contribuição significativa [3.28].

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 biomassa 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 mostram já que a procura futura de biomassa poderia ser elevada, mesmo na ausência de políticas diretas no combate às alterações climáticas [3.29].

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. Sendo a única fonte renovável que pode substituir os combustíveis fósseis em todos os mercados energéticos - na produção de calor, eletricidade e combustíveis para transporte, a biomassa poderá contribuir sustentadamente com 25% e 33% no futuro fornecimento global de energia primária em 2050 [3.30].

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 [3.31].

A biomassa que apresenta o maior potencial de utilização provém dos resíduos agrícolas, dos resíduos alimentares, e dos resíduos sólidos urbanos. Por sua vez, o potencial energético dos resíduos florestais e das culturas energéticas irá ser aproximadamente o mesmo [3.32].

Globalmente, o uso de biomassa no fornecimento de calor e aplicações industriais deverá duplicar até 2050, enquanto se prevê um aumento na produção de eletricidade a partir de biomassa [3.33]. No caso particular de Portugal, as avaliações efetuadas apontam para um potencial de biomassa total atual de 26.336 GWh/ano. Os recursos de biomassa que contribuem para este valor são: origem animal (17.073 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) e culturas energéticas (8.378 GWh/ano) [3.34].

3.2. Potencial da biomassa enquanto recurso energético

Atualmente, a biomassa é vista como uma das opções chave para abrandar as emissões de GEE e substituir os combustíveis fósseis [3.35]. A biomassa é também uma fonte atípica, devido à sua diversidade e inter-relações com muitas áreas tecnológicas e políticas. 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 [3.36]:

- 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.

A biomassa contribui para todos os elementos importantes de desenvolvimento de um país ou de uma região [3.37]:

- Crescimento económico através da expansão do negócio (lucro) e do emprego;
- Substituição de importações (efeitos diretos e indiretos sobre o PIB);
- Segurança e diversificação do abastecimento de energia.

Os aspetos que devem ser considerados quando se avalia a contribuição da biomassa e dos biocombustíveis na capacidade de atender às procuras futuras de energia com impactes ambientais limitados são [3.38]:

- A quantidade de energia que é necessária para produzir cada unidade de energia renovável;

- Os GEE que são libertados no processo.

Numa escala global e a longo prazo, grande parte do potencial de produção de biomassa pode ser encontrado nos países em desenvolvimento e em regiões como a América Latina, África e na Europa Oriental. Esta situação cria importantes oportunidades para tais regiões, dado o esperado aumento da biomassa dentro do fornecimento de energia mundial [3.39].

A biomassa tem o maior potencial de criação de emprego de todas as energias renováveis. Principalmente as regiões rurais podem beneficiar do estabelecimento de indústrias de biomassa e da ligação à produção de biomassa. Na mesma linha de pensamento estão diversos autores, 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 [3.40].

Previsões efetuadas através dos resultados dos programas ALTENER I e II mostravam já que a biomassa seria a fonte de energia renovável que cria a melhor relação entre benefícios/emprego [3.41]. Algumas análises demonstravam que três novos postos de trabalho poderiam ser criados no sector da biomassa por cada emprego perdido na agricultura [3.42]. Alguns estudos realizados apontavam para a criação de cerca de 40 empregos diretos e 20-45 empregos indiretos por cada MW instalado, entre 5 a 15 vezes mais do que com os combustíveis fósseis [3.43]. Outros autores defendem que a biomassa cria mais empregos do que as outras fontes de energia, nomeadamente, 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 a respeitante aos combustíveis fósseis. No sector da produção de energia elétrica, a criação de emprego é 10 a 20 vezes superior, e no sector da produção de calor é duas vezes superior aos combustíveis fósseis [3.44-3.46].

Estas perspetivas de emprego positivas são suscetíveis de produzir um impacto favorável nas regiões rurais, estimando-se que 80% de todos os postos de trabalho associados à utilização da biomassa como fonte de energia seriam criados nas áreas rurais [3.47].

Do ponto de vista social, a geração de empregos diretos e indiretos 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 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 atividades económicas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural [3.48].

Mais uma vantagem social que merece ser mencionada é a redução dos níveis de emissão de gases poluentes e conseqüente melhoria da qualidade do ar, estando diretamente relacionada com a saúde e reduzindo os gastos públicos no sector da saúde [3.49].

A crescente utilização e produção de biomassa como fonte de energia renovável tem 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 [3.50].

Os biomateriais, dependendo da sua procura, e a produção de biomassa em terras degradadas são as categorias com maior potencial para o fornecimento de biomassa, seguido da biomassa animal, dos agrícolas e dos resíduos florestais, respetivamente. A categoria com menor potencial é a produção de biomassa em terras agrícolas, que está condicionada à área disponível para esse fim [3.51].

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 em diversos trabalhos, onde se reconhece a necessidade dos sistemas de certificação incluírem critérios económicos, sociais e ambientais [3.52].

O conceito de desenvolvimento sustentável está fortemente aliado ao consumo e produção de energia elétrica. Considerando a importância crescente da energia para o bem-estar da população e para a continuidade das atividades 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 em larga escala [3.53].

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 fatores-chave dos seus desempenhos ambientais e do carácter sustentável do seu desenvolvimento económico. Devido ao peso da biomassa na geração de eletricidade, as reformas institucionais do sector eléctrico têm proporcionado maior espaço para a geração descentralizada de energia elétrica e a cogeração (produção combinada de calor útil e energia mecânica) [3.54]. 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.

A promoção da biomassa permite atenuar o aumento da dependência do petróleo e melhorar a segurança do aprovisionamento de eletricidade, além da redução das emissões de CO₂. 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 infraestruturas de fornecimento relacionados com a baixa diversidade de oferta: cerca de metade do gás natural consumido na UE é atualmente fornecido pela Rússia, Noruega e Argélia [3.55].

Desde que a melhoria no fornecimento de energia se tornou um objetivo fundamental da política energética na UE, as opções de biomassa 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 [3.56].

A utilização da biomassa para fins energéticos, quando considerada a partir de uma perspetiva de segurança de aprovisionamento, depende do peso da dependência da importação do petróleo e gás natural e do desenvolvimento futuro dos sectores [3.57].

Não existe uma recomendação clara quanto ao sector para se utilizar a biomassa para fins energéticos. Contudo, 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 uma base maior de recursos com perspectivas para a redução dos custos de fornecimento de produtos de culturas agrícolas tradicionais e 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 [3.58].

Numa perspetiva de criação de emprego no sector agrícola, a utilização dos biocombustíveis nos transportes é preferível ao uso da biomassa no sector estacionário, como calor e energia. Como defendido por diversos 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 infraestrutura que leve a reduções nos custos ao longo da cadeia de fornecimento de biomassa. Em alguns países da UE15, a aplicação da coincineração 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 [3.58].

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 eletricidade é mais económica e oferece maior potencial de redução nas emissões de CO₂ do que na substituição da gasolina ou diesel utilizados no transporte. 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. 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 [3.59]. 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 investigação, pois a segurança do abastecimento não procura maximizar a autossuficiência energética ou minimizar a dependência, mas visa reduzir os riscos associados a tal dependência [3.60].

A biomassa passível de ser utilizada para a produção de energia pode ser de dois tipos de acordo com a sua proveniência: a biomassa resultante da atividade agrícola ou florestal, constituindo resíduos e subprodutos, ou 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 [3.60].

3.3. Produção dedicada para fins energéticos

Existem três fatores que devem ser considerados quando se pretende equacionar a produção de culturas agrícolas para fins energéticos. Assim, deve-se ter em consideração [3.61]:

- A necessidade de se reduzir a dependência energética nacional;
- A necessidade de redução das emissões de GEE;
- A interrupção das ajudas às culturas arvenses que poderá dar origem a uma maior flexibilidade nas opções culturais e a um maior risco de abandono da atividade agrícola e, por isso, do cultivo dos solos.

Várias avaliações do potencial de fornecimento da biomassa mostram que as maiores oportunidades para a produção de biomassa na Europa e noutros lugares se encontram na produção de culturas energéticas agrícolas [3.62-3.63]. A adoção 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 fatores para justificar o porquê das culturas energéticas [3.64]:

- 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;
- A estabilização dos preços e da pressão sobre a madeira e outros produtos florestais que atualmente retiram matéria-prima a outros sectores industriais.

Vários estudos sugerem que as plantações de biomassa em países em desenvolvimento pode contribuir para que estes se tornem os principais fornecedores de biomassa do futuro, principalmente a longo prazo, embora outros estudos indiquem uma pequena contribuição vinda desta fonte. Contudo, para vários autores a contribuição das plantações da biomassa é crucial para o fornecimento total de biomassa. 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. A contribuição das culturas energéticas dependerá de múltiplos fatores, incluindo o tipo de cultura, de gestão, do clima e do solo [3.64].

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 UE25 que foram diretamente 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%) [3.65].

Segundo dados da *International Energy Agency* (IEA) o potencial da biomassa através de resíduos de culturas energéticas na UE até 2030 deverá atingir 24 EJ. O potencial a longo prazo para as culturas energéticas depende em grande medida [3.66]:

- 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 dos fatores que limitam o acesso à terra, tais como a água e a proteção da natureza;
- Da escolha das culturas energéticas, que define os níveis de produção de biomassa que pode ser obtida em terras disponíveis.

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 [3.67]. Na mesma linha de pensamento, demonstrou-se 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 [3.68].

O potencial conflito entre a biodiversidade e a produção de culturas de biomassa depende de aspetos como o tipo de cultura, os regimes de rotação, manuseamento de pragas, uso de fertilizantes, irrigação, tamanho do campo e procedimentos de colheita. 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 minimizados e mesmo evitados se houver uma gestão adequada [3.68]. No entanto, vários estudos têm também demonstrado que, em geral, esses problemas são menos graves quando comparados com as plantações de alimentos. 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 [3.69, 3.70].

Em geral, 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/extração 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 uma discussão, contínua e ativa, 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 biomassa já foi reconhecida 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 [3.71].

A produção de culturas de biomassa ou a utilização de recursos disponíveis está frequentemente associada à política agrícola. Portanto, 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 objetivos estratégicos da energia da União Europeia - Sustentabilidade, Segurança do abastecimento e Competitividade [3.72].

Se as culturas energéticas serão adotadas ou não pelos agricultores depende muito da economia inerente a essas culturas. Quando os lucros das plantações de biomassa excederem os lucros da produção de alimentos, os agricultores, se eles se comportarem como potenciadores de lucros, irão deslocar-se em direção às culturas energéticas, a menos que os preços da agricultura aumentem [3.73].

Para abordar as estratégias futuras para a biomassa 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 afeta a redução de custos futuros no crescimento da cultura. Por isso devem-se analisar os custos de produção, não só nas condições atuais, mas também sob possíveis condições futuras, incluindo um aumento na área de cultivo [3.74].

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. 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 [3.75].

Na mesma linha de pensamento, considera-se 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 biomassa a partir de terras agrícolas abandonadas e degradadas por causa da elevada incerteza associada à extensão espacial das terras e ao potencial de produção de culturas nessas terras. No mesmo estudo, os autores demonstraram com base em dados históricos, dados por satélite e modelagem do ecossistema, que o potencial global de biomassa em terras agrícolas abandonadas é inferior a 8% da procura atual de energia primária e que a área global estimada de terras agrícolas abandonadas é de 385-472 milhões de hectares [3.76]. Em muitos casos, 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 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 a redução de carbono, comparativamente ao uso de terras para a produção das culturas arvenses.

Contudo, o local onde a biomassa 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 [3.77].

O terreno disponível para a produção de biomassa é a base de terra residual após a subtração 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 biomassa. As plantações para a produção de biomassa devem ser selecionadas 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 [3.78].

O impacte 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 impacte ambiental de biomassa incluem [3.79]:

- 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 estimativas realizadas 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 [3.80]. 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. Uma desvantagem ambiental destas culturas é o elevado consumo de água, que é um recurso limitado por exemplo em Espanha e noutros países mediterrâneos [3.81].

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. 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 [3.82]. A ideia central 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 da PAC (Política Agrícola Comum) 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. 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 atuais às culturas energéticas têm efeitos diretos nos preços da biomassa, considerados, no entanto e 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 [3.83].

As plantações de culturas energéticas que trazem adicionalmente benefícios ambientais são comumente designadas de plantações de culturas energéticas multifuncionais. 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 multifuncionais 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 multifuncionais como uma força para as culturas energéticas, requer que o valor do serviço ambiental seja rentabilizado e transferido para o produtor das culturas energéticas [3.84].

3.3.1. Concorrência entre culturas tradicionais e culturas energéticas

É reconhecido pelo CESE (Comité Económico e Social Europeu) que as matérias-primas renováveis são um importante fator para a sustentabilidade das economias nacionais. Ao mesmo tempo, constata que o valor energético de determinados produtos agrícolas essenciais é atualmente 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 [3.85].

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. A área necessária para o fornecimento de energia e alimentação depende por um lado do consumo, e por outro lado da produção por m². Desse modo, existe uma concorrência entre as diversas utilizações das terras para produção de culturas alimentares, objetivos da biodiversidade e conservação da natureza e da proteção ambiental, ou para produção de matérias-primas para fins não alimentares. Esta concorrência pode variar de região para região e evoluir de modo diverso. Também no que respeita a superfícies disponíveis para produções deste tipo, a situação não é homogênea [3.85].

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 de biomassa para uso energético; contudo, os modelos económicos indicam que a agricultura para a biomassa e a agricultura para a alimentação irão competir diretamente 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, sendo que essa variação é em parte causada por diferenças nas condições de crescimento, mas também por diferenças nas práticas agrícolas [3.85].

Alguns estudos de modelagem de biomassa projetam que áreas adicionais além das terras degradadas, abandonadas e marginais ficarão disponíveis, como as terras agrícolas abandonadas em resposta à oferta de alimentos excedentes. 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 [3.83]. Na verdade, 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, infraestruturas e reservas naturais [3.85].

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 afetada 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 sim a falta de poder de compra da população [3.86].

No caso particular da UE, espera-se que a médio prazo dos atuais 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 [3.82].

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 impactes ambientais [3.87].

Em diversos estudos estimou-se 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 de quase 14 milhões de hectares até 2010, e isso irá aumentar para quase 18 milhões de hectares em 2020 e 20 milhões em 2030 [3.88].

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. 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 afete a realização de outros objetivos ecológicos [3.88].

3.3.2. Culturas energéticas

Entende-se por culturas energéticas as culturas destinadas à produção de produtos energéticos, nomeadamente, biocombustíveis como o biodiesel e o bioetanol, e a energia elétrica e térmica produzida a partir de biomassa, seja por combustão direta do material proveniente da floresta, como de combustíveis sólidos processados, como a estilha e os *pellets*.

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.

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, torrefação, pirólise, fermentação, entre outras [3.89]. 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 [3.89]. Até hoje, a maior parte destas culturas energéticas têm sido mais aplicadas para a produção de biocombustíveis, e o aproveitamento de resíduos mais direcionados para a produção de energia térmica e elétrica. No entanto, começa a haver por parte das centrais termoelétricas um crescente interesse pelo aproveitamento destas culturas para todos os fins energéticos [3.90].

3.3.3. Culturas energéticas em Portugal

Os biocombustíveis concorrem diretamente com os combustíveis de origem fóssil, ou misturados com estes, e reduzem significativamente a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, contribuindo assim para a diminuição do efeito de estufa. A diminuição das emissões deste gás para a atmosfera com a utilização de biocombustíveis é um dos principais argumentos para a implementação de ajudas à produção de culturas energéticas e uma medida necessária para dar cumprimento ao Protocolo de Quioto. Por outro lado, a montante desta indústria, as culturas energéticas são tendencialmente fixadoras de CO₂.

O apoio às culturas energéticas, por parte da EU, consiste na possibilidade de produzir culturas industriais em terras retiradas da produção, ou seja, o designado Pousio não Alimentar, e que foi criado pela reforma da Política Agrícola Comum (PAC), constante no Regulamento (CE) n.º 1782/2003 do Conselho de 29 de Setembro de 2003, que institui determinados Regimes de Apoio aos Agricultores.

Para o efeito, foi estabelecida uma Superfície Máxima Garantida (SMG) para a UE de 1.500.000 hectares à qual pode ser concedida ajuda. Sempre que a superfície total para a qual é pedida a ajuda exceda a SMG, a superfície por agricultor para a qual é pedida a ajuda é reduzida proporcionalmente à superação, no ano em questão.

A ajuda é concedida apenas em relação às superfícies cuja produção seja objeto de um contrato entre o agricultor e um transformador, exceto nos casos em que a transformação seja feita pelo próprio agricultor, na exploração.

Em Portugal, não se tem verificado interesse manifesto na produção de culturas energéticas. O pousio não alimentar também não oferecia ajudas superiores à retirada obrigatória de terras da produção e, para além disso, a carga burocrática associada a esta ajuda era e continua a ser enorme. A tudo isto acresce a necessidade da existência de um transformador (indústria), com o qual o agricultor tem que formalizar obrigatoriamente um contrato. As perspetivas para o sector dos biocombustíveis em Portugal são neste momento uma incógnita. Para que a produção de culturas energéticas se apresente como alternativa, por exemplo à não produção no âmbito do Regime de Pagamento Único, a cultura tem, por si só, que ser economicamente viável.

3.4. Valorização de resíduos de biomassa

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. Atualmente, os resíduos florestais, agrícolas e urbanos, são as principais matérias-primas para a produção de eletricidade e calor a partir da biomassa. Além disso, uma pequena quota de culturas dedicadas é utilizada como matéria-prima para a produção de biocombustíveis líquidos [3.93]. Alguns autores 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 elétrica [3.94].

A recuperação de energia a partir da fração não reciclável dos resíduos domésticos é uma opção válida tanto económica quanto ecologicamente. Os resíduos domésticos têm quase 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 impactes 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 geração de energia elétrica.

Como hoje em dia já existem processos que garantam um controlo da qualidade do ar a partir da queima dos resíduos, existe uma mais ampla 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 fração de materiais de biomassa na produção total de resíduos. Foi estimado que 75% dos resíduos orgânicos urbanos podem ser aproveitados para o uso energético [3.95].

A vantagem da utilização de resíduos sólidos urbanos para a produção de energia também inclui o facto de que os materiais descartados que podem ser reutilizados frequentemente absorvem grandes quantidades de recursos minerais ou florestais durante a produção, ou requerem grandes quantidades de eletricidade. Ao usar resíduos sólidos para a geração de eletricidade 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 [3.95].

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 extração 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 [3.96].

Se estes resíduos sólidos são produzidos e colocados perto de grandes centros urbanos que são grandes consumidores de energia elétrica, não existem custos de transporte. De forma similar às centrais termoelétricas a gás natural, as alternativas de centrais de biomassa não necessitam de investimentos significativos em transmissão, pois elas podem estar sempre localizadas cerca dos centros consumidores. A maior desvantagem das centrais elétricas a partir de biomassa em comparação com as centrais elétricas de gás natural é, por exemplo, 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 [3.94].

Em relação aos resíduos agrícolas, estes dependem da produção de alimentos. Para aplicações energéticas, onde se requer a disponibilidade contínua 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 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 agrícolas não são competitivos com os combustíveis fósseis, pela sua dispersão em grandes áreas em pequenos volumes [3.95]. 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. 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 silvicultura 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) [3.96].

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. Mesmo no caso das mais altas projeções 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 e a produção de energia exige compromissos. O uso da madeira para fins energéticos dependerá diretamente dos preços da matéria-prima [3.97]. No presente, Portugal tem uma capacidade produtiva instalada próxima das 800 mil toneladas de biomassa lenhosa por ano. Em Portugal o destino atual 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 [3.97].

3.5. Perspetivas de utilização da biomassa

Já foi referido que a biomassa pode ser subdividida em biomassa para a eletricidade, calor e biocombustíveis para o transporte, sendo que os biocombustíveis são os maiores competidores da eletricidade a partir da biomassa.

A partir disso, parece ser razoável atribuir metade do potencial da biomassa para os transportes através dos biocombustíveis, e metade disso para a eletricidade através das centrais de cogeração. A contribuição da biomassa para a eletricidade terá um peso de 20% do potencial total da biomassa em 2025, podendo atingir os 40% num cenário mais otimista [3.98].

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 interação de quatro fatores 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. O segundo 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. Estes fatores devem ser efetivamente 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 impactes externos podem levar à prática ou níveis desejáveis de produção de energia de biomassa que são muito menores do que os níveis teóricos potenciais. Uma imagem clara destas restrições pode ser um trunfo importante no sentido de incentivar o desenvolvimento racional da indústria de energia da biomassa [3.99].

As tecnologias de biomassa podem ser economicamente competitivas, mas ainda é necessário ultrapassar algumas barreiras como a aceitação do público, em particular, e 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 biorefinarias 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 [3.96].

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 extração, 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 [3.100].

3.6. Conclusões

Neste capítulo fez-se uma caracterização das formas de utilização da biomassa enquanto forma de energia, já que esta já vem sendo utilizada, nas suas mais diversas formas, nomeadamente na produção de energia elétrica em grande escala, mas também nas suas formas alternativas, como por exemplo na produção de biocombustíveis, como o biodiesel e o bioetanol, que no caso do primeiro já faz parte do quotidiano dos Portugueses, uma vez que já se incluem incorporações significativas obrigatórias no combustível comercial.

A questão levantada com a potencial necessidade de ser quase obrigatória a utilização de culturas energéticas em grande escala, também é pertinente. Como se viu, Portugal tem todas as condições para o desenvolvimento dessas culturas, tanto das mais tradicionais como o pinheiro ou o eucalipto, como de outras mais específicas, como a colza ou o cártamo, sendo que as primeiras se enquadram mais com o objeto do presente trabalho, e as segundas mais com a produção de biocombustíveis líquidos destinados ao sector dos transportes.

Nesta perspetiva, já é possível perceber-se que a biomassa se pode afirmar como uma alternativa energética credível, pois é possível reunir as condições necessárias para que a produção de biomassa possa ocorrer de forma contínua e permanente, ao mesmo tempo que se reúnem também as condições para a sustentabilidade do processo, permitindo o desenvolvimento de um sector que, embora já em funcionamento, ainda tem muito que evoluir e crescer.

Capítulo 4

A floresta Portuguesa enquanto recurso

Este capítulo faz uma caracterização da utilização de biomassa na Europa e em Portugal, de forma mais particular, passando em seguida para uma caracterização da floresta portuguesa enquanto recurso com potencial energético. Abordam-se também os diferentes tipos de tecnologias para aproveitamento de biomassa para fins energéticos, assim como a perspectiva da sua utilização e quantificação do recurso florestal.

4.1. Enquadramento

Na UE procura-se ativamente uma forma para mitigar o crescente aumento da poluição atmosférica e da dependência externa de fontes de energia da maior parte dos seus países membros, com recurso à implementação de uma nova política energética integradora, abrangente e consistente. Os pilares de sustentabilidade dessa política, no contexto atual de crise económica ainda muito acentuada, são: a necessidade de reduzir o consumo de energia, o aumento da utilização das fontes de energia renováveis, dado o seu potencial de produção interna e a sua sustentabilidade, e a diversificação das fontes de energia e o aumento da cooperação internacional para o comércio de energia.

Estes elementos permitirão que a Europa possa reduzir a sua dependência face às importações de energia, aumentar a sustentabilidade e estimular o crescimento económico e o emprego, principalmente devido ao surgimento de novas oportunidades de negócio geradas pela exploração de recursos renováveis como a biomassa. Neste capítulo faz-se a análise do estado da arte da bioenergia na Europa, com particular ênfase para a biomassa sólida. Além disso, pretende-se expor a disponibilidade dos recursos nacionais à implementação da biomassa florestal como fonte de energia, bem como a política de promoção desta fonte de energia renovável.

4.2. A utilização de biomassa na Europa

O processo de concertação multilateral desenvolvido a partir dos resultados da Conferência mundial que se realizou no Rio de Janeiro em 1992, nomeadamente no âmbito da biodiversidade e das alterações climáticas, contribuiu de uma forma definitiva para a mudança na forma de pensar da sociedade no que diz respeito aos impactes do consumo de energia, principalmente a sua relação com as emissões de gases causadores de efeito de estufa e o seu contributo subsequente para o aquecimento global [4.1].

O controlo do consumo de energia na Europa e a utilização crescente de energia proveniente de fontes renováveis, a par da poupança de energia e do aumento da eficiência energética, constituem as partes motrizes do pacote de medidas necessárias para reduzir as emissões de GEE e cumprir o Protocolo de Quioto, bem como os restantes compromissos, assumidos a nível comunitário e internacional, de redução das emissões de GEE. Estes fatores desempenham igualmente um importante papel na promoção da segurança do aprovisionamento energético, na promoção do desenvolvimento tecnológico, da inovação e na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, especialmente em zonas rurais e distantes dos grandes centros urbanos, que a UE entendeu impor através da Diretiva 2009/28/CE [4.2].

A produção de energia a partir de fontes renováveis depende frequentemente das pequenas e médias empresas, locais e regionais, constituindo oportunidades significativas de crescimento e emprego nas regiões de investimento. Por conseguinte, a Comissão Europeia e os estados membros apoiam as medidas de desenvolvimento tomadas nas esferas nacional e regional nesses domínios, incentivam o intercâmbio das melhores práticas na produção de energia a partir de fontes renováveis entre as iniciativas de desenvolvimento locais e regionais, e promovem a utilização de fundos estruturais nesta área. Cumulativamente, é fundamental apoiar a demonstração e comercialização das tecnologias de produção descentralizada de energia renovável. A transição para este modelo de produção de energia apresenta muitas vantagens, tais como a utilização de fontes de energia locais, o reforço da segurança do abastecimento energético a nível local, o encurtamento das distâncias de transporte e a redução das perdas na transmissão de energia [4.2].

Em 2004 a UE concluiu que o aumento da utilização de energias renováveis na Europa seria essencial tanto por razões ambientais como de competitividade, tendo a bioenergia sido destacada pelas diversas vantagens que apresenta em relação às fontes de energia convencionais, bem como em relação a outras energias renováveis, em particular os seus custos relativamente baixos, o variado leque de utilização (produção de eletricidade, calor ou combustível), a menor dependência em relação a variações climáticas de curto prazo, a promoção de estruturas económicas regionais, e o facto de constituir uma fonte de rendimento alternativa para os agricultores. Neste contexto, o Plano de Ação para a Biomassa, elaborado em 2005, realça o contributo desta fonte de energia renovável para a produção de energia primária, apresentando uma análise dos custos/benefícios da sua utilização, bem como um conjunto de medidas destinadas a aumentar o seu desenvolvimento, nomeadamente através da criação de incentivos de mercado e da eliminação das barreiras ao seu desenvolvimento [4.3]. No que diz respeito aos incentivos de mercado, nomeadamente a utilização desta fonte de energia renovável para aquecimento, eletricidade e biocombustíveis, o plano apresenta diversas medidas que incluem [4.4]:

- Promoção do melhor desempenho de caldeiras de biomassa doméstica e redução da poluição, com vista à definição de requisitos no âmbito da diretiva eco design;
- Estimular os Estados-Membros a que procedam a uma revisão do valor do IVA no aquecimento de edifícios a biomassa;
- Promoção da investigação na área das biorefinarias e biocombustíveis de 2ª geração;
- Financiamento de campanhas de sensibilização junto aos agricultores e proprietários florestais, face às propriedades das culturas energéticas e às oportunidades que estas oferecem.

No entanto, para o caso específico da biomassa sólida, os incentivos à produção de energia estão atualmente restritos ao sector da eletricidade.

Estes encontram-se classificados em quatro categorias [4.5]:

- Tarifas de aquisição (*feed-in tariffs*): consiste na introdução de um preço fixo por unidade de energia que é pago ao produtor que utiliza uma fonte de energia renovável, sendo válido para um período de vários anos. Todos os fornecedores de eletricidade suportam, através dos seus consumidores, os custos adicionais do regime através de um pagamento à empresa distribuidora, sendo este proporcional ao volume de venda. Este sistema é o mais usual na UE, nomeadamente em Portugal, Espanha e França;
- Certificados verdes (*green certificates*): neste esquema de incentivo, os consumidores, geralmente através dos seus fornecedores de eletricidade, apresentam parte do seu consumo satisfeito a partir de eletricidade de FER. Em consequência, promove-se a criação de um mercado concorrencial na aquisição de certificados, favorecendo os produtores que produzem eletricidade mais barata. Países como a Itália, Bélgica ou Polónia adotaram este tipo de incentivo;
- Concurso (*tender*): nos concursos públicos, o Estado possibilita que as empresas concorram com projetos de produção de eletricidade, estabelecendo um contrato com a empresa vencedora e garantindo um determinado preço. Este mecanismo aplica-se, no caso português, em conjunto com as tarifas de aquisição;
- Incentivos fiscais (*tax incentives*): consiste na redução da carga fiscal da eletricidade produzida a partir de FER, aumentando a sua competitividade com os restantes produtores. É usado como um instrumento adicional no Reino Unido e na República Checa.

Cumulativamente, os mecanismos de Quioto - o mercado de emissões, a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo - estimulam o desenvolvimento da biomassa. O comércio de licenças de emissão, já em funcionamento ao nível europeu e regulamentado pela Diretiva 2003/87/CE de 13 de Outubro, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de GEE na Comunidade Europeia, permitiu aos produtores de energia reduzirem as suas emissões através da co-combustão de biomassa. Por sua vez, o mecanismo de desenvolvimento limpo e a implementação conjunta abrem caminho ao desenvolvimento de projetos que reduzam as emissões de GEE, considerando um cenário de referência sem o projeto. As centrais dedicadas de biomassa podem, neste contexto, ser elegíveis para reduzir as emissões de GEE e ajudar a alcançar as metas definidas [4.1].

No que diz respeito à sustentabilidade do sistema, diversos estudos científicos e económicos permitiram concluir que um incremento da utilização da biomassa apresentará quatro benefícios fundamentais, podendo outros ser conseguidos se a UE alargar a sua liderança tecnológica nesses sectores.

É de notar que os benefícios serão obtidos, em princípio, sem aumento da poluição ou de outros prejuízos para o ambiente [4.3]:

- Diversificação do abastecimento energético da Europa, aumentando a quota das energias renováveis em 5% e diminuindo a dependência energética de 48% para 42%;
- Redução das emissões de GEE em 209 milhões de toneladas de CO₂ por ano;
- 250.000 a 300.000 empregos diretos, principalmente em zonas rurais. A gama de valores resulta da apresentação de valores provenientes de diversos estudos;
- Um potencial ponto de pressão no sentido da diminuição dos preços do petróleo, como resultado de um decréscimo na sua procura.

A biomassa passível de utilização em sistemas de aproveitamento energético, dependendo da sua origem, pode ser classificada em quatro categorias [4.6]:

- Culturas para Fins Energéticos - São culturas cuja função é o armazenamento da radiação solar para armazenamento em forma de biomassa. Exemplos de colheitas para fins energéticos são a colza, o girassol, o milho, o eucalipto, e o salgueiro.
- Resíduos florestais e agrícolas - O aproveitamento dos resíduos gerados pelas atividades de cultivo ou de atividades florestais, tal como a palha ou resíduos de madeira permitem a redução dos custos dos produtos principais, valorizando assim estes subprodutos naturais.
- Subprodutos orgânicos - O processamento da biomassa para criação de produtos origina um grupo adicional de subprodutos, nomeadamente resíduos orgânicos, efluentes de agropecuária e resíduos do processamento industrial da madeira e de fibras vegetais. Nestes casos, a reciclagem energética pode conduzir a um aumento da utilidade e assegurar que partes do processo de produção sejam permanentes e ambientalmente sustentáveis.
- Resíduos orgânicos - Estes resíduos incluem os resíduos domésticos e lamas de efluentes domésticos e industriais, encontrando-se geralmente sujeitos a legislação específica. Consequentemente, a utilização deste tipo de produtos exige o cumprimento de uma gama completa de requisitos legais, desde a sua origem até ao controlo epidémico.

Perante as metas estabelecidas pela UE até 2010 (uma quota global de 12% para as energias renováveis, uma quota de 21% no sector da eletricidade e uma quota de 5,75% para os biocombustíveis), a UE considerava as medidas previstas no Plano de Ação para a Biomassa adequadas ao cumprimento dos objetivos, prevendo um aumento da utilização de biomassa até cerca de 150 Mtep nesse ano, repartidos em 55 Mtep para produção de energia elétrica, 75 Mtep para produção de calor e 20 Mtep para transportes, valores inferiores ao potencial total. No entanto, a produção de energia primária em 2010 apresentou um valor de 113 Mtep (UE27), valor que ficou claramente abaixo das expectativas [4.7].

É ainda de salientar que para o ano de 2020 a AEBIOM (*European Biomass Association*) estabelece um cenário de consumo de energia a partir da biomassa de 220 Mtep (incluindo 25 Mtep de importação), divididos entre 120 Mtep para produção de calor, 60 Mtep para produção elétrica e 40 Mtep para transportes. Esta previsão está em linha com os objetivos traçados para a UE, nomeadamente a meta de 20% de fontes de energia renováveis no consumo energético, em 2020 [4.8]. As fontes de biomassa utilizadas como combustíveis são classificadas de acordo com o estado de agregação em que se encontram: sólido, líquido ou gasoso. O estado de agregação existente determina as possibilidades de utilização das fontes de biomassa e o tipo de infraestrutura de conversão energética necessária. É ainda de salientar que a forma e o estado de agregação dos produtos de biomassa processados são determinados pelas tecnologias e sistemas de conversão disponíveis, sendo que para cada tipo de utilização existe um método de operação otimizado para as características da biomassa, bem como níveis de desempenho específicos. Para se obter uma operação eficiente, estes níveis e características devem manter-se dentro de limites rígidos [4.4].

O recurso às fontes de biomassa permite a obtenção de três tipos fundamentais de energia: energia calorífica, energia mecânica e energia elétrica [4.4]:

- Energia Calorífica: o calor é normalmente produzido em sistemas de combustão. Em pequena escala o calor pode ser usado para aquecer uma habitação (lareiras, salamandras, entre outros) e em grande escala para produzir calor em centrais que, por meio de redes térmicas, distribuem o calor a diversas habitações para aquecimento ambiente e da água de banhos. Para sistemas de combustão estacionários, cuja única função seja a produção de calor, predominam os combustíveis sólidos no que diz respeito à biomassa. A madeira, como resíduo ou matéria-prima, pode ser usada para produção de calor, com reduzidos custos de processamento, de trituração ou secagem.
- Energia mecânica: a energia mecânica é produzida por meio de geradores de calor e energia, como as máquinas a vapor ou motores de combustão interna. Nestas, o combustível líquido ou gasoso é inflamado nos cilindros de um motor de combustão. A expansão da mistura combustível/ar, causada pela combustão, é então convertida em energia. O calor produzido por este processo é dissipado para o ambiente através de um sistema de arrefecimento. Como exemplo temos a utilização do biodiesel ou do etanol no sector dos transportes.
- Energia Elétrica: os sistemas que produzem energia mecânica, em motores de combustão ou em turbinas de combustão direta e indireta, são acoplados a geradores elétricos. Estes convertem a energia mecânica em energia elétrica. A utilização de energia mecânica para produção de energia elétrica produz aproximadamente dois terços de calor para um terço de eletricidade, o que evidencia o aumento da eficiência económica da cogeração (produção simultânea de calor e eletricidade) em aplicações estacionárias.

A transformação da biomassa em distintos tipos de energia, através de diferentes tipos de conversão, encontra-se esquematizada na Figura 4.1.

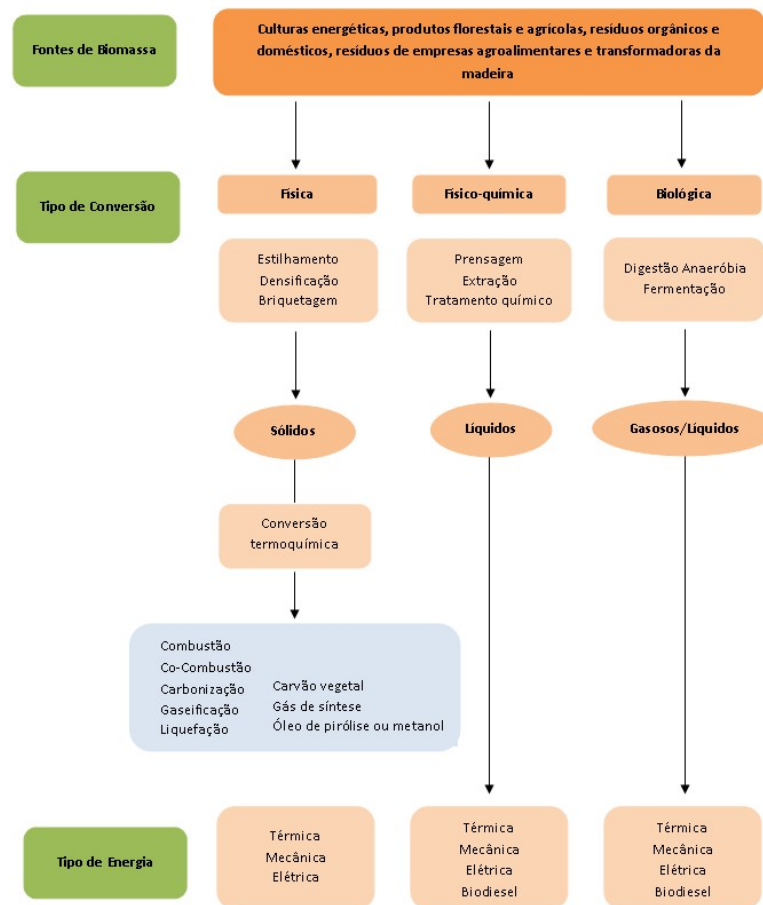


Figura 4.1. Representação esquemática dos processos de conversão da biomassa [4.9].

No caso particular da biomassa sólida, a sua fonte reside nos produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), resíduos da floresta e das indústrias conexas, e ainda a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. No entanto, grande parte da biomassa sólida tem origem em produtos derivados da madeira, nomeadamente dos que resultam das operações de retirada de lenha das florestas ou de processos da indústria madeireira. No desbaste da floresta, para além dos troncos das árvores utilizados na indústria do mobiliário e construção, são recolhidos resíduos de madeira de menor qualidade, impossibilitando a sua utilização como matéria-prima. Devido ao elevado teor de cinzas, estes resíduos são ideais para a reciclagem energética, sendo utilizados especialmente em centrais de fornecimento de calor de grandes dimensões e em centrais de cogeração. É de salientar que a partir destes resíduos podem ser recolhidos cerca de 0,4 a 0,8 toneladas de lenha seca, por hectare de floresta, sendo que esta recolha aumenta para cerca de 1,5 toneladas anuais, como resultado da manutenção das florestas de uso permanente [4.4].

Cumulativamente, outros subprodutos, nomeadamente a palha ou o feno são usados para produzir energia, a partir da biomassa. Os resíduos de pós-colheita estão usualmente disponíveis a nível local e em grandes quantidades, sendo que um hectare de palha apresenta um teor de energia de cerca de 73 GJ, o que equivale aproximadamente a 2.000 litros de gásóleo de aquecimento. Contudo, a palha e outros produtos deste tipo possuem características de combustão diferentes dos combustíveis lenhosos. Consequentemente, o ponto de fusão das cinzas e o comportamento de emissões da biomassa exigem uma abordagem técnica diferente. Até à data, tem sido apenas possível conseguir uma reciclagem energética, a grande escala, de palha em centrais de cogeração [4.4].

Enquadram-se ainda no conceito de biomassa sólida os materiais em fim de vida, como mobiliário deteriorado e madeira velha, onde a sua valorização energética contribui diretamente para gestão deste tipo de resíduos, nomeadamente através da sua eliminação. No entanto, a sua reciclagem energética encontra-se sujeita a regulamentação ou legislação que restringe este aproveitamento face ao potencial risco de contaminações com substâncias tóxicas, tais como químicos, tintas ou algo similar. Existem ainda outras fontes de resíduos de madeira como a recolhida durante as atividades de gestão do território, nomeadamente em trabalhos de manutenção de estradas e autoestradas, e dos trabalhos em parques florestais e jardins, sendo estes resíduos geralmente uma mistura de madeira, folhas e troncos. O teor energético destas misturas é relativamente baixo, devido ao grande número de impurezas, nomeadamente as significativas quantidades de solo que geralmente existem na mistura, responsáveis pela produção de um elevado teor de cinzas. As restantes impurezas existentes, tais como embalagens de plástico, sacos e outros resíduos conduzem a níveis elevados de substâncias tóxicas libertadas para a atmosfera, pelo que a sua valorização deve ser devidamente controlada [4.10].

Neste contexto, entende-se por biomassa florestal primária a fração biodegradável dos produtos gerados na floresta e que são processados para fins energéticos [4.11]. No caso das florestas Europeias, a biomassa florestal primária é formada pelos materiais vegetais procedentes das seguintes operações silvícolas: podas, seleção de desbastes, cortes fitossanitários e controlo da vegetação espontânea. Também se incluem os resíduos de aproveitamento madeireiro, quer sejam provenientes de cortes finais ou de cortes intermédios, lenhas provenientes das podas e desramações e material vegetal proveniente de culturas energéticas, lenhosas ou herbáceas, instalados em terrenos florestais. É ainda de salientar que dentro da biomassa florestal, para além da biomassa florestal primária, existe ainda a biomassa florestal secundária que se caracteriza pela matéria orgânica residual (costaneiros, serrins, licores negros, recortes e aparas) gerada nos processos da indústria de transformação da madeira, tal como serrações, fábricas de celulose, tábuas e contraplacados, carpintarias e indústrias de mobiliário. Também se inclui neste tipo de biomassa os restos de madeira procedentes de outras atividades industriais e de resíduos urbanos [4.11].

É ainda de salientar as inúmeras vantagens associadas à utilização da biomassa florestal, fatores que justificam a sua crescente expansão. No que se refere à combustão em centrais termoelétricas, esta não provoca um aumento líquido do carbono na atmosfera uma vez que o carbono emitido durante a combustão foi previamente capturado pela floresta.

Além disso, mesmo sem se considerar o sequestro de carbono, a queima de biomassa apresenta um enorme benefício no que diz respeito à redução do efeito de estufa, com valores próximos de -148%, apresentando ainda reduzidos teores de cinzas e enxofre (menos 90%), quando comparado com uma situação de referência de queima de carvão. Há, portanto, um balanço zero, ou um equilíbrio, na produção de energia a partir de biomassa florestal [4.11].

Um outro aspeto prende-se com o desenvolvimento rural, criação de emprego e economia local/regional. As zonas rurais, de um modo geral, caracterizam-se por terem uma população cada vez mais envelhecida, com um débil ou nulo crescimento populacional, associadas às fracas oportunidades de emprego que existem nestas áreas. Assim, nos meios rurais é fundamental a aposta nos recursos endógenos como forma de criação de riqueza, cumprindo-se os três grandes objetivos da sustentabilidade: coesão social, desenvolvimento económico e proteção do ambiente. O aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos enquadra-se precisamente nesse âmbito, na medida em que permite criar oportunidades económicas, oportunidades sociais e a valorização e proteção do ambiente.

As oportunidades económicas ligadas à biomassa centram-se essencialmente no facto de se valorizar um recurso endógeno com vista à criação de riqueza e de bens tão essenciais como a eletricidade e calor, e de se estimular a criação e/ou dinamização de empresas locais e regionais, nomeadamente no sector dos transportes de carga e dos serviços florestais [4.11].

Do ponto de vista social, o uso da biomassa florestal para fins energéticos consagra oportunidades de emprego, direto e indireto, sobretudo a montante da central (operações florestais e transporte), com os respetivos ganhos monetários, oferecendo oportunidades de emprego diferenciado e indiferenciado (estima-se que a sua incidência para um potencial total avaliado em cerca de 70 Mtep/ano seja de 4.500 a 8.000 postos de trabalho por cada Mtep/ano produzida [4.12]), o que permite empregar pessoas com diferentes níveis de escolaridade e introduzir oportunidades de maior estabilidade social.

É ainda de referir que os benefícios sociais, económicos e ambientais que advêm do uso da biomassa florestal para fins energéticos não devem ser quantificados apenas ao nível dos ganhos em sentido estrito (criação de emprego, ganhos monetários, riqueza, entre outros), mas também ao nível dos custos e danos evitados, designadamente pela redução do risco de incêndio [4.11].

Relativamente a este último aspeto, a biomassa resultante da atividade florestal (operações de gestão dos combustíveis, operações de condução e operações de exploração dos povoamentos), e a fitomassa de sub-coberto, que se encontra no terreno sem qualquer tipo de tratamento pode originar um conjunto de inconvenientes, dos quais se destacam: a proliferação de pragas e doenças, a obstrução das acessibilidades no interior das florestas, e o aumento do risco de incêndio, o que acarreta uma relevância acrescida no caso europeu, uma vez que os incêndios florestais se apresentam como a principal causa de destruição de vastas áreas florestais.

A remoção da biomassa florestal, para além de gerar uma maior valorização económica da propriedade florestal, caso sejam transferidos para a fileira da produção energética, contribui para a mitigação dos problemas especificados. A remoção da biomassa pode conduzir à efetiva diminuição da área ardida pela diminuição do risco de incêndio. No que diz respeito aos danos evitados, é de referir o valor da madeira que arde, o valor paisagístico, e os níveis acrescidos de erosão e degradação dos sistemas pedológicos e hidrológicos a que ficam sujeitas as áreas ardidas. Quanto aos gastos, a prevenção de incêndios e a subsequente diminuição da área ardida permitem que sejam efetuadas grandes poupanças no combate aos incêndios e nas ações de rearborização de áreas ardidas [4.13].

4.3. A exploração da biomassa florestal

Um sistema de exploração de biomassa florestal pode ser entendido como um conjunto de operações florestais desenvolvidas com o objetivo de abastecer uma unidade transformadora de energia. As tecnologias e técnicas usadas para o aproveitamento da biomassa são diversas e encontram-se em permanente evolução. A escolha das técnicas mais adequadas está condicionada por diversos fatores como: a densidade e dispersão da biomassa, o estado de conservação da rede viária, o tipo de povoamento, as características físicas do terreno e dos centros de consumo, os impactes ambientais associados, entre outros. Todos estes fatores são ainda ponderados numa ótica de eficiência económica, ou seja, da obtenção de um maior rendimento financeiro [4.14].

Uma exploração florestal inclui quatro operações fundamentais [4.15]:

- Abate - Consiste no corte das árvores, o mais perto do solo possível, para que as operações posteriores sejam facilitadas. Nesta operação utiliza-se uma motosserra, que por ser um equipamento fácil de transportar, pode ser utilizado em qualquer tipo de terreno;
- Processamento - A operação inclui o corte dos ramos (eliminação dos ramos e da bicada após o abate da árvore), toragem (seccionamento transversal do tronco, através de cortes perpendiculares ao seu eixo) e descasque das árvores abatidas (remoção da casca da árvore), exibindo como objetivo a comercialização da madeira.

Incluem-se ainda nesta operação os processos de trituração e enfardamento. O primeiro é caracterizado pela redução da biomassa florestal a partículas de pequenas dimensões, sendo normalmente designadas por estilha, permitindo a sua transformação num biocombustível homogéneo. O enfardamento implica a compactação da biomassa e o seu corte em fardos, permitindo não só o incremento da densidade da biomassa florestal, mas também a otimização das etapas de transporte e armazenamento;

- **Rechega e Extração** - O processo de extração implica a movimentação do material lenhoso para junto de uma via principal, ficando o mesmo empilhado em áreas específicas, os carregadouros. Esta pode incluir uma fase inicial de rechega, na qual o material que se encontra disperso pelo local de abate é deslocado e concentrado junto aos trilhos de extração, e posteriormente transferido para o carregadouro. O conjunto destas duas operações é tipicamente denominado por transporte primário;
- **Carregamento e Transporte** - Nesta fase, o material acumulado nos carregadouros é colocado em veículos de transporte, sendo conduzido ao seu destino final. O conjunto destas duas operações é normalmente denominado como transporte secundário.

Neste contexto, é ainda de salientar que o teor de humidade dos combustíveis de biomassa apresenta uma gama de variação elevada, dependendo do tipo de biomassa, do tempo de colheita, da forma como é efetuado o pré-tratamento, bem como do método e tempo de armazenamento. Face ao teor de água presente neste tipo de biomassa, a secagem (natural ou forçada) torna-se uma operação de pré-tratamento imprescindível para a melhoria da qualidade da biomassa florestal como biocombustível sólido, apresentando-se como o principal parâmetro de avaliação da qualidade da biomassa como biocombustível.

São diversas as razões que fundamentam a realização do processo de secagem da biomassa, nomeadamente [4.16]:

- O poder calorífico (disponibilidade energética) de um biocombustível depende essencialmente do teor de humidade, portanto, uma diminuição do conteúdo em água levará a um aumento da eficiência da conversão termoquímica;
- O teor de humidade deve ser reduzido e o mais constante possível, o que permite uma otimização do processo de combustão (reduzidas emissões de poluentes, minimização dos problemas técnicos e menor consumo de energia);
- O armazenamento de combustíveis de biomassa florestal com elevado teor de humidade poderá fomentar a proliferação de fungos, face à maior taxa de degradação biológica a que o biocombustível fica sujeito;
- A secagem da biomassa promove uma diminuição acentuada dos custos totais relativos aos processos de pré-tratamento.

Assim, as operações que constituem o pré-tratamento da biomassa visam obter um biocombustível sólido homogêneo adequado ao sistema de produção de energia, apresentando como principais benefícios [4.16]:

- Reduzir os custos de investimento, de operação e de manutenção, bem como as despesas com pessoal;
- Reduzir os custos associados ao transporte, armazenamento e processamento, através do incremento da densidade da biomassa florestal;
- Reduzir as impurezas e partículas (por exemplo, pedras, areia, vidros, plásticos, entre outros) contidas no biocombustível, aumentando a sua qualidade;
- Melhorar a eficiência de conversão e minimizar os problemas técnicos que ocorrem em centrais a biomassa;
- Reduzir os impactes ambientais resultantes do aproveitamento energético.

Na execução das operações que constituem um sistema de exploração florestal são utilizadas diversas tecnologias mecanizadas dependendo da idade das árvores (2, 5 ou 10 anos) ou do tamanho dos resíduos. Seguidamente são abordados os aspetos gerais das tecnologias e técnicas frequentemente empregues no aproveitamento da biomassa nas florestas [4.11]:

- Recolha e transporte de biomassa em natureza: o método consiste em recolher e efetuar o transporte da biomassa sem que esta passe por nenhum processo de compactação, nem de destroçamento. Atualmente, este método é cada vez menos utilizado, uma vez que o transporte em termos de peso de carga leva muito menos que outros processos, o que o torna mais caro. Assim, o transporte de biomassa em natureza apenas é aconselhável em situações de distâncias muito reduzidas (10 a 15 km) entre a floresta e os centros de consumo.
- Processamento em estilha no local: a operação consiste em transformar a biomassa em estilha no espaço florestal utilizando destroçadores móveis de pequenas dimensões. Posteriormente, a biomassa é transportada para as unidades finais ou intermédias em forma de estilha. Estes procedimentos permitem a secagem natural, melhorando as propriedades da biomassa florestal, o que apresenta vantagens em relação ao transporte em natureza. A principal condicionante deste tipo de operação é que só deve ser realizada em locais com bons acessos viários. Além disso, o sistema necessita diversos equipamentos, o que se traduz em maiores custos no investimento inicial.
- Parques de pré-tratamento: nestes parques a biomassa chega em natureza e sofre uma transformação de acordo com a necessidade das características do material. O dimensionamento dos parques de pré-tratamento processa-se de forma a garantir a quantidade de recursos necessários à cobertura da sua capacidade de tratamento, dispondo em simultâneo de um mercado potencial nas proximidades, que permita assegurar a colocação do produto. Para além do tratamento da biomassa, o parque tem por finalidade regular as quantidades fornecidas, ajustando a oferta e a procura.

De uma forma generalizada, as principais operações que se podem realizar nos parques de pré-tratamento são: armazenamento da matéria-prima, trituração e secagem natural ou forçada. A instalação destes parques tem como grande vantagem a flexibilidade em relação ao fluxo e características da biomassa que vão de encontro às necessidades de otimização dos processos de logística. Como desvantagens deste sistema destacam-se os custos associados ao eventual aluguer ou compra de terrenos para a sua instalação, a necessidade de bons acessos e de condições físicas à instalação do parque, e a aquisição de diversos equipamentos.

- **Enfardamento da biomassa:** este método tem como princípio a compactação dos materiais enfardados. As enfardadeiras são sistemas de recolha de restos florestais que têm por princípio a compactação dos materiais em fardo, podendo desta forma otimizar o armazenamento e o transporte. A logística do transporte dos fardos é um sistema semelhante ao utilizado no transporte da madeira, recorrendo-se ao mesmo tipo de camiões e à mesma forma de carregamento. O enfardamento da biomassa tem como principais vantagens: a otimização do espaço físico para armazenamento e transporte, sem perda da consistência dos fardos, e a segurança do armazenamento, face à redução do risco de combustão. Por outro lado, as enfardadeiras não podem operar em locais declivosos e requerem um elevado investimento inicial.
- **Sistema *feller-buncher*:** neste sistema pretende-se executar o mínimo de operações possíveis na exploração, de modo a rentabilizar todo o processo de colheita e transporte da biomassa à fábrica. O método *full-tree* (fuste inteiro) consiste basicamente no corte e num primeiro ajuntamento de árvores inteiras, através de cortador empilhador florestal *whelled feller-buncher*, seguindo-se a rechega com um ajuntador *skidder*, o estilhaçamento das árvores com um *estilhador* de facas e o transporte à fábrica com camiões contentores. Face ao seu alto rendimento, este sistema é utilizado para o aproveitamento da biomassa nas culturas energéticas lenhosas. O sistema apresenta como vantagens o aproveitamento de áreas que necessitam de cortes antecipados por as árvores se apresentarem mortas ou danificadas, devido a fatores bióticos ou abióticos (por exemplo, os incêndios florestais); a rentabilização de produtos de baixo valor; a execução de uma operação indispensável ao início do processo de reflorestação e/ou reorganização da floresta, com obtenção de receitas e com custos reduzidos; proceder aos restantes processos necessários à reconversão florestal; incrementar a rentabilidade na produção de energia a partir de biomassa em comparação com os processos tradicionais. No entanto, a aplicação do sistema não é aconselhável em regiões com declives acentuados ou que apresentem limitações em termos de estabilidade do solo, necessitando de possuir diversas máquinas a trabalhar e plena coordenação entre as várias operações.

- Aproveitamento da árvore inteira: neste processo, ao contrário do que se verifica nos casos anteriores, a biomassa utilizada corresponde ao fuste inteiro. As árvores processadas neste sistema apresentam um reduzido valor económico, sendo fruto de desbastes, povoamentos de baixa rentabilidade, culturas energéticas, árvores de áreas de cortes antecipados ou danificados por incêndios, vendavais ou pragas e doenças. As árvores são aproveitadas para a obtenção de estilha.

4.4. A situação em Portugal

4.4.1. A floresta Portuguesa

De acordo com os resultados preliminares do 6º Inventário Florestal Nacional (IFN6), em 2010 o uso florestal do solo representa o uso dominante em Portugal continental, ocupando 35% do território. Os matos e pastagens constituem a classe seguinte de uso do solo com maior área, correspondendo os matos a 52 % desta classe, ou seja, a cerca de 1.500.000 ha. As áreas agrícolas correspondem a 25% do território continental. As águas interiores apresentam um significativo aumento ao longo dos últimos anos, em resultado do aumento de albufeiras de barragens, sendo que o empreendimento de Alqueva é responsável por cerca de 25.000 ha deste aumento [4.17]. As espécies florestais de maior expressão são o eucalipto, com 812 mil hectares, o sobreiro, com 737 mil hectares e o pinheiro-bravo, com 714 mil hectares, que em conjunto representam 72% da área total de floresta. Outras espécies com expressão significativa são a azinheira, com 331 mil hectares, e o pinheiro-manso, com 176 mil hectares [4.17].

Considerando a evolução dos sistemas de produção lenhosa no período compreendido entre 1995 e 2010, constata-se uma relativa estabilidade da sua expressão global, com a diminuição da área dos povoamentos de pinheiro-bravo em 93,7 mil hectares (menos 13%), mas o aumento da área dos povoamentos de eucalipto em 102 mil hectares (mais 16%) [4.17]. Quanto à dinâmica dos sistemas de uso múltiplo, geralmente associados às regiões de maior influência mediterrânica, verificou-se um expressivo aumento da área de povoamentos de pinheiro-manso em 57,7 mil hectares (mais 52%), um aumento moderado da área de povoamentos de sobreiro em 30,8 mil hectares (mais 4%) e uma diminuição ligeira dos povoamentos de azinheira em 11 mil hectares (menos 3%) [4.17].

4.4.2. Valorização energética da biomassa florestal

No âmbito da Diretiva 2009/28/CE, de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis (Diretiva FER), Portugal elaborou o seu Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) para o horizonte de 2020.

Este Plano de Ação fixa os objetivos nacionais relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis utilizada nos sectores dos transportes, da eletricidade e do aquecimento e arrefecimento em 2020, bem como as respetivas trajetórias de penetração de acordo com o ritmo da implementação das medidas e ações previstas em cada um desses sectores [4.18]. Portugal dispõe hoje de um regime de acesso à rede elétrica que dá prioridade às fontes de energia renováveis, quer ao nível de planeamento e desenvolvimento da rede, quer ao nível da gestão corrente, através da prioridade do despacho. Para além disso foram criados ao longo dos últimos anos um conjunto de apoios de natureza financeira e fiscal ao investimento nas energias renováveis, muito impulsionados com a criação de tarifas diferenciadas para a energia elétrica produzida em centrais renováveis, *feed-in tariff*, em função do grau de maturidade das várias tecnologias disponíveis no mercado nacional [4.18]. A ENE 2020 incorpora os objetivos da política energética estabelecida pelo governo português projetando-os para o horizonte de 2020 e tendo como ambição manter Portugal na liderança da revolução energética, nomeadamente no que respeita à utilização de energias renováveis, as quais, nesta estratégia, contribuem amplamente para a concretização da grande maioria desses mesmos objetivos. Um dos cinco eixos de atuação da Estratégia Nacional para a Energia assenta na forte promoção do desenvolvimento das energias renováveis, nomeadamente através da fixação de novos objetivos de produção para as FER, da agilização dos procedimentos administrativos, da introdução dos biocombustíveis e da valorização da biomassa florestal e do Programa “Água Quente Solar” [4.19].

A atual base da produção renovável nacional está fundamentalmente assente na combinação da energia hídrica e da energia eólica. Porém, a visão nacional para este sector passa pela diversificação da carteira de energias renováveis, apostando em tecnologias já maduras e que possam dar um contributo mais imediato para o sistema electroprodutor, bem como na investigação e desenvolvimento de tecnologias e de projetos em fase de teste/demonstração que apresentem potencial de criação de valor na economia nacional [4.20]. Nesta visão enquadram-se fontes renováveis como o biogás, os biocombustíveis, a geometria, a energia das ondas e, em particular, a biomassa florestal, estando previstos instrumentos próprios para a sua promoção e desenvolvimento tecnológico [4.21]. Entre estes destaca-se em especial o Decreto-Lei n.º 5/2011, de 10 de Janeiro, que estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa, garantindo o abastecimento das centrais dedicadas a biomassa florestal e fixando o incentivo à venda da eletricidade associado ao cumprimento dessas medidas [4.20]. O aproveitamento de biomassa florestal para energia elétrica, ou simultaneamente para produção de energia elétrica e calor (cogeração), enquadra-se na organização do Sistema Elétrico Nacional, o qual se baseia na existência de dois sistemas complementares: o Sistema Elétrico Público e o Sistema Elétrico Independente - Produção em Regime Especial, de sistemas de menor dimensão e instalações de cogeração, ambas não integradas totalmente nas grandes fileiras energéticas, mas relacionando-se com elas.

Neste contexto, no capítulo da valorização da biomassa, a ENE 2020 aponta para a necessidade de aumentar a potência instalada, bem como a adoção de medidas de valorização da biomassa florestal, em regime a compatibilizar com as indústrias da madeira e da pasta de papel e medidas de avaliação de critérios de remuneração da eletricidade produzida, tendo em conta as especificidades tecnológicas e critérios ambientais [4.21].

Um importante passo para a expansão das centrais a biomassa florestal foi dado em Fevereiro de 2006, com o lançamento de um concurso para a atribuição de quinze lotes para centrais termoelétricas a biomassa florestal, totalizando uma capacidade instalada de 100 MW, a concretizar até 2010. O concurso teve como ponto de partida os seguintes pressupostos: quantidade de biomassa disponível, redução do risco estrutural de incêndio, criação de emprego local na recolha de biomassa florestal, criação de dinâmicas de inovação na gestão e exploração florestal, e distribuição dos pontos de ligação disponíveis ao nível das subestações onde é possível haver uma injeção de potência na rede. É de salientar que o concurso apresentou duas tipologias de Central: de 2 a 5 MW, orientada para as dinâmicas locais, e de 10 a 11 MW, orientada para grupos industriais, sendo que dos quinze lotes duas centrais não serão concretizadas, duas encontram-se já a laborar, com uma capacidade de 3,3 MW e 1,92 MW, encontrando-se os restantes lotes em processo de licenciamento [4.21].

Neste âmbito é ainda de salientar que a promoção da utilização da biomassa inclui a utilização da biomassa florestal em centrais de cogeração de elevada eficiência energética, face às significativas vantagens que o processo acarreta para a eficiência global do sistema e do aproveitamento da energia contida nesta fonte de energia renovável. Os sistemas de cogeração promovem o aproveitamento local do calor residual originado no decorrer dos processos industriais para produção de energia elétrica, permitindo o seu consumo na própria central ou a sua injeção na rede elétrica de serviço público. Atualmente, verifica-se a existência de oito centrais de cogeração instaladas nas indústrias do sector florestal que procedem ao aproveitamento da biomassa florestal para a produção de calor, totalizando uma potência nominal de 154 MW [4.21].

A biomassa apresenta uma elevada importância para o país pela sua transversalidade à gestão florestal. Conjuntamente com as fileiras industriais, a valorização energética da biomassa promoverá uma gestão profissional das florestas nacionais, contribuindo para a diminuição da probabilidade de ocorrência de incêndios florestais através da limpeza das florestas e, conseqüentemente, minimizar as emissões de GEE atribuídas a este sector (atualmente apresentam um elevado peso no cômputo geral das emissões nacionais), bem como para a sua sustentabilidade. Neste sentido, a Estratégia Nacional para as Florestas aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, de 15 de Setembro, reconheceu a importância que o sector representa para o desenvolvimento do país e destacou o valor dos recursos florestais para a sociedade nas suas diversas funções e valências económicas, sociais e ambientais [4.21].

A integração da valorização da biomassa, no quadro das políticas florestais, encontra-se contextualizada no âmbito do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, e através da concretização territorial dos instrumentos de planeamento florestal, designadamente dos Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) e dos Planos de Gestão Florestal (PGF). A utilização do território no âmbito do planeamento florestal regional deve fundamentar as práticas de gestão a aplicar aos espaços florestais, permitindo a aplicação regional das diretrizes estratégicas nacionais e a monitorização da gestão florestal sustentável, que devem ser perfeitamente articuladas com outras políticas ambientais, nomeadamente a das energias renováveis e, mais concretamente, a promoção da biomassa [4.22]. A produção de energia a partir de fontes renováveis assume grande importância geoestratégica e está em consonância com o objetivo da política energética comunitária de redução da dependência do petróleo. O aumento no recurso a fontes de energia renováveis irá igualmente contribuir para atingir os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto de redução das emissões de GEE, cujas medidas são concretizadas em Portugal pelo Plano Nacional para as Alterações Climáticas. O aproveitamento da biomassa gerada nas matas em resultado da execução das ações de instalação, gestão e extração de produtos florestais, constitui um importante contributo para o incremento da taxa de utilização de Fontes de Energia Renováveis em Portugal, facto consignado no PNAC, que considera a biomassa e outros subprodutos e produtos florestais com um papel potencial para o aproveitamento energético. Apesar das indústrias florestais estarem a utilizar cada vez mais biomassa para a produção de energia, a maior parte desta biomassa provém de resíduos da atividade madeireira ou industrial e não da recolha da biomassa combustível da floresta. No entanto, é importante assinalar que a indústria respondeu positivamente aos incentivos oferecidos no passado. Através do Programa Prime e da medida MAPE, as unidades industriais concretizaram projetos de aproveitamento energético utilizando biomassa florestal em instalações de cogeração (caldeiras de biomassa) [4.22].

Cumulativamente, a ENF considera o aproveitamento da biomassa florestal para a produção de energia uma atividade promissora para promover a redução do material combustível, principalmente com os atuais custos do petróleo, propondo assim para além do apoio à utilização da biomassa florestal em centrais de energia, a realização de uma discriminação positiva a esta atividade fora da área de influência das centrais, desde que o material consumido seja biomassa florestal proveniente da gestão de combustíveis, no âmbito das medidas de silvicultura preventiva e da exploração florestal (instalação, condução e extração). É ainda de salientar o facto de os grandes contributos para a valorização da biomassa florestal poderem ser dados nas regiões onde o Conselho Nacional de Reflorestação intervém, nomeadamente através da definição de uma adequada rede de infraestruturas ao nível da paisagem, passando pela implementação de faixas de redução de combustível e, posteriormente, pela sua manutenção [4.21].

Ainda neste contexto é de realçar que a promoção da biomassa florestal para produção de energia elétrica foi um dos objetivos identificado no quadro das medidas do Programa Nacional para a Redução da dependência do Petróleo, propondo-se então a definição de um tarifário adequado ao enquadramento remuneratório das FER. O Decreto-Lei n.º 33-A/2005, de 16 de Fevereiro, veio estabelecer uma tarifa favorável para a energia produzida em centrais de biomassa florestal (cerca de 109 €/MWh). Esta tarifa é bastante superior à atribuída para a energia produzida em centrais hídricas, eólicas, de resíduos sólidos urbanos (RSU) ou biogás de aterro, sendo apenas inferior à tarifa da eletricidade produzida em centrais fotovoltaicas. Este diploma refere ainda que as remunerações aplicáveis à eletricidade produzida a partir de biomassa florestal serão garantidas durante os primeiros 15 anos a contar desde o início do fornecimento de eletricidade à rede [4.22].

Existem ainda muitas outras possibilidades para o aproveitamento da biomassa florestal que requerem investigação adequada. Entre estas possibilidades estão sistemas de produção de energia localizada (por exemplo, o aquecimento de uma escola). Dada a disponibilidade de matéria-prima em Portugal, as externalidades negativas de deixar esta matéria-prima acumular-se na floresta (sendo exemplo os incêndios florestais), e as várias políticas ambientais europeias ou globais a que Portugal aderiu, a ENF recomenda como uma prioridade da estratégia o financiamento à investigação de processos para a adoção de tecnologias utilizadoras da biomassa florestal para a produção localizada de energia, propondo igualmente que seja financiada a investigação e experimentação à escala real mediante concurso público. No entanto, o carácter inovador de que se reveste o aproveitamento de biomassa para energia, confere a esta atividade um risco potencial, estando prevista, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006 de 15 de Setembro, a criação de um Observatório que acompanhe e monitorize o aproveitamento de biomassa para energia [4.22].

4.5. Tendências futuras para a utilização de biomassa

Com a nova Estratégia Nacional para a Energia, apresentada no início de 2010, o eixo das Energias Renováveis refere o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020, 60% da eletricidade produzida tenha origem em fontes renováveis. Este plano reitera o valor anteriormente apontado para a Biomassa, dando prioridade à instalação efetiva da potência já atribuída (250 MW de potência instalada), integrando mecanismos de flexibilidade na concretização dos projetos, assim como aprovar medidas de promoção da produção da biomassa florestal, assegurando a satisfação das necessidades de consumo já instadas e a instalar. Será necessário um verdadeiro impulso para a concretização desta meta, que aparentemente num horizonte de 10 anos parece ser realizável, não deixando contudo de ter fracassado a anterior meta de forma significativa [4.23].

Do lado da biomassa para aquecimento, nada concreto é referido nesta nova estratégia, mas uma das medidas críticas para incentivar esta fonte renovável será a redução da taxa do IVA incidente sobre os combustíveis derivados da madeira e a penalização fiscal do teor de CO₂ dos combustíveis fósseis, contribuindo assim de forma crucial para a limpeza das florestas e redução dos riscos que lhe estão associados. É na área da produção de calor para aquecimento através de sistemas limpos, baratos e eficientes que países menos desenvolvidos nesta área, como Portugal, devem apostar. A produção de *pellets* encontra-se hoje a dar os primeiros passos, fazendo parte do caminho a percorrer para a instalação de caldeiras modernas que permitam o aquecimento de edifícios públicos e residenciais. Estes sistemas podem funcionar em regime de cogeração, produzindo eletricidade e calor. No entanto, será a trigeriação, e não a cogeração, a tecnologia que mais se adequará ao clima português, aproveitando o calor produzido no verão, período em que as necessidades de aquecimento são quase nulas para produzir frio [4.24].

A biomassa florestal será, no futuro, um recurso de múltipla aplicabilidade, podendo ser utilizada para aquecimento, arrefecimento, eletricidade e transportes, respondendo a grande parte das futuras necessidades energéticas das sociedades. No entanto, o desenvolvimento da bioenergia passará pela utilização crescente das culturas energéticas e com a consequente diminuição, de forma progressiva, do contributo dos resíduos florestais. As culturas florestais energéticas, como o salgueiro, choupo ou eucalipto, são sistemas intensivos de produção de biomassa e caracterizados por ciclos de corte curtos, entre um a seis anos. Esses sistemas permitem, para além de uma maior mecanização das operações, uma gestão orientada para uma sustentabilidade mais facilitada e uma redução da pressão na exploração da biomassa florestal [4.25].

4.6. Conclusões

Neste capítulo foi realizada uma análise ao estado-da-arte da utilização de biomassa enquanto recurso energético, bem como sobre a exploração dos recursos florestais em Portugal. Esta análise é importante pois permite desde já perceber a disponibilidade de recursos para este fim, o potencial de crescimento do sector e a importância que poderá ter no futuro, se forem cumpridas as metas e os objetivos apresentados em todos os programas de reestruturação e incentivo lançados tanto ao nível da EU como do próprio governo Português. Desta forma, fez-se também uma breve análise das técnicas de exploração florestal mais comuns, assim como uma abordagem à questão das culturas energéticas, já que se perspetiva a necessidade de uma ponderação cuidada sobre este assunto de forma a evitar potenciais conflitos de interesses entre, por um lado, a utilização de terras para a produção de culturas energéticas, e por outro lado, a escassez destas para produção de alimentos, já que os rendimentos obtidos no primeiro caso podem superar os obtidos no segundo, levando ao abandono desta prática em detrimento da primeira utilização.

No entanto, como se observou, fica cada vez fundamentada a utilização da biomassa como fonte de energia renovável, de forma sustentável, desde que cumpridos uma série de pressupostos, possibilitando a contribuição da biomassa para a independência energética do país face ao exterior, pela necessidade permanente de importação de produtos energéticos, como também pelo próprio desenvolvimento de uma indústria assente nos recursos florestais, seja pela exploração destes, como pelo fornecimento de matérias-primas para o processamento de combustíveis sólidos densificados (*pellets* e briquetes), ou processados termicamente (biomassa torrificada ou carbonizada).

Capítulo 5

Estudo de casos

Neste capítulo apresentam-se os casos de estudo que foram desenvolvidos. No primeiro caso de estudo faz-se uma caracterização do mercado emergente dos *pellets* de biomassa em Portugal. No segundo caso de estudo faz-se a caracterização de *pellets* produzidos a partir de um resíduo de biomassa industrial, mais concretamente da indústria da cortiça. No terceiro caso de estudo faz-se a análise da matriz energética de um sector industrial com grande importância para a economia nacional, mais concretamente a tinturaria têxtil, e apresentam-se alternativas para a substituição dos combustíveis tradicionais de origem fóssil por biomassa para a produção de energia térmica. No quarto caso de estudo apresenta-se um modelo teórico de co-combustão de biomassa com carvão, na central termoelétrica de Sines, onde se demonstram as vantagens ambientais da substituição de carvão por biomassa. No quinto caso de estudo descreve-se a tecnologia de torrefação de biomassa e apresentam-se os primeiros ensaios de densificação de biomassa torreficada realizados em Portugal.

5.1. Os pellets de biomassa como recurso energético em Portugal

5.1.1. Enquadramento

A utilização de *pellets* de biomassa como combustível é um instrumento efetivo na luta contra as alterações climáticas. Representa uma globalização positiva na criação local de riqueza e emprego [5.1.1]. A biomassa como fonte de energia primária responde positivamente às necessidades energéticas, de forma especialmente relevante em tempos de profunda crise económica, que forçaram a necessidade de repensar estratégias para o futuro [5.1.2].

O obstáculo mais importante que surge na utilização destes recursos é o elevado custo de produção, fornecimento e homogeneização, de forma a serem evitados problemas na utilização das distintas tecnologias disponíveis para a sua conversão [5.1.3]. A *pelletização* surge como uma das soluções para ultrapassar estes obstáculos, sendo por isso que a indústria dos *pellets* de biomassa tem experimentado um considerável crescimento económico, um pouco por todo o mundo. Para além disso, o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos para a combustão de *pellets* de biomassa tem crescido e têm-se tornado totalmente automáticos, requerendo cada vez menos e muito simples manutenção, tornando-se mais atrativos para o utilizador final [5.1.4].

Inegavelmente, trata-se de uma grande oportunidade para os países do Sul da Europa, como Portugal, que a devem aproveitar. A Figura 5.1.1 apresenta o contexto internacional da produção de *pellets* em 2010 e a sua previsão para 2015 e 2020 [5.1.5].

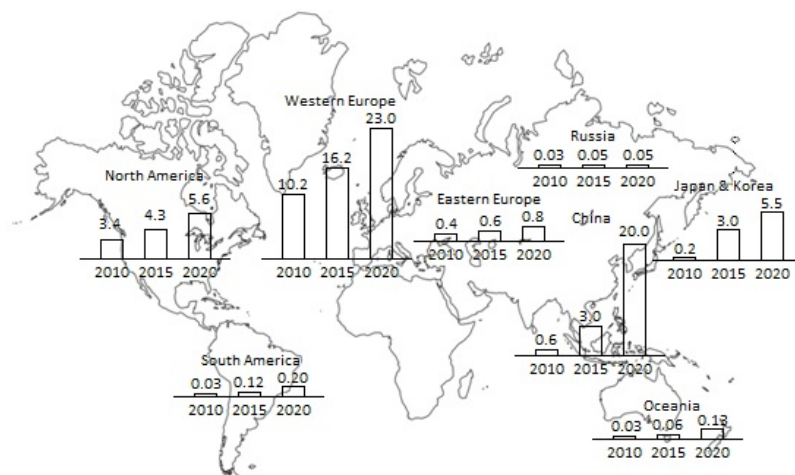


Figura 5.1.1. Produção de *pellets* de biomassa em 2010 e a sua previsão para 2015 e 2020 (adaptado de [5.1.5]).

De acordo com esta informação, a Europa coloca-se na dianteira mundial no que respeita à produção de *pellets* de biomassa e também se antevê que aumente a sua capacidade de produção [5.1.6].

O mercado dos *pellets* de biomassa teve um enorme crescimento nos últimos anos. Em 2010, a produção mundial total era de 14,3 milhões de toneladas, para um consumo de 13,5 milhões de toneladas, representando um crescimento de mais de 110%, comparado com 2006 [5.1.7].

Em 2009, cerca de 670 unidades de produção de *pellets* de biomassa estavam ativas na Europa, sendo 30% delas com uma produção anual superior a 10.000 toneladas por ano. No entanto, o rápido crescimento na procura encorajou o crescimento da produção em algumas centenas de milhares de toneladas [5.1.8]. Globalmente, a capacidade de produção das unidades de produção de *pellets* de biomassa aumentou, assim como a dimensão média das unidades industriais. Entre 2009 e 2011, a capacidade de produção global da indústria de produção de *pellets* aumentou 22%, para 28 milhões de toneladas [5.1.9].

A UE ainda é o principal mercado para os *pellets* de biomassa e continuará assim por muitos anos. Entre 2008 e 2010, a produção de *pellets* de biomassa na Europa cresceu 20,5% para 9,2 milhões de toneladas em 2010, representando cerca de 60% da produção mundial. No mesmo período, o consumo de *pellets* de biomassa na Europa aumentou para 43,5%, atingindo 11,4 milhões de toneladas em 2010, com 85% da procura global [5.1.10]. A Figura 5.1.2 apresenta o cenário do consumo dos *pellets* de biomassa em 2010, com previsões para 2015 e 2020.

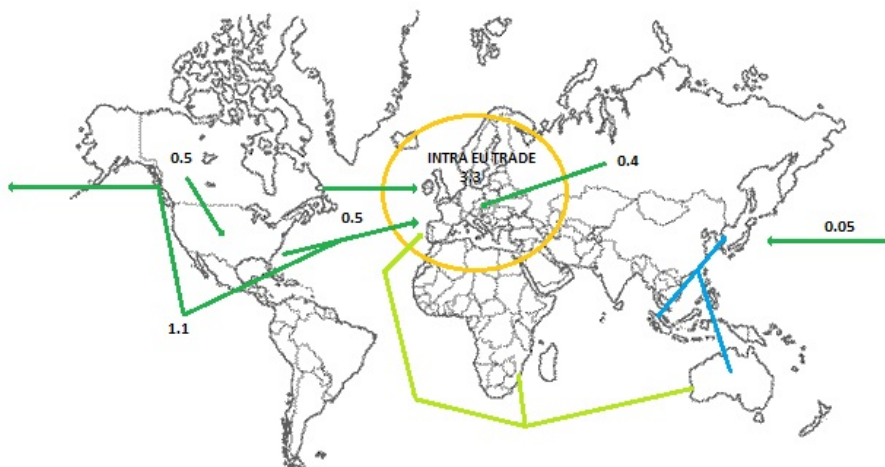


Figura 5.1.2. Consumo de *pellets* de biomassa em 2010 com previsões para 2015 e 2020 (adaptado de [5.1.5]).

Na Europa o sector continua a fazer progressos, pois a biomassa para produção de energia elétrica e térmica já assume um papel determinante em países como a Alemanha, Dinamarca e Áustria. A utilização de biomassa para produção de energia térmica em Portugal é comparável a outros países mediterrânicos, onde o mercado dos *pellets* de biomassa é maioritariamente doméstico [5.1.11]. Ao contrário das pequenas unidades de produção, que se dedicam exclusivamente à produção de *pellets* de biomassa para o fornecimento doméstico, as grandes unidades produzem essencialmente *pellets* de biomassa de tipo industrial, de acordo com as especificações técnicas apresentadas na norma europeia EN 14961 e nas suas atualizações [5.1.12].

Normalmente, as centrais termoelétricas exigem um *pellet* de biomassa com um diâmetro de 4-10 mm, um poder calorífico mínimo de 17 GJ/t, um teor máximo de cinzas entre 1 e 3%, uma densidade a granel de 600 kg/m³ e menos de 10% de teor de humidade [5.1.13].

5.1.2. O mercado Português dos pellets de biomassa

O mercado dos *pellets* de biomassa em Portugal está num estado inicial de desenvolvimento e ainda não está bem estruturado, com falta de consumo interno e com a esmagadora maioria da sua produção a ser exportada para os países do Norte da Europa, como a Inglaterra, a Dinamarca, a Bélgica e a Suécia [5.1.14].

O mercado Português de *pellets* de biomassa consiste em pequenos consumidores diretos com picos de consumo pequenos e médios no período de Inverno, de Outubro a Abril [5.1.15]. Os principais sectores consumidores de *pellets* de biomassa em Portugal são o sector doméstico, os serviços públicos e pequenas indústrias com necessidades específicas de energia térmica. Estão aqui incluídos os sistemas de aquecimento em grandes edifícios de serviços, como escolas, hospitais, lares de 3^a idade, piscinas, e outras estruturas similares [5.1.16]. Neste sector, os maiores consumidores são essencialmente os lares de 3^a idade, escolas, instalações desportivas e alguma indústria para produção de vapor e água quente. As Figuras 5.1.3, 5.1.4 e 5.1.5 apresentam alguns exemplos de instalações de aquecimento neste tipo de consumidores, todos localizados no Norte de Portugal, onde as condições climatéricas são mais desfavoráveis.



Figura 5.1.3. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado num lar de 3^a idade no Norte de Portugal. O conjunto é formado por duas caldeiras de 150 kW e um depósito de inércia de 4.000 litros de água e um depósito de 300 litros de combustível para cada caldeira, que trabalham alternadamente.



Figura 5.1.4. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado numa piscina municipal no Norte de Portugal.



Figura 5.1.5. Exemplo de um sistema de aquecimento instalado numa unidade de produção de *pellets* de Madeira e que alimenta uma estufa onde se efetua o choque térmico, como medida preventiva para a dispersão do nematode do Pinheiro.

Mais recentemente surgiu um novo grupo de consumidores que, devido às suas grandes necessidades de energia térmica, começaram a procurar novas formas de energia mais baratas. Este grupo inclui as unidades de tinturaria têxtil, tão importantes para a economia Portuguesa [5.1.17-5.1.18]. Apresentam-se alguns exemplos de sistemas de biomassa adaptados a caldeiras de vapor industrial localizadas em empresas de tinturaria têxtil no Norte de Portugal, nas Figuras 5.1.6, 5.1.7 e 5.1.8.



Figura 5.1.6. Sistema a *pellets* de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - *pellets* de biomassa no depósito.



Figura 5.1.7. Sistema a *pellets* de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - sistema de fornecimento dos *pellets* de biomassa.



Figura 5.1.8. Sistema a *pellets* de biomassa numa empresa de tinturaria no Norte de Portugal - caldeira de vapor.

Em Portugal, não há centrais termoelétricas que utilizem *pellets* de biomassa como combustível e a designação “*district heating*” não está implementada, devido principalmente ao clima temperado que caracteriza o país, mas também porque a legislação que obriga à repartição de recursos energéticos em novas áreas residenciais não foi implementada. Esta legislação seria muito benéfica; por exemplo, quando um projeto para uma nova área residencial é apresentado para aprovação, deveria ser obrigatória a inclusão de um sistema coletivo de aquecimento para todas as novas habitações. Esta situação também deveria ser aplicada a todos os novos blocos de apartamentos. Com medidas como esta, o consumo de *pellets* de biomassa deveria crescer rapidamente. A produção de *pellets* de biomassa aumentou desde 2005 até à atualidade, de apenas umas pequenas fábricas até ao que existe atualmente, com grandes unidades de produção em apenas alguns anos [5.1.19]. O crescimento da taxa de produção teve um crescimento exponencial, especialmente no que diz respeito à capacidade instalada. No entanto, este crescimento não esteve associado ao crescimento do consumo doméstico. De facto, o consumo doméstico é quase negligenciável, apesar das vendas de caldeiras estar a crescer.

Nos últimos 4 anos, Portugal atingiu uma capacidade instalada de mais de um milhão de toneladas por ano. Existem dois universos distintos na indústria dos *pellets* de biomassa em Portugal.

Primeiro, as grandes fábricas com capacidades de produção superiores a 100.000 toneladas por ano estão vocacionadas para a exportação de *pellets* de biomassa de tipo industrial para grandes consumidores Europeus. Estas fábricas são essencialmente detidas por grandes grupos de investidores do sector energético, com reduzida ou nenhuma ligação anterior à indústria florestal ou da madeira [5.1.20]. As Figuras 5.1.9 e 5.1.10 apresentam duas dessas grandes unidades de produção localizadas no Norte e Centro de Portugal.



Figura 5.1.9. Grande unidade de produção de *pellets* de biomassa, com uma capacidade de produção de cerca de 130.000 toneladas por ano, localizada na zona centro de Portugal.



Figura 5.1.10. Grande unidade de produção de *pellets* de biomassa, com uma capacidade de produção de cerca de 100.000 toneladas por ano, localizada na zona Norte de Portugal.

Em segundo, temos as unidades de produção de *pellets* de biomassa com capacidades que vão desde 4.000 até 50.000 toneladas por ano, que produzem *pellets* de biomassa como parte de uma extensão lógica dos seus processos produtivos, porque têm acesso direto a resíduos de biomassa; por exemplo, unidades de produção de *pellets*, serrações, indústria do mobiliário ou a indústria corticeira, que fornecem a sua produção ao mercado local doméstico e a pequenas indústrias [5.1.21]. A Figura 5.1.11 apresenta um exemplo destas pequenas unidades de produção de *pellets* de biomassa localizada no Norte de Portugal. Este caso particular é uma unidade de produção que trabalha essencialmente com resíduos de cortiça, servindo também como unidade de reciclagem para a enorme quantidade de resíduos produzidos pela indústria corticeira [5.1.22-5.1.23].



Figura 5.1.11. *Pelletizadora* numa unidade de pequenas dimensões localizada no Norte de Portugal. Esta unidade processa essencialmente resíduos de cortiça.

A maioria das unidades de produção, grandes e pequenas, agora em operação em Portugal, ou em comissionamento, começaram as suas atividades nos últimos 4 anos. O aumento dos preços dos combustíveis fósseis e os programas de subvenção para energia “verde” nas centrais a carvão em muitos países europeus, elevaram a expectativa de um negócio interessante no fornecimento desta forma de combustível [5.1.24].

Para estudar a situação atual da produção de *pellets* e do mercado em Portugal, recorreu-se à base de dados BIORAISE [5.1.25]. Os dados obtidos a partir do BIORAISE foram depois confirmados através do contacto direto com os produtores de *pellets* e, na grande maioria dos casos, complementados com visitas às instalações. Neste estudo foram também incluídas as unidades ainda em construção. Para obtenção de informações sobre preços, foram pedidas cotações a todos os fornecedores do mercado, bem como foram recolhidas informações em todas as grandes superfícies de retalho a nível nacional.

5.1.3. Análise do mercado

No caso de Portugal, a maioria das unidades de produção estão localizadas a Norte de Lisboa, pois a maioria dos 38% do território florestal se encontra também a Norte de Lisboa. Como já referido anteriormente, esta floresta está dividida principalmente em 600.000 hectares de pinho e 380.000 hectares de eucalipto [5.1.26].

A maioria das unidades de produção de *pellets* de biomassa com uma capacidade de produção acima das 100.000 toneladas por ano estão localizadas ao longo de uma linha de 150 km nos distritos de Coimbra e Castelo Branco. A Tabela 5.1.1 apresentam a lista completa das unidades de produção de *pellets* de biomassa em operação ou em comissionamento.

Tabela 5.1.1. Lista de unidades de produção de *pellets* de biomassa em Portugal.

Unidade de produção de <i>pellets</i> de biomassa	Localização
Albano Leite da Silva	Celorico de Basto
Biobranco II	Vila Velha de Ródão
Biomad	Guimarães
Briquetes Raro	Vila Nova de Gaia
Castro & Filhos	Guimarães
CMC Biomassa	Alcobaça
Douropellets	Lamego
Enermontijo	Pegões
Enerpellets	Pedrógão Grande
Fourpellets	Barcelos
Glowood	Cercal do Alentejo
JAF/Nova Lenha	Oleiros
JunglePower	Lousada
Melpellets	Melgaço
Nicpellets	Ílhavo
Omnipellets	Leiria
Pellets Power	Mortágua
Pellets Power 2	Alcácer do Sal
Pelletsfirst	Alcobaça
Pinewells	Arganil
Sol Total	Coimbra
Stellep	Chaves
Tecpellets	Póvoa de Varzim
Thermowall II *	Braga
Vimasol	Celorico de Basto
XPZ	Esposende
Iberomassa Florestal **	Oliveira de Azeméis
YserGreenEnergy **	Oliveira de Azeméis
AdvancedFuelSolutions **	Oliveira de Azeméis

* Unidade de produção de *pellets* de resíduos de cortiça

** Unidade de produção de *pellets* de biomassa torrificada ou carbonizada

A matéria-prima mais utilizada é o pinho, mas algumas quantidades de eucalipto também são utilizadas.

A distância crítica para além da qual a matéria-prima deixa de ser viável situa-se entre os 50 e 70 km. Distâncias superiores provocam elevados custos de transporte, já que as matérias-primas são sempre transportadas por camião, inviabilizando o processo.

As grandes unidades de produção produzem quase exclusivamente *pellets* de biomassa de tipo industrial, mas quase todos têm planos para expandir as suas linhas de produção com linhas de ensacamento. O objetivo é vender sacos de 15 kg nos mercados domésticos português e europeu, envolvendo linhas de ensacamento de até 800 sacos por hora.

As pequenas unidades de produção vendem a sua produção no mercado doméstico, mas também para pequenas indústrias, tais como padarias, restaurantes, hotéis, escolas, lares e piscinas. Como o mercado doméstico é muito pequeno, o resto da produção remanescente é exportado para outros países europeus em sacos de 15 kg e vendido pelos grandes retalhistas aos consumidores finais (Figura 5.1.12).



Figura 5.1.12. *Pellets* de biomassa à venda numa grande superfície na zona Norte de Portugal.

Em Portugal, a capacidade total instalada é de cerca de 1.200.000 toneladas por ano, sendo que apenas 6% dessa quantidade é consumida internamente, ou seja, cerca de 72.000 toneladas por ano, enquanto o restante é exportado.

Toas as grandes empresas nacionais estão focadas na exportação dos *pellets* de biomassa que produzem, pois o mercado interno não tem capacidade para absorver a totalidade da produção. Os principais destinos para onde Portugal exporta os seus *pellets* de biomassa são os países do Norte da Europa, com principal destaque para a Inglaterra, Dinamarca e Suécia.

O mercado doméstico é exclusivamente abastecido pelas pequenas unidades de produção, pelo que apenas ocasionalmente se verifica a importação de *pellets* de biomassa.

Para contrariar esta tendência é necessário promover os *pellets* de biomassa e os sistemas de aquecimento internamente, para que o mercado se possa desenvolver de um modo similar ao mercado italiano, por exemplo.

Em Portugal, o preço de venda de *pellets* de biomassa de qualidade residencial em superfícies de venda a retalho situa-se entre 3,50€ e os 5,00€, com IVA incluído, para sacos de 15 kg. O preço para *pellets* de biomassa com qualidade residencial vendidos a granel varia entre 155,00€ e os 185,00€, sem IVA, dependendo do tipo de contrato negociado, pois pode incluir outros serviços como a manutenção das caldeiras, a limpeza das cinzas e das quantidades a fornecer.

Da mesma forma que os *pellets* de biomassa vendidos a granel para exportação, o preço destes para o mercado nacional pode variar entre os 125,00€ e os 160,00€, dependendo das quantidades, forma de entrega, qualidade e poder calorífico.

5.1.4. Conclusões

A biomassa sólida, em particular os *pellets* de biomassa, tornaram-se o combustível mais competitivo para o consumidor final. De acordo com as projeções realizadas para Portugal e outros países europeus, os *pellets* de biomassa representam uma alternativa estável e barata. Este facto motiva o desenvolvimento da utilização de biomassa para a produção de energia térmica.

Como conclusão, pode-se afirmar que a indústria da produção de *pellets* de biomassa em Portugal é uma indústria recente e ainda com espaço para o seu desenvolvimento. Devido aos preços competitivos dos *pellets* de biomassa relativamente a outros combustíveis tradicionais, os *pellets* de biomassa afirmam-se como uma alternativa importante no mercado dos produtos energéticos.

5.2. Produção e caracterização de pellets de cortiça

5.2.1. Enquadramento

À medida que o progresso económico e social conduz ao aumento do consumo de energia, a falta de novas fontes de combustíveis fósseis, assim como a poluição que estes provocam, conduziram a um sério dilema entre a proteção ambiental e o desenvolvimento económico [5.2.1].

Desde a crise energética mundial da década de 1970, que os decisores públicos e privados têm considerado a possibilidade de alcançar uma transição do atual sistema baseado em combustíveis fósseis para um sistema mais sustentável baseado em energia limpa. Este novo sistema é normalmente designado por energia renovável ou energia verde, e pode ser a solução para o problema do declínio na disponibilidade de combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de GEE. Isto tem levado ao desenvolvimento de algumas destas novas formas de energia com a aceleração da sua utilização ao longo dos últimos anos [5.2.2].

A biomassa é considerada uma fonte de energia que poderia desempenhar um papel fundamental no cumprimento dos objetivos definidos para a Europa e Portugal, no que diz respeito à seleção de novas fontes de energia, principalmente para uso industrial. A biomassa pode ser uma importante fonte de energia para dois sectores principais: produção de eletricidade e de aquecimento/arrefecimento. O aumento da utilização da biomassa constitui também uma oportunidade para reduzir as emissões de GEE, a promoção do desenvolvimento regional, com a criação de novas oportunidades de emprego e a redução da dependência energética de países estrangeiros [5.2.3].

O Governo Português aprovou a estratégia da UE para a utilização de energias renováveis seguindo os ditames da Diretiva 2009/28/CE, transposta para a legislação nacional portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 141/2010, que estipula que pelo menos 31% da energia elétrica produzida em Portugal, para além de 2020, deve ser gerada a partir de fontes de energia renováveis [5.2.4-5.2.6]. A biomassa tem um papel muito importante na concretização deste objetivo e várias centrais em funcionamento até ao final de 2012 deverão produzir um total de 2.500 GWh de energia elétrica e térmica a partir de biomassa [5.2.7].

O uso de resíduos de biomassa contribui para a participação de fontes renováveis para produção de energia, reduz as importações de combustíveis fósseis e reduz o risco de incêndios florestais [5.2.8]. Neste contexto, a biomassa como fonte de energia renovável parece ser uma opção promissora para melhorar a situação ambiental, uma vez que tem vários efeitos positivos e o aumento do seu uso faz parte da agenda política de muitos estados membros da UE [5.2.9].

Consequentemente, a estratégia governamental portuguesa estabeleceu metas ambiciosas para o uso de biomassa para energia elétrica e produção de calor, o que resultou numa eventual necessidade de grandes quantidades de biomassa no país [5.2.10]. Dada a limitada disponibilidade de biomassa florestal residual, associada ao aumento da produção de *pellets* de biomassa em Portugal [5.2.11], já um dos principais produtores europeus [5.2.12], uma vez que esta indústria tem utilizado grandes quantidades de matérias-primas da floresta [5.2.13], o interesse em formas alternativas de biomassa tem aumentado, especialmente a partir de resíduos industriais, tais como o algodão, papel e cortiça.

Portugal é conhecido em todo o mundo como produtor de cortiça. Esteve sempre ligado a esta atividade e tem sido, nas últimas décadas, o maior produtor e exportador de cortiça. Estima-se que a área ocupada pelo sobreiro (*Quercus suber L.*) em todo o mundo está muito próximo de 2,2 milhões de hectares. Está amplamente distribuída em torno da zona do Mediterrâneo, especialmente em áreas com influência atlântica, como o sul da Europa e o norte da África. A Península Ibérica tem 56% da área total (Portugal 33% e na Espanha 23%), três países do Norte de África tem 33% (Marrocos, Argélia e Tunísia) e Itália e França têm uma área total que constituem os 11% restantes [5.2.14].

O sector industrial da cortiça, para além de uma componente secular socioeconómica, contribui para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na bacia do Mediterrâneo, ao mesmo tempo que ajuda a proteger a biodiversidade, o que representa um modelo de sustentabilidade entre a atividade humana e os recursos naturais [5.2.15]. A cortiça pode ser usada como matéria-prima para substituir outros materiais não renováveis, como o petróleo e seus derivados, e que hoje é considerada como um produto de luxo, e com aplicações que vão desde os têxteis e calçado à nanotecnologia. Isto prova que esta indústria orientada para a floresta há muito tempo abandonou a simples produção de rolhas para vinho e champanhe.

As florestas em Portugal ocupam cerca de 39% do território nacional. Ao longo dos dois últimos séculos, a área total ocupada pelo sobreiro aumentou significativamente, atingindo 23% do total da área florestal [5.2.16]. Ao contrário do que acontece nas operações de limpeza de áreas florestais ocupadas por outras espécies, onde os resíduos são normalmente queimados no local e apenas ocasionalmente utilizados como combustível, os resíduos provenientes da limpeza das florestas de sobreiro são normalmente recolhidos e utilizados por causa do alto valor comercial da cortiça, o que ajuda a reduzir a carga térmica da floresta [5.2.17-5.2.19].

Tradicionalmente, a indústria da cortiça encontrou usos para vários subprodutos de cortiça, incluindo a recuperação de energia térmica a partir do pó de cortiça, para o qual há muitas outras aplicações viáveis. No entanto, a sua baixa densidade e volatilidade provoca algumas dificuldades técnicas e de segurança, em termos da utilização da energia, e tem havido muitos casos de acidentes graves nas fábricas de cortiça, devido a explosões e incêndios [5.2.20-5.2.22].

Em Portugal existe uma grande experiência na produção de *pellets* de madeira, especialmente em relação ao uso de tipos indígenas de madeira, tais como vários tipos de pinheiros (*Pinus pinaster* e *Pinus pinea*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e choupos (*Populus sp.*), entre outros, mas também em relação ao uso de produtos de menor importância económica, tais como os matos resultantes da limpeza florestal, a esteva (*Cistus ladanifer*), tojo (*Ulex europaeus*), giesta (*Sarothamuscoparius*), fetos (*Pteridium aquilium*) e silvas (*Rubus ulmifolius*) [5.2.23].

Face a tudo isto, e considerando todo o conhecimento adquirido na densificação de outros produtos da floresta, o aprofundamento da pesquisa nesta área parece ser muito promissor para a identificação de uma alternativa para a recuperação dos resíduos resultantes da indústria da cortiça, permitindo uma fácil reutilização e até mesmo a criação de uma alternativa comercial viável como recurso energético.

5.2.2. A Produção de pellets

Atualmente, os *pellets* de biomassa são, internacionalmente, a mercadoria sólida a granel de biomassa mais negociada para fins energéticos. Em termos de volume de vendas, representam cerca de 4 milhões de toneladas, o que torna estes produtos comparáveis ao volume do comércio de biodiesel e bioetanol [5.2.24]. Em Portugal, a produção em grande escala de *pellets* de biomassa começou em 2005 e as maiores unidades industriais começaram a operar em 2008. Atualmente, a produção anual de 1,2 milhões de toneladas é dividida entre os grandes produtores que exploram quase exclusivamente o mercado de exportação, e os pequenos produtores que exploram o abastecimento do mercado interno [5.2.25].

A produção de *pellets* representa a possibilidade de utilizar diferentes tipos de resíduos de biomassa, que inclui resíduos de cortiça, transformando-os num produto com características mais homogêneas e uniformes. Isto permite a sua utilização nas caldeiras de edifícios residenciais ou de serviços, tais como escolas e hospitais, à semelhança do que já acontece com as formas de resíduos utilizados como matéria-prima na produção de *pellets* utilizadas em caldeiras industriais mais avançadas [5.2.26-5.2.29].

A produção de *pellets* de biomassa é uma sequência de passos que inclui: pré-processamento, secagem, moagem, *pelletização*, refrigeração, triagem e ensacamento, sendo descrita brevemente neste trabalho. A Figura 5.2.1 apresenta esquematicamente uma linha de produção de *pellets* de biomassa padrão.

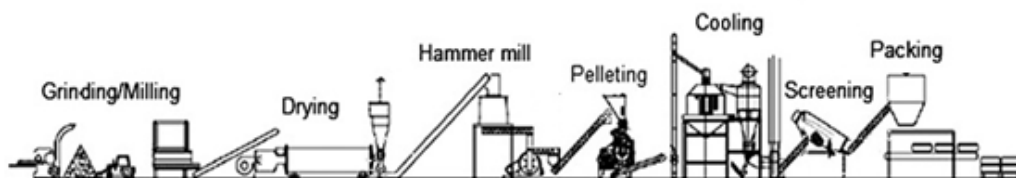


Figura 5.2.1. Esquema de uma unidade de produção de *pellets* de biomassa padrão (adaptado de [5.2.24]).

A necessidade de moagem durante o pré-processamento depende da condição da matéria-prima a ser utilizada, ou seja, é muitas vezes necessária para homogeneizar e misturar os materiais antes da *pelletização*. O mesmo conceito é aplicado à secagem. Esta etapa é de fundamental importância para a qualidade do produto final, pois numa matéria-prima em que o teor de humidade ultrapasse os 15% torna-se muito difícil *pelletizar* corretamente.

A maior ou menor necessidade de secagem dos materiais antes da *pelletização* é um fator chave para a quantidade de energia gasta na produção de *pellets* de biomassa. No caso dos resíduos de cortiça, a secagem geralmente não é necessária porque uma das suas características é o facto de apresentarem um teor de humidade muito baixo (10% a 15%).

No passo seguinte, um moinho de martelos equipado com um crivo de 3,2 milímetros reduz os resíduos secos de cortiça até um tamanho utilizável. O processo de *pelletização* é baseado na extrusão dos resíduos de cortiça, ou qualquer outro tipo de biomassa, através dos orifícios de uma matriz. Às vezes, se o teor de humidade for demasiado baixo, pode ser necessário adicionar alguma água ou óleo vegetal para facilitar o processo de extrusão. Esta fase do processo de produção representa a maior parcela do consumo de energia eléctrica na produção de *pellets* de biomassa e a principal fonte de custos de manutenção (até 15% dos custos anuais de manutenção) [5.2.30].

O arrefecimento também pode não ser estritamente necessário e representa um baixo custo. Os *pellets* são geralmente arrefecidos imediatamente após a *pelletização*, que ajuda a estabilizar a sua forma. Os sistemas de arrefecimento têm, frequentemente, uma de duas configurações básicas de funcionamento: um fluxo de ar horizontal ou vertical, sendo este último o mais amplamente utilizado, que é constituído por uma corrente de ar forçada em contracorrente com a entrada dos *pellets*.

A crivagem é necessária para separar os finos residuais dos *pellets* antes do ensacamento. Os finos e outros detritos recolhidos no crivo são devolvidos ao moinho refinador e novamente introduzidos no processo de *pelletização*. Se o teor de finos excede 3% da quantidade total do produto peneirado, isto indica que ocorreu um problema com a matéria-prima (teor de humidade ou de dimensão das partículas) ou o processo de *pelletização* em si (forma da matriz, a compressibilidade, temperatura do processo, entre outros), que precisa ser corrigido.

O passo final de um processo industrial de produção de *pellets* de biomassa é o ensacamento do produto acabado, geralmente em sacos de 15 kg para os consumidores residenciais, ou *big-bags* de 700-1.000 kg para utilizadores em grande escala. O sistema de ensacamento pode ser manual, semiautomático ou completamente automático, dependendo do tamanho da fábrica e das quantidades produzidas. Os *pellets* de biomassa também podem ser transportados em camiões graneleiros, que descarregam os *pellets* de biomassa usando um sistema de transporte pneumático para um silo ou tremonha.

5.2.3. Produção e Caracterização dos Pellets de Resíduos de Cortiça

5.2.3.1. Resíduos de Cortiça

As amostras de granulado de cortiça foram adquiridas em diversas empresas corticeiras da região de Santa Maria da Feira (Norte de Portugal), de forma a serem representativas dos resíduos produzidos por cada uma das unidades industriais (Figuras 5.2.2, 5.2.3 e 5.2.4).



Figura 5.2.2. Granulado de cortiça com tamanho de partícula superior a 5 mm e uma densidade de 90 kg/m³.



Figura 5.2.3. Granulado de cortiça com tamanho de partícula superior a 2 mm e uma densidade de 120 kg/m³.



Figura 5.2.4. Granulado de cortiça com tamanho de partícula inferior a 2 mm e uma densidade de 60 kg/m³.

Este estudo tem como objetivo reproduzir as condições de um ambiente industrial, a fim de simular a produção de *pellets* de cortiça em grande escala e em conformidade com as restrições que podem ocorrer numa linha de produção industrial. Assim, para além da caracterização das *pellets* de cortiça, também confirma a viabilidade de utilização de uma linha de produção de *pellets* de biomassa convencional, que normalmente utiliza matérias-primas tradicionais, tais como o serrim de pinho ou de outras madeiras comuns.

Dada a variedade entre os diferentes tipos de resíduos produzidos pela indústria da cortiça, depois de recolhidas as amostras e efetuados os testes e ensaios laboratoriais, os resíduos foram posteriormente misturados, a fim de criar um produto adequado para utilização em larga escala.

Durante os ensaios, o material foi introduzido na prensa de *pelletização* e foi adicionada água em quantidade suficiente para elevar o teor de humidade para um valor capaz de reduzir o atrito entre o material e a matriz. Outra função da adição de água é permitir o correto funcionamento da prensa de *pelletização* sem aumentar a vibração e o esforço do equipamento. No entanto, esta quantidade de água não deve ser muito alta, a fim de evitar a produção de *pellets* de má qualidade, o que pode facilmente fazer com que se desintegrem durante o transporte e operações de carga [5.2.31].

O teor de humidade ótimo para os resíduos industriais de cortiça no momento da *pelletização* é de 15%, pois é necessário diminuir a resistência à compressão natural destes materiais [5.2.32] e contrabalançar a evaporação induzida pela temperatura elevada no interior da prensa de *pelletização*.

Esta evaporação ocorre, principalmente, por duas razões:

- A cortiça tem grande resistência à fricção devido à sua rugosidade natural [5.2.33, 5.2.34].
- A baixa permeabilidade da cortiça devido ao seu alto teor de suberina [5.2.35].

Atendendo ao grande uso existente para todos os subprodutos da cortiça, os resíduos resultantes também são diferentes nas suas características. No entanto, utilizando uma mistura de tipo "all-in" cria-se um produto final com características homogêneas, assegurando uma matéria-prima consistente e que enfatiza a viabilidade da produção industrial de *pellets* de resíduos de cortiça.

5.2.3.2. Preparação do material para a *pelletização*

A recolha de resíduos e os métodos de amostragem foram realizados segundo as orientações do projeto de norma FprEN 14778, Biocombustíveis Sólidos - Amostragem [5.2.36].

A matéria-prima precisava ser pré-tratada, pois o tamanho da partícula da mistura obtida não era homogêneo. Assim, a fim de reduzir todo o material até um tamanho inferior a 3 mm, foi usado um moinho de martelos (Figura 5.2.5) com um crivo incorporado, alimentado por um sistema de transporte pneumático, que simula o processo industrial.



Figura 5.2.5. Moinho de martelos.

Para a produção de *pellets*, a dimensão apropriada das partículas é de 3,20 mm [5.2.30]. Para a produção dos *pellets* de cortiça utilizou-se uma prensa Munch-Edelshtal PMR 420 com uma capacidade de 1.000 kg/h, onde foram processados 5.000 kg de mistura de cada amostra (Figura 5.2.6).

Com estas quantidades, estabilizou-se a produção e atingiu-se a temperatura ideal para a produção de *pellets*, uma vez que os *pellets* de cortiça atingem a sua máxima durabilidade quando a matriz atinge os 90 °C.



Figura 5.2.6. *Pelletizadora* Munch Edelshtal RMP 420 usada na produção dos *pellets* de cortiça.

Dado o baixo teor de humidade dos resíduos de cortiça, tipicamente cerca de 6 a 8%, foi necessário aumentar o teor de humidade da matéria-prima durante o processo de produção dos *pellets*, até cerca de 15%, que é o valor ideal para estes materiais. O material com teor de humidade acima deste valor não se agrega de forma apropriada, e se tiver um teor inferior existe um risco acrescido de incêndio dentro da *Pelletizadora*. Esta temperatura proporcionou um produto final com um teor de humidade inferior a 6% depois de arrefecido à temperatura ambiente durante 12 horas (Figura 5.2.7).



Figura 5.2.7. *Pellets* de cortiça.

No entanto, verificou-se que, ao contrário dos *pellets* de madeira, o tempo de arrefecimento dos *pellets* de cortiça é muito menor devido às propriedades de condutividade térmica particulares da cortiça [5.2.33].

5.2.3.3. Teor de humidade

O método utilizado na determinação do teor de humidade do material consistiu na secagem do material por um período de 24 horas, num tabuleiro colocado dentro de uma estufa a 105 °C. Este método está descrito na norma EN14774-2, Biocombustíveis Sólidos - Determinação do Teor de Humidade - Método de Secagem na Estufa - Parte 2: Humidade Total - Procedimento Simplificado [5.2.37]. O teor de humidade obteve-se pesando o material antes e depois da secagem, sendo apresentado numa percentagem de base seca.

5.2.3.4. Poder calorífico

O poder calorífico dos *pellets* de cortiça foi analisado utilizando uma bomba calorímetro isotérmica. O cálculo do poder calorífico inferior (PCI) foi posteriormente efetuado através dos procedimentos especificados pela norma EN14918, Biocombustíveis Sólidos - Determinação do Poder Calorífico [5.2.38].

5.2.3.5. Teor de cinzas

O teor de cinzas foi obtido de acordo com o método sugerido pela norma EN 14775, Biocombustíveis Sólidos - Determinação do Teor de Cinzas [5.2.39]. Assim, as amostras foram colocadas num forno, em que a temperatura é elevada gradualmente para 250 °C (ou seja, um aumento de 5 °C/min). A temperatura foi mantida durante 60 minutos e depois voltou a aumentar até atingir 550 °C, mantendo esta temperatura durante mais 120 minutos. Após este período, o teor de cinzas foi obtido pela diferença de percentagem em peso.

5.2.3.6. Densidade dos pellets de cortiça

A densidade aparente foi determinada de acordo com a norma EN15103, Biocombustíveis Sólidos - Determinação da Densidade [5.2.40], e com recurso a uma balança com a precisão de 1,0 g. Uma amostra foi colocada num recipiente com um volume conhecido e pesado, permitindo obter o peso dos *pellets* por unidade de volume.

5.2.3.7. Durabilidade dos pellets de cortiça

A durabilidade dos *pellets* de cortiça foi determinada de acordo com a norma EN15210-1, Biocombustíveis Sólidos - Determinação da Durabilidade Mecânica dos *Pellets* e *Briquettes* - Parte 1: *Pellets* [5.2.41]. Uma amostra de 500 g de *pellets* foi colocada numa caixa de prato rotativo de 50 rpm, onde foram realizadas 500 rotações.

Em seguida, os *pellets* são passados através de um crivo com abertura de 3,15 mm de diâmetro. A durabilidade é expressa como a razão percentual dos grãos de massa retidos no crivo, em relação à massa inicial dos *pellets*.

5.2.4. Resultados e discussão

A partir dos testes realizados, verificou-se que os resíduos de cortiça têm baixo teor de humidade, com um valor médio de 9%, o que significa que durante o processo de *pelletização* deve ser adicionada água até ser alcançado um teor de humidade de 15%, antes de entrar na câmara de compressão (Tabela 5.2.1).

Tabela 5.2.1. Comparação do teor de humidade: resíduos de cortiça antes de entrar no processo produtivo e *pellets* de cortiça.

	Resíduo de Cortiça	Pellets de Cortiça
Teor de Humidade (%)	9%	< 8%

Devido à temperatura elevada, resultante do atrito entre o material [5.2.29, 5.2.42], os rolos e a matriz que, idealmente, atinge 94 °C, esta humidade é libertada, pelo que os *pellets* resultantes saem com uma humidade final inferior a 8%. Afigura-se que a humidade do produto acabado é sempre menor do que a da matéria-prima. Isto é porque o processo de produção ocorre a temperaturas mais altas do que é usual para a produção de *pellets* com outras matérias-primas, mas também por causa das propriedades da própria cortiça, que tem um reduzido teor de humidade no interior das suas partículas [5.2.43].

O poder calorífico dos *pellets* obtido é apresentado na Tabela 5.2.2.

Tabela 5.2.2. Poder calorífico das amostras de *pellets* de cortiça.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Valor médio
PCS(MJ/kg) *	19.37	20.25	21.16	21.78	20.64
PCI(MJ/kg) **	19.35	20.23	21.14	21.76	20.62

* Poder Calorífico Superior ** Poder Calorífico Inferior

Os resultados obtidos mostram um aumento do poder calorífico quando comparado com a matéria-prima original, com exceção do pó de cortiça (tamanho de partícula inferior a 0,05 mm e uma densidade inferior a 60 kg/m³) e sempre maior quando comparada com o poder calorífico da mistura obtida a partir do conjunto de resíduos [5.2.31]. Os *pellets* de cortiça têm um poder calorífico superior à média do poder calorífico de *pellets* produzidos a partir de outros tipos convencionais de biomassa [5.2.65, 5.2.66].

A percentagem média de cinzas está no intervalo entre 2,52 e 2,82% e estes valores são muito similares aos obtidos por outros estudos para espécies pertencentes à mesma família [5.2.17]. Comparativamente a outros tipos de *pellets* produzidos com resíduos, tais como os resíduos agrícolas, os *pellets* de cortiça tem uma percentagem inferior de cinzas (por exemplo, 5,27% para palha de cevada, 7,02% para palha de trigo e 20,3% para casca de arroz) [5.2.46].

Sabe-se que a densidade aumenta quando o tamanho da particular diminui, porque os espaços vazios entre as partículas são mais pequenos [5.2.30]. Neste caso, como os *pellets* são resultantes de matéria-prima formada por partículas de vários tamanhos (tipo “*all-in*”), permite atingir densidades superiores a 750 kg/m³, ou seja, mais 100 kg/m³ do que os *pellets* de biomassa convencionais (Tabela 5.2.3.) [5.2.47].

Tabela 5.2.3. Comparação de densidades: resíduos de cortiça, *pellets* de cortiça e *pellets* de madeira convencionais.

	Resíduos de cortiça (Valor médio)	Pellets de cortiça	Pellets de madeira (Valor ENPlus [5.2.47])
Densidade a granel (kg/m ³)	± 100	± 750	> 650

Os valores obtidos para a durabilidade dos *pellets* de cortiça estão entre 92,3% e 97,5%, e são muito próximos dos resultados obtidos nos *pellets* de resíduos florestais ou resíduos agrícolas [5.2.48].

Devido ao processo de densificação, ao contrário da tradicional combustão direta de resíduos de origem industrial, é possível obter um produto alternativo com vantagens sobre a utilização anterior, que apresenta uma série de características que melhoram a sua utilização como biocombustíveis, semelhante ao resultante de outros resíduos florestais (Tabela 5.2.4 e Tabela 5.2.5).

Tabela 5.2.4. Resumo das características físicas dos *pellets* de cortiça.

Características	Resultado	Unidades
PCI	20,62	MJ/kg
Cinzas	2,52 to 2,82	%
Teor de humidade	< 8	%
Densidade a granel	± 750	kg/m ³
Durabilidade	92,3 to 97,5	%

Tabela 5.2.5. Resumo das características físicas dos *pellets* de biomassa (pinheiro e eucalipto) e *pellets* de resíduo florestal.

Pellets	Madeira (Pinho e Eucalipto) [5.2.45]					Resíduo florestal [5.2.23]		Unidade
	1	2	3	4	5	6	7	
Características	1	2	3	4	5	6	7	
PCS	17,25	18,13	17,70	17,29	16,53	16,00	18,00	MJ/kg
Cinzas	0,93	0,83	0,59	0,54	2,69	< 3		%
Humidade	10,25	6,76	7,78	8,55	6,2	2,79	7,46	%
Densidade	> 650							kg/m ³
Durabilidade	94 a 98					92 a 96		%

A Figura 5.2.8 apresenta uma comparação entre o poder calorífico de *pellets* de madeira de pinho, eucalipto e de cortiça.

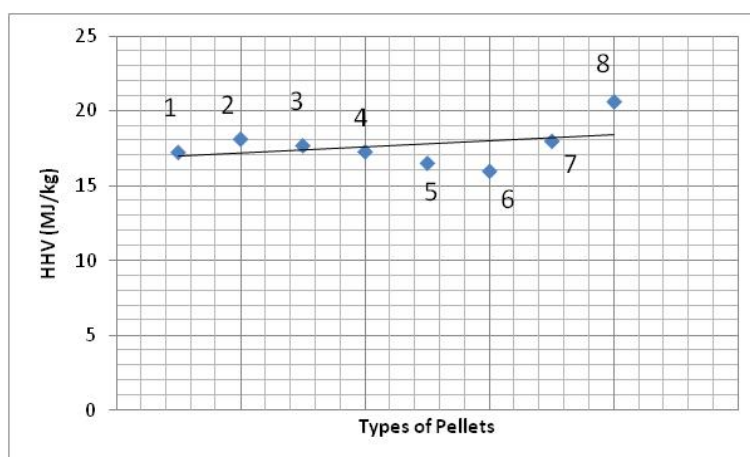


Figura 5.2.8. Comparação do PCS de *pellets* de madeira de pinho e eucalipto (1, 2, 3, 4 e 5), *pellets* de biomassa florestal (6 e 7) e *pellets* de cortiça (8).

As propriedades analisadas podem variar de acordo com as alterações no tipo de resíduo utilizado, embora a variabilidade do valor, como verificado, não vá ser muito significativa.

5.2.5. Conclusões

As propriedades dos *pellets* de resíduos de cortiça mostraram que são adequados para a valorização energética, por causa das melhorias na homogeneidade, com a determinada humidade e características físicas que permitam um melhor controlo sobre o processo de combustão. Em consequência do elevado teor de suberina presente nos resíduos de cortiça, não há necessidade de adicionar ligantes ou outros aditivos para a produção de *pellets*.

Assim, com um conjunto de características semelhantes às dos resíduos florestais, juntamente com uma maior densidade a granel, os *pellets* de cortiça adquirem uma capacidade de ser transportados que não era possível para os resíduos de cortiça, por causa da sua baixa densidade, e que permite novas possibilidades para a sua utilização fora da indústria da cortiça, por exemplo, através de tecnologias de conversão de biomassa como acontece com a torrefação.

5.3. A energia da biomassa como alternativa energética sustentável para a indústria têxtil

5.3.1. Enquadramento

A procura global por energia cresce rapidamente e, portanto, é premente procurar fontes alternativas de energia renovável, para substituir o fornecimento de combustíveis fósseis que se vão esgotando rapidamente [5.3.1]. Os recursos energéticos vão desempenhar um papel importante no futuro do mundo. A energia é considerada um agente primordial na geração de riqueza e um fator importante no desenvolvimento económico [5.3.2]. Existem muitas fontes de energia novas e renováveis alternativas que podem ser usadas em vez de combustíveis fósseis convencionais. A biomassa é uma fonte de energia renovável do ponto de vista da segurança energética e mitigação das alterações climáticas [5.3.3]. A segurança energética é um fator de grande importância, vital para o crescimento económico de qualquer país em desenvolvimento. De acordo com um estudo recente da Comissão Europeia, o preço do petróleo e gás natural em 2050 vai dobrar o preço atual [5.3.4]. Fontes de energia renováveis que utilizam recursos nacionais têm o potencial de fornecer serviços de energia com zero ou quase zero de emissões de CO₂ e de outros GEE [5.3.5]. As tecnologias de produção de energia renovável já são capazes de produzir energia comercializável, convertendo os fenómenos naturais em formas utilizáveis de energia [5.3.6, 5.3.7]. As necessidades globais de energia também vão duplicar as atuais até meados do século, principalmente devido ao rápido crescimento industrial nos países em desenvolvimento [5.3.8]. Outro estudo, da Agência Internacional de Energia, aponta para uma tendência semelhante, com um aumento de cerca de 50% das necessidades de energia até 2030, dos quais 70% correspondem às necessidades da China, Índia e outros países em desenvolvimento [5.3.9].

A indústria têxtil Portuguesa enfrenta sérias dificuldades competitivas, principalmente devido aos elevados custos de produção motivados pelos custos energéticos extremamente elevados que atualmente são praticados na Europa, particularmente em Portugal. Sendo uma indústria altamente diversificada, com muitos processos de produção diferentes, identificou-se um sector específico, o sector da tinturaria têxtil, por ser um grande consumidor de energia, necessitando de grandes quantidades de vapor de água no seu processo produtivo [5.3.10].

A indústria têxtil é um sector fragmentado e heterogéneo dominado principalmente por pequenas e médias empresas, com foco na produção de vestuário, têxteis-lar e têxteis técnicos. Esta indústria representa na União Europeia (UE) [5.3.11]:

- 3,4% do sector produtivo;
- 3,8% do valor económico adicionado;
- 6,9% do emprego industrial.

Em termos de energia, o sector têxtil é responsável por 6,3% do total da energia consumida nas indústrias portuguesas, que por sua vez responderam por 27,5% do consumo final de energia em Portugal [5.3.12].

Os sectores produtivos têxteis com maior peso no consumo de energia são o acabamento e a tinturaria, quando comparados com outros (como a fiação, tecelagem ou a confeção). Os sectores da tinturaria e acabamento têm uma componente térmica forte, que permite tomar medidas para reduzir o desperdício no sistema atual e onde maiores investimentos são aceitáveis, ou são capazes de permitir a recuperação e utilização do calor atualmente rejeitado para o ambiente [5.3.13].

As atividades da indústria têxtil são distribuídos por toda a Europa, mas estão mais concentradas em alguns países da UE. A Itália é o maior produtor na Europa, muito à frente da Alemanha, Reino Unido, França e Espanha. Esses cinco países são responsáveis por mais de 80% das empresas da indústria têxtil na União Europeia, que nos últimos anos atingiu um volume médio de negócios de 198 mil milhões de euros e que emprega cerca de 2,2 milhões de pessoas [5.3.14].

Em Portugal, a localização das empresas têxteis ocorre principalmente no norte do país, sendo também onde se encontra a maior concentração de mão-de-obra especializada. A cadeia têxtil e do vestuário é composta por um grande número de subsectores que abrangem todo o ciclo produtivo, desde as matérias-primas até aos produtos finais de consumo. A indústria de tinturaria têxtil Portuguesa ainda depende principalmente de gás natural como combustível, utilizando também nafta e gás propano, principalmente devido a razões logísticas ou à ausência de distribuição de gás natural.

O custo de produção do vapor utilizando caldeiras de vapor representa cerca de 60% dos custos totais de energia na indústria tinturaria têxtil. Portanto, uma vez que a biomassa é uma importante fonte de energia primária, renovável e com claras vantagens quando comparada com os combustíveis fósseis, em particular no que diz respeito a questões relacionadas com o aquecimento global, a possibilidade de utilizar esta forma de energia, como alternativa, é muito promissora [5.3.15].

A engenharia de produção de vapor, por si só, não será capaz de transformar o mercado da energia. Novos processos de negócio altamente distribuídos terão que ser criados para acomodar estas evoluções do mercado, principalmente devido à necessidade de controlo das redes de produção/distribuição/logística de biomassa. O processo com o tradicional cliente estático será cada vez mais substituído por um processo muito dinâmico, descentralizado e orientado para o mercado, onde um número crescente de fornecedores e consumidores interagem [5.3.16].

5.3.2. Fontes de energia utilizadas na indústria de tinturaria têxtil Portuguesa

A indústria têxtil é uma indústria com tradição em Portugal, e, apesar da grave crise que afeta a indústria em geral, ainda é um dos mais importantes sectores industriais Portugueses, assumindo sempre um papel de destaque em termos de emprego e uma posição de destaque na economia Portuguesa. É um sector maduro, fragmentado e sujeito a desencontros periódicos entre oferta e procura, cujo desempenho é fortemente afetada por flutuações da atividade económica mundial [5.3.17].

A liberalização do comércio têxtil mundial, com a consolidação da posição dos países asiáticos no mercado europeu, tem agravado as dificuldades que a indústria tem experimentado nos últimos anos, afetando não só Portugal mas também todo o sector europeu da indústria têxtil. O futuro e a recuperação deste sector passam por uma cada vez maior aposta em fatores como a I&D, design, inovação, busca da excelência, qualidade, distribuição, logística e internacionalização de seus produtos, especialmente aqueles que contêm altos níveis de diferenciação, e também pela racionalização do consumo de energia pela adoção de novas fontes de energia e da modernização dos processos de produção.

O sector têxtil deve, portanto, fortalecer e investir em fatores intangíveis de competitividade para que as empresas se possam projetar no mercado e para os elementos que mais contribuem para agregar valor aos seus produtos, tornando-as mais competitivas.

Em termos de energia, o sector têxtil representa cerca de 6,25% do total da energia consumida nas indústrias transformadoras em Portugal, que por sua vez representa 20,4% do consumo final de energia em Portugal. Do consumo total de energia na indústria, os processos de aquecimento representam até 60% desse total. As auditorias ao sector mostram que este consumo se distribui pela preparação ou produção de fibras, produção de fios, produção de tecidos, acabamentos e fabricação do produto final. De todos estes processos, os processos de acabamento em particular, na sua grande maioria, consomem energia térmica. A energia térmica é utilizada nos processos de produção de vapor, aquecimento de óleo térmico, secagem e aquecimento de revestimentos.

O vapor também é consumido em fases de lavagem, que variam dependendo do produto e do material, e nos processos de colheita de fibra ou após coloração e estamparia [5.3.18].

A indústria têxtil é tradicionalmente uma indústria com gastos de energia intensivos. Em geral, a energia é utilizada na indústria têxtil na forma de [5.3.19]:

- Eletricidade, consumida na operação de máquinas industriais e equipamentos de produção, iluminação e outros equipamentos de escritório;
- Combustíveis líquidos ou gasosos, tais como nafta, gás propano ou gás natural, para equipamentos de produção de energia térmica tais como caldeiras de vapor e óleo térmico, ou equipamentos de produção.

Os sectores produtivos da indústria têxtil com maior peso no consumo de energia são os acabamentos e tinturaria, quando comparados com outros sectores. A componente térmica é muito maior do que a componente eléctrica nestes sectores, de modo que a implementação de medidas de conservação de energia torna-se imperativa. De facto, em Portugal começa-se a notar uma diminuição no consumo total de energia (carvão, petróleo, eletricidade, gás natural) desde 2000. Note-se que esta redução está certamente ligada à diminuição da produção, mas também às medidas de racionalização da energia adotada pela indústria, numa tentativa de reduzir os custos [5.3.20].

Os custos da energia eléctrica, e em especial do petróleo, têm aumentado significativamente nos últimos anos de modo que a conservação da energia se tornou numa questão fundamental. Antes de a questão energética se tornar um tema relevante para a indústria têxtil, situações como as perdas de energia por meio de descargas de água quente, vazamentos e manutenção inadequada, falta de isolamento de tubos e máquinas, a não recuperação de gases e de ar quente, e as configurações impróprias do *lay-out* produtivo eram bastantes comuns. Estas perdas eram geralmente negligenciadas em detrimento das pressões decorrentes da produção e entrega dos produtos fabricados. No entanto, os custos de energia crescentes tornaram insustentáveis essas ocorrências, tanto em termos de rentabilidade como em termos da preocupação ambiental correspondente [5.3.21]. Uma outra forma de energia utilizada pela indústria têxtil é o gás natural, necessário para alimentar as caldeiras que produzem vapor para sectores com exigências térmicas mais elevadas, como é o caso do sector da tinturaria.

Para este estudo foram escolhidas algumas das principais empresas do sector, todas localizadas nas regiões vizinhas do Vale do Ave e Vale do Cávado (Norte de Portugal), com especial destaque para os municípios de Guimarães, Fafe, Famalicão e Barcelos, áreas tradicionais de maior e mais forte implantação da indústria têxtil em Portugal, com mais de 150 anos de atividade do sector [5.3.22].

A utilização de três tipos de combustível em caldeiras de vapor, ou seja, gás natural, gás propano e nafta (Figuras 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3), era muito comum, sendo o gás natural o combustível mais frequentemente encontrado nesta indústria. Durante as últimas décadas foi realizado um grande esforço por parte das empresas para readaptar o uso dos combustíveis tradicionais, tais como a nafta, para combustíveis mais eficientes e menos poluentes. A competitividade dos preços do gás natural sobre outras formas de combustível também foi um fator de decisão muito importante para promover a mudança.

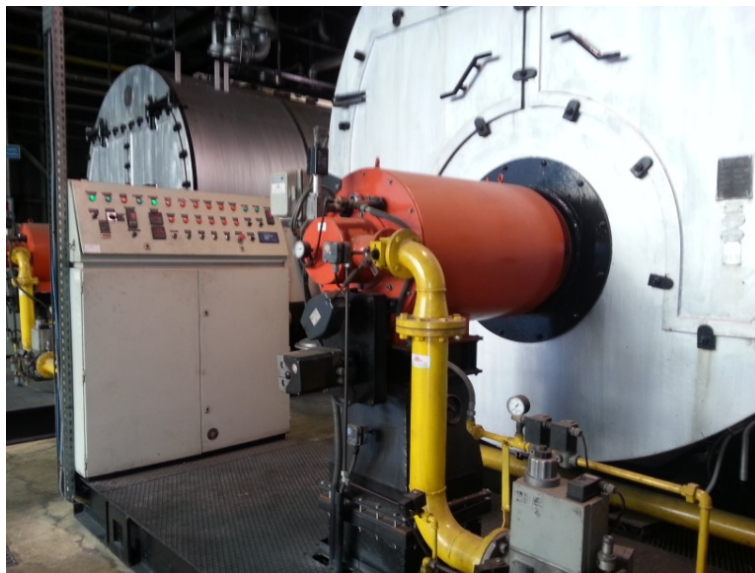


Figura 5.3.1. Queimador a gás natural numa caldeira de vapor.



Figura 5.3.2. Queimador a gás propano numa caldeira a vapor.



Figura 5.3.3. Queimador a nafta numa caldeira de vapor.

Estes dois últimos são usados principalmente em unidades menores sem acesso direto à rede de distribuição de gás natural. Quando este estudo se desenvolveu, não foi encontrada qualquer referência bibliográfica para o uso de energia de biomassa no sector da indústria têxtil, o que é de salientar.

As caldeiras a vapor mais comuns encontradas nas instalações industriais visitadas têm capacidades de produção de vapor entre 6 a 20 ton/h, com 10 a 12 bar de pressão (Figuras 5.3.4 e 5.3.5).



Figura 5.3.4. Caldeira a vapor com 2 queimadores a gás natural que produz 20 t/h de vapor a 10 bar.



Figura 5.3.5. Sala de caldeiras de uma grande unidade de produção têxtil no Norte de Portugal.

A mudança dos combustíveis tradicionais para biomassa implica, por vezes, várias alterações nos equipamentos para a produção de vapor, sendo muitas vezes difícil de conseguir por problemas logísticos e/ou de espaço, uma vez que estas empresas, muitas com décadas de atividade, ocupam instalações antigas que foram desenvolvidas de acordo com as necessidades de produção, relegando as "utilidades" para um plano secundário.

A configuração considerada no presente estudo para a utilização de biomassa (*pellets* de madeira e estilha de madeira) é apresentada nas Figuras 5.3.6, 5.3.7 e 5.3.8 (relativas aos queimadores de biomassa em caldeiras de vapor), Figuras 5.3.9, 5.3.10, 5.3.11 e 5.3.12 (sistemas de alimentação automática) e Figuras 5.3.14 e 5.3.15 (sistemas de filtragem).



Figura 5.3.6. Queimador a biomassa numa caldeira de vapor que utiliza *pellets* de biomassa.



Figura 5.3.7. Outro tipo de queimador de biomassa numa caldeira de vapor que utiliza *pellets* de biomassa. Neste conjunto queimador/caldeira os *pellets* de biomassa são fornecidos em *big-bags*, colocados numa tremonha superior ao queimador.



Figura 5.3.8. Queimador de biomassa numa caldeira de vapor que utiliza estilha de biomassa.



Figura 5.3.9. Silos para armazenamento de *pellets* de biomassa, que fazem a alimentação de uma caldeira de vapor.



Figura 5.3.10. Sistema automático de alimentação de *pellets* de biomassa. Nesta figura apresenta-se o depósito de *pellets* de biomassa.



Figura 5.3.11. Sistema automático de alimentação de *pellets* de biomassa. Nesta figura apresenta-se o sistema de transporte dos *pellets* de biomassa para o queimador.



Figura 5.3.12. Sistema automático de alimentação de estilha de biomassa. Nesta figura apresenta-se o depósito de estilha de biomassa.



Figura 5.3.13. Sistema automático de alimentação de estilha de biomassa. Nesta figura apresenta-se o sistema de transporte de estilha de biomassa para o queimador.



Figura 5.3.14. Sistema de filtragem de partículas (multiciclone) e economizador.



Figura 5.3.15. Sistema de filtragem de partículas (filtro de mangas).

5.3.3. Estudo comparativo entre a utilização de biomassa e gás natural

O combustível mais utilizado em caldeiras a vapor é o gás natural, sendo o gás propano e a nafta utilizados apenas como última opção e quando não há possibilidade logística de fornecimento de gás natural.

Os dados de consumo anual de gás natural nas dez principais unidades industriais de tinturaria têxtil nas regiões do Vale do Ave e Vale do Cávado (Norte de Portugal), durante 2012, foram recolhidos e os valores médios mensais são apresentados na Tabela 5.3.1.

Tabela 5.3.1. Valores médios mensais do consumo de gás natural de 2012, obtidos nas 10 maiores tinturarias do Vale do Ave e do Vale do Cávado

	Consumo de gás natural e custos associados		
	kWh/mês	m ³ /mês	€/mês
Janeiro	1.959.057,00	164.404,89	71.948,82 €
Fevereiro	1.173.506,00	98.481,12	43.098,48 €
Março	1.739.134,00	145.948,86	63.871,87 €
Abril	2.178.023,00	182.780,61	79.990,62 €
Mai	1.967.789,00	165.137,68	72.269,51 €
Junho	1.925.380,00	161.578,70	70.711,99 €
Julho	2.113.237,00	177.343,74	77.611,27 €
Agosto	1.109.359,00	93.097,88	40.742,60 €
Setembro	2.240.434,00	188.018,17	82.282,74 €
Outubro	1.867.351,00	156.708,88	68.580,80 €
Novembro	2.613.019,00	219.285,66	95.966,39 €
Dezembro	1.904.838,00	159.854,81	69.957,56 €
Total	22.791.127,00	1.912.641,00	837.032,64 €

A Tabela 5.3.2 apresenta o consumo médio anual de gás natural para o ano de 2012, considerando que apenas 60% da energia total refere-se ao vapor de produção.

Tabela 5.3.2. Valores médios anuais de consumo de gás natural em 2012.

	Média Mensal	Média anual (11 meses)
Consumo m ³ na produção de vapor (60% do total da energia consumida)	173,876.45 m ³	1,912,641.00 m ³
Consumo kWh na produção de vapor (60% do total da energia consumida)	2,071,920.64 kWh	22,791,127.00 kWh
Custos da produção de vapor	76,093.88 €	837,032.64 €
Custo kWh (€/kWh)	0.037 €/kWh	

Foram utilizados como formas de biomassa para o estudo comparativo, estilha de madeira de pinho e *pellets* de biomassa. A estilha de madeira de pinho caracteriza-se como sendo um produto composto de partículas com um tamanho médio de 40x40x20 mm, um teor médio de humidade de 40% e um PCI de 3,50 kWh [5.3.23], em oposição ao gás natural que tem um PCI que está situado entre 9,16 e 11,92 kWh [5.3.24].

Os *pellets* de biomassa caracterizam-se como sendo formas cilíndricas de 6 a 8 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento, tendo um teor de humidade médio de 10% e um PCI de 4,80 kWh [5.3.25]. Portanto, para um consumo equivalente de estilha de madeira, são necessários cerca de 739.971,66 kg/mês de estilha de madeira, totalizando 8.139.688,21 kg/ano (Tabela 5.3.3).

Para um consumo equivalente de *pellets* de madeira, são necessários 431.650,13 kg/mês, totalizando 4.748.151,46 kg/ano (Tabela 5.3.4).

Tabela 5.3.3. Valores anuais estimados para o consumo de estilha de madeira.

	Média mensal	Média anual (11 meses)
Consumo kg na produção de vapor (60% do total da energia consumida)	739.971,66 kg	8.139.688,21 kg
Custos da produção de vapor	55.487,87 €	610.476,62 €
Custo kWh	0.027 €/kWh	

Tabela 5.3.4. Valores anuais estimados para o consumo de *pellets* de biomassa.

	Média mensal	Média anual (11 meses)
Consumo kg na produção de vapor (60% do total da energia consumida)	431,650.13	4,748,151.46
Custos da produção de vapor	62,589.27 €	688,481.96 €
Custo kWh	0.030 €/kWh	

Utilizou-se como referência um valor anual para 11 meses, pois é prática corrente neste tipo de indústria haver uma paragem de 1 mês por ano para manutenção e férias do pessoal, normalmente durante o mês de Agosto.

A cotação média para a estilha de madeira de pinho obtida em fornecedores locais foi de 0,075 €/kg ou 75 €/t, enquanto para os *pellets* de biomassa a cotação média foi de 0,145 €/kg ou 145 €/t, também obtida junto de fornecedores locais.

Obtêm-se poupanças reais nos custos energéticos para a produção de vapor, correspondentes a 27% com a utilização de estilha de madeira e 18% com a utilização de *pellets* de biomassa, como é apresentado na Tabela 5.3.5.

A substituição dos combustíveis fósseis tradicionais por biomassa requer que as empresas procedam a alterações, ou mesmo à substituição total dos seus equipamentos, obrigando a investimentos. A Tabela 5.3.6 apresenta uma estimativa dos investimentos necessários. Estes valores foram também recolhidos junto de fornecedores nacionais deste tipo de equipamentos.

Tabela 5.3.5. Poupança anual total com a utilização de biomassa comparativamente ao gás natural.

	Estilha de madeira	Pellets de biomassa
Custos anuais com a produção de vapor	610.476,62 €	688.481,96 €
Poupança anual total	27 %	18 %

Tabela 5.3.6. Investimento necessário para a substituição das caldeiras de vapor.

Capacidade da caldeira (t/h de vapor)	Investimento (€)
5	€350,000.00
10	€600,000.00
15	€800,000.00

A crise económica internacional e a dificuldade das empresas em recorrer a fontes de crédito e financiamento, pode tornar esta uma questão difícil de superar para muitas empresas e pode impedir a adoção de biomassa como fonte de energia, se não houver incentivos para a conversão dos equipamentos.

5.3.4. Análise SWOT da utilização de biomassa como fonte energética alternativa para a indústria têxtil

A análise SWOT é um método que identifica os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças do objetivo proposto, neste caso o uso da biomassa como alternativa energética sustentável para a indústria têxtil, o que permite através de uma análise abrangente a escolha de uma estratégia de implementação otimizada [5.3.26, 5.3.27].

Neste estudo em particular a análise SWOT foi utilizada como uma ferramenta de análise para a formulação dos fatores críticos em termos da implementação da substituição de combustíveis tradicionais por biomassa no sector industrial em questão. A análise SWOT realizada apresenta-se na Tabela 5.3.7.

Tabela 5.3.7. Análise SWOT.

Forças	Fraquezas
O desenvolvimento económico	A necessidade de investimento inicial
Aumento da competitividade através da redução dos custos de produção	Adaptação de espaços para novos equipamentos
Desenvolvimento paralelo de outras indústrias, incentivando a criação de empregos indiretos	Logística e fornecimento de biomassa
Contribuição para a redução da importação de produtos energéticos (carvão, gás natural, etc.)	As flutuações sazonais de preços e características técnicas da biomassa
Oportunidades	Ameaças
Desenvolvimento circular da economia regional	Controlo do mercado da energia pela "energias dominantes"
Implementação de uma política de preservação dos recursos	A falta de uma política nacional consistente para promover a utilização sustentável da energia renovável no sector
Aumentar o uso dos recursos nacionais, em vez de recursos importados	A desconfiança dos responsáveis pelas indústrias quando confrontados com novas tecnologias e fontes alternativas de energia
Desenvolvimento paralelo da indústria florestal	Falta de exemplos demonstrativos para ajudar a validar esta opção

Um dos pontos fortes mais importantes da biomassa é a promoção do desenvolvimento das zonas rurais, reduzindo o êxodo rural e reforçando a indústria local. Outro aspeto muito importante é a possibilidade de criação de postos de trabalho predominantemente em regiões menos favorecidas do país [5.3.28].

É frequentemente apresentada como uma fraqueza potencial a utilização de terras agrícolas, provocando competição entre a produção de alimentos e a produção de energia [5.3.29].

Ainda há também uma falta de conhecimento muito grande sobre as culturas energéticas. Isso pode atrasar a implementação eficaz destas culturas, bem como pode colocar em causa a decisão dos agricultores de usar os campos para a produção de bioenergia [5.3.30].

5.3.5. Conclusões

Os elevados custos de produção são causados principalmente pelos custos de energia sempre crescentes. Neste contexto, a biomassa surge como uma alternativa viável, permanente e sustentável para a indústria têxtil, principalmente devido a fatores económicos favoráveis quando comparados com outras fontes de energia, como o gás natural, a nafta e o gás propano. A biomassa permite economias muito significativas em custos de energia, até 27%, associados à produção do vapor necessário para o processo industrial. Esta vantagem pode permitir aumentar a competitividade desta indústria particular.

De facto, o uso de energia de biomassa como fonte principal para a produção de vapor promove o consumo de um produto de origem nacional, contribuindo para a redução das

importações portuguesas, além de ser um combustível neutro no que diz respeito as emissões de CO₂. No entanto, e apesar das vantagens apresentadas, a substituição dos combustíveis fósseis tradicionais não é uma tarefa fácil, exigindo investimentos significativos para atualizar os equipamentos existentes, ou mesmo a sua substituição total, associada a uma mudança em todo o processo de fornecimento e armazenamento de biomassa nas suas diferentes formas.

5.4. Utilização de biomassa residual: modelo teórico de co-combustão aplicado à Central termoelétrica de Sines

5.4.1. Enquadramento

As vantagens ambientais da utilização de biomassa e de outras formas de energia como alternativa à utilização de combustíveis fósseis estão na base de inúmeras iniciativas para a utilização destes recursos, em todas as suas variantes, promovendo a sua penetração no mercado energético [5.4.1].

Infelizmente, estas vantagens vêm acompanhadas, geralmente, pelas propriedades intrínsecas que caracterizam estes materiais (estacionariedade, baixa densidade energética, dispersão dos recursos, concorrência com outras utilizações, entre outras) e, mais precisamente, as diferentes formas de biomassa residual. Estas propriedades estão diretamente relacionadas com o custo final associado à sua utilização, adiando a sua incorporação nos mercados energéticos e fazendo com que a sua utilização atual permaneça muito abaixo das expectativas em termos do potencial existente [5.4.2].

De qualquer forma, o aumento do consumo de biomassa residual para produção de energia, assim como a colocação em prática de ações e ferramentas de apoio à decisão, redução de custos e melhoria da eficiência dos procedimentos para a recolha e processamento destes recursos energéticos devem continuar a ser promovidos [5.4.3].

5.4.2. A co-combustão em centrais termoelétricas convencionais a carvão

Uma interessante e promissora alternativa para a produção de eletricidade a partir de biomassa é através da sua co-combustão em centrais termoelétricas a carvão convencionais que se encontrem já em operação. Trata-se de um desenvolvimento tecnológico relativamente recente, e consiste na substituição de parte do carvão utilizado na central por biomassa, com um limite máximo que pode chegar aos 20% do potencial energético, mas sendo 15% o valor mais frequentemente atingido nos testes levados a cabo em muitas centrais termoelétricas da UE e dos EUA.

Apesar desta percentagem ser pequena, devido à grande dimensão das centrais, o resultado final é a produção de uma quantidade muito substancial de energia elétrica com este combustível renovável [5.4.4].

Por outro lado, para além das vantagens significativas que a utilização de biomassa apresenta em alternativa aos combustíveis fósseis, a co-combustão tem outras vantagens (não menos importantes) quando comparada com a utilização exclusiva de biomassa em centrais apenas equipadas para este propósito.

Por exemplo, requer muito menos investimento por unidade de capacidade instalada, porque a co-combustão de biomassa pode utilizar a maioria das infraestruturas já existentes em cada central (ciclo de vapor, sistemas elétricos, sistemas de arrefecimento, e pelo menos uma parte da caldeira), que se reflete numa drástica redução do investimento, apesar das estruturas de pré-tratamento serem normalmente mais complexas do que as existentes numa central projetada exclusivamente para biomassa [5.4.5].

Para a produção de energia elétrica em grande escala e com grande eficiência, é necessário que a recolha de biomassa residual se efetue em grandes áreas, devido à sua baixa densidade energética, um facto que não é viável devido aos elevados custos de transporte que acarreta. Assim, e simplesmente por uma questão de economia de escala, os operadores de centrais termoelétricas a biomassa são confrontados com a decisão de terem de escolher entre obterem grandes e eficientes produções e de terem elevados custos de produção por kW instalado, ou de reduzirem o investimento ao diminuírem a capacidade de produção instalada. Esta última opção é a mais frequentemente escolhida de forma a viabilizar economicamente os projetos. Assim, numa central termoelétrica a biomassa (normalmente com menos de 20 MW), a eficiência dificilmente ultrapassa os 30%, enquanto nas centrais termoelétricas a carvão de grandes dimensões (500 MW ou mais), onde a co-combustão ocorre, a eficiência pode atingir 36% [5.4.6].

Esta possibilidade também permite muito maior flexibilidade na operação, porque uma central com co-combustão permite grande flexibilidade e facilidade de adaptação à disponibilidade de biomassa num determinado momento. Uma central dedicada a biomassa tem que estar preparada para a possibilidade de ter de parar ou de reduzir a produção nuns determinados períodos devido à escassez de recursos, ou ao aumento circunstancial dos preços. No entanto, uma central com co-combustão, mesmo nestas situações, pode continuar a operar totalmente utilizando o combustível para que foi projetada, numa maior proporção, ou mesmo exclusivamente [5.4.7].

Uma muito importante vantagem ambiental é a redução das emissões de NO_x devido ao teor mais baixo de azoto da biomassa e aos efeitos sinérgicos entre a biomassa e o carvão. Esta é uma vantagem que deve ser verificada e quantificada em cada uma das centrais onde se efetua co-combustão, porque pode haver diferenças significativas de caso para caso [5.4.8].

Assim, a co-combustão apresenta-se teoricamente como uma solução fácil e económica para aumentar a curto prazo o consumo de biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis. No entanto, esta tecnologia também apresenta alguns contratempos e incertezas, tais como os custos operacionais, porque o pré-tratamento da biomassa para co-combustão é mais dispendioso (em unidades já em operação), especialmente se se tratar de co-combustão numa central termoelétrica a carvão pulverizado. Estes custos podem ainda ser afetados, pelo menos parcialmente, pelo facto de estas centrais já disporem de pessoal especializado, reduzindo o custo com mão-de-obra [5.4.9], e pela incerteza relacionada com o comportamento da caldeira devido à mistura de combustíveis para a qual não foi projetada [5.4.10].

Para além disto, e apesar do conceito de co-combustão ser relativamente simples e de já ter sido testado com sucesso em muitas centrais termoelétricas por todo o mundo, com particular ênfase para os testes conduzidos nos EUA e na UE, ainda há muitos aspetos (como os melhores pré-tratamentos, forma de fornecimento da biomassa, entre outros), que necessitam de ser estudados com mais detalhe para cada caso: tipo de caldeira, tipo de carvão e tipo de biomassa a utilizar [5.4.11-5.4.20].

Apesar da co-combustão poder ser aplicada a todos os tipos de central termoelétrica, as possibilidades são maiores nas que têm instaladas caldeiras de combustível pulverizado, não por razões técnicas, mas porque esta tecnologia está mais difundida. Nestas caldeiras, o carvão é introduzido finamente pulverizado, com um teor de humidade muito baixo, atingindo-se grandes eficiências. Estes fatores requerem que a biomassa apresente requisitos similares e, por isso, antes da combustão, tenha de se submeter a pré-tratamentos, que podem variar de caso para caso, e que podem consistir em secagem (natural ou forçada) para reduzir o teor de humidade para valores geralmente abaixo dos 20% [5.4.21], e na moagem para reduzir o tamanho da partícula para tamanhos normalmente inferiores a 3 mm [5.4.22].

Tendo em atenção o tipo de carvão que normalmente é utilizado em Portugal, principalmente carvão betuminoso proveniente da Colômbia, mas também de outras fontes, como a África do Sul ou os EUA, apresentam-se na Tabela 5.4.1 as características deste tipo de carvão, bem como da biomassa residual.

Tabela 5.4.1 - Características do carvão betuminoso originário da Colômbia, utilizado em Portugal e da biomassa residual (adaptado de [5.4.23])

	Carvão betuminoso *	Biomassa residual **	Unidades
PCI	7.85	2.80	kWh
Cinzas	< 11	< 3	%
Teor de humidade	< 5	< 30 **	%

* Dados fornecidos pela EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A.

** Após 2 meses de armazenamento em local abrigado.

A maioria dos testes de co-combustão foram realizados com carvão com uma densidade energética superior à da biomassa (tipo antracite). No entanto, o poder calorífico do carvão betuminoso utilizado em Portugal, apesar de ter um poder calorífico superior ao da biomassa, não é tão elevado como o da antracite, como se pode verificar na Tabela 5.4.1. Este facto pode implicar uma redução considerável no investimento necessário porque existe a possibilidade de utilizar a biomassa nos mesmos sistemas que foram desenhados para a alimentação do carvão à caldeira, especialmente os queimadores. Adicionalmente, é possível introduzir a biomassa de uma forma teoricamente simples, no centro da chama gerada pelo carvão, e é tecnicamente viável utilizar um tamanho de partícula superior ao do carvão. Isto implica uma redução do custo do pré-tratamento, em comparação com outros tipos de co-combustão [5.4.24].

5.4.3. Simulação teórica de co-combustão de biomassa residual na Central Termoelétrica de Sines

5.4.3.1. Central Termoelétrica de Sines

Esta central termoelétrica está localizada no concelho de Sines, próximo do Porto de Sines, onde o carvão é descarregado proveniente dos países produtores. Esta central é constituída por quatro grupos idênticos de geradores, com uma capacidade unitária de 314 MW cada. A construção desta central começou em 1979, e o primeiro gerador iniciou a sua operação em 1985, enquanto os restantes entraram em funcionamento em 1986, 1987 e 1989, respetivamente [5.4.25]. Na Figura 5.4.1 é apresentada uma panorâmica da central e da sua localização junto ao Porto de Sines, enquanto na Figura 5.4.2 são apresentados os quatro geradores da central.



Figura 5.4.1. Panorâmica da central e do Porto de Sines (www.edp.pt).



Figura 5.4.2. Quatro geradores da Central de Sines (www.edp.pt).

Cada grupo de geradores (Figura 5.4.3) que constitui a central inclui um grupo de vapor de circulação natural (GGV), um turbo alternador (GTA) e um transformador principal. O fornecimento de carvão que alimenta a central vem principalmente da Colômbia, mas também procede da África do Sul e dos EUA. O transporte por mar e a descarga ocorrem no Porto de Sines (Figura 5.4.4) para o parque de armazenamento de carvão, com uma capacidade para 1.500.000 toneladas. O transporte para o parque de armazenamento é feito por tapetes transportadores e por torres de transferência [5.4.26].



Figura 5.4.3. Pormenor dos grupos geradores que constituem a central (www.edp.pt).



Figura 5.4.4. Barco a efetuar a descarga de carvão para a Central Termoelétrica de Sines (www.edp.pt).

No parque de carvão (Figura 5.4.5), são formadas quatro baterias ativas com 150.000 toneladas de carvão cada e uma reserva de 700.000 toneladas. A capacidade total de armazenamento de carvão garante uma autonomia à central de cerca de 5 meses [5.4.27].



Figura 5.4.5. Panorâmica do parque de carvão e das baterias ativas (www.edp.pt).

Através de um conjunto de tapetes transportadores (Figura 5.4.6), o carvão é transportado para silos de metal localizados cerca do gerador de vapor. Uma vez nos silos, o carvão é descarregado para uma tolva, e daqui para um moinho onde é moído. Depois, o carvão pulverizado é transportado para a caldeira onde é queimado na câmara de combustão. A produção média de energia elétrica nos anos 2008-2011 [5.4.28] na central foi calculada como sendo aproximadamente 7.210 GWh.



Figura 5.4.6. Carvão a ser transportado pelos tapetes transportadores para a unidade de moagem.

5.4.3.2 Emissões atmosféricas de CO₂

A Central Termoelétrica de Sines tem um sistema interno de monitorização em contínuo, que controla as emissões para o ambiente. Atualmente, o sistema consiste em cinco estações de monitorização que controlam todos os poluentes gerados, incluindo metais pesados e partículas sólidas em suspensão. Existem sistemas de recolha de partículas nas chaminés da central, que contribuem para a redução das emissões de poeiras [5.4.29].

Os gases são tratados para reduzir os teores de SO_2 libertados para a atmosfera através das duas chaminés de 225 metros, que asseguram a dispersão atmosférica das partículas [5.4.30] (Figura 5.4.7).



Figura 5.4.7. Chaminés da Central Termoelétrica de Sines (www.edp.pt).

A análise teórica do modelo utilizado neste estudo baseou-se na quantidade média de eletricidade produzida nos últimos anos, o que permitiu o cálculo estimado da quantidade de CO_2 emitido para a atmosfera [5.4.31].

Utilizando-se como referência o fator de emissão de CO_2 de $0,980 \text{ kg/kWh}_e$ para carvões betuminosos [5.4.32]; a central termoelétrica terá emitido aproximadamente 7.065.800 toneladas de CO_2 anualmente para a atmosfera, sendo de longe a maior fonte de CO_2 de Portugal [5.4.25].

5.4.3.3 Redução das emissões com a co-combustão de biomassa

As inúmeras experiências recentes realizadas com co-combustão demonstraram que, apesar das vantagens ambientais que apresentam, demonstram que a produção de energia a partir de biomassa comparada com a produção a partir de combustíveis fósseis, entre as quais se destaca o balanço praticamente nulo de CO_2 , pode teoricamente conduzir ao aumento das emissões de outros contaminantes, por se estar a utilizar equipamentos que não foram projetados para este efeito [5.4.33].

Estes contaminantes foram monitorizados em tempo real em muitas das experiências realizadas, e foram comparados com os dados obtidos na combustão exclusivamente de carvão, nas mesmas caldeiras, e na maioria dos casos não se encontraram diferenças significativas na emissão de partículas e de outros contaminantes [5.4.34].

Para além disso, estes estudos também demonstraram que, dadas as características destes combustíveis (teor de enxofre inferior ao do carvão), as emissões de SO₂ diminuíram, bem como se verificou uma redução nas emissões de NO_x [5.4.35].

O modelo em análise neste estudo iniciou-se com o pressuposto de que seria substituído 15% do valor médio de produção de energia elétrica dos últimos anos da Central Termoelétrica de Sines, ou seja, 7.210 GWh.

Recorrendo ao valor para o poder calorífico inferior de 2,80 kWh/kg, muitas vezes referido em estudos como sendo o valor correspondente para diversas formas de biomassa resultante de operações de limpeza florestal [5.4.36], estimou-se que seriam necessárias cerca de 400.000 toneladas por ano de biomassa residual para substituir os 1.082 GWh equivalentes à substituição de 15% pelo combustível renovável.

A combustão da biomassa residual para a produção de energia liberta para a atmosfera 0,018 kg/kWh_e de CO₂ [5.4.37], pelo que a combustão de 400.000 toneladas por ano liberta cerca de 19.500 toneladas por ano de CO₂, de um total combinado de 6.025.430 toneladas por ano de CO₂, evitando a emissão de 1.040.370 toneladas por ano de CO₂.

5.4.3.4 Viabilidade económica

Os resultados analisados em muitos dos ensaios realizados, principalmente nos EUA e EU, confirmaram que o investimento necessário para a adaptação de uma central a carvão pulverizado para co-combustão de biomassa pode ser inferior ao que inicialmente se esperava. As razões para esta mais baixa necessidade de investimento são, por um lado, o facto de se poderem utilizar os mesmos equipamentos projetados para a utilização de carvão, especialmente os queimadores e fornalhas [5.4.38], e por outro lado, a possibilidade de utilizar a biomassa sem a necessidade de efetuar a secagem forçada. Se o secador não for necessário, o custo para o pré-tratamento diminui, assim como o custo operacional, pois não é necessário nenhum combustível adicional para este equipamento [5.4.39].

Apesar disto, os baixos investimentos e custos de operação não são suficientes para assegurar a viabilidade económica da co-combustão, uma vez que atualmente o custo da biomassa residual, mesmo que resultante de operações de limpeza florestal por terem tão baixa densidade, acarretam elevados custos de transporte, tornando-os mais caros do que o carvão. Assim, para se conseguir a viabilidade económica desta tecnologia será necessário haver a atribuição de incentivos aplicáveis à produção de energia elétrica a partir de biomassa. Estes incentivos são já atribuídos às centrais dedicadas a biomassa, mas não se prevê que o mesmo venha a suceder com a co-combustão [5.4.40].

A Figura 5.4.8 apresenta o preço por kWh do carvão betuminoso proveniente da Colômbia e da biomassa residual. Para a biomassa residual, assumiu-se um valor constante para os últimos 12 meses para o melhor preço de mercado, obtido através de uma consulta direta a diversos fornecedores, e que foi de 15,00€ por tonelada para a biomassa resultante de operações de limpeza florestal, fornecida sobre a forma de estilha, com uma dimensão média de 30x15x5 mm e uma humidade média de 30%. Assumiu-se um custo de transporte de 10,00€ por tonelada, prevendo-se uma distância máxima de 200 km da Central Termoelétrica de Sines. Esta distância define o limite máximo da área de fornecimento da central e também a área necessária para o fornecimento potencial das quantidades necessárias anualmente para o abastecimento da central.

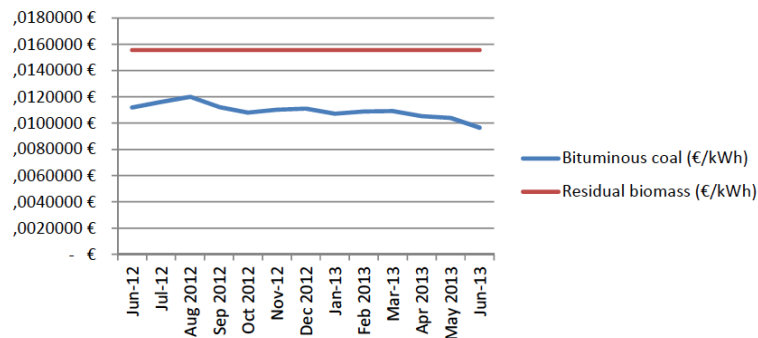


Figura 5.4.8. Comparação de preços entre carvão e biomassa residual (os preços para o carvão betuminoso foram consultados em www.indexmundi.com).

5.4.4. Conclusões

Da análise dos resultados obtidos nos inúmeros testes efetuados internacionalmente e nos muitos estudos desenvolvidos e que se encontram na bibliografia disponível, pode-se concluir que a co-combustão de biomassa em centrais termoelétricas que utilizam o carvão pulverizado como combustível é tecnicamente viável e pode aumentar a contribuição da energia de fonte renovável na produção de energia primária, ao mesmo tempo que se mantêm as vantagens ambientais da utilização de biomassa em vez de outros combustíveis de origem fóssil. Apesar de esta tecnologia ser aplicável a todas as centrais que utilizem carvão pulverizado, é particularmente interessante quando se utiliza a biomassa em simultâneo com carvões de baixo poder calorífico, como os carvões betuminosos, ao contrário do que acontece com carvões de elevado poder calorífico, como a antracite. Devido às semelhanças existentes em algumas das suas propriedades, é viável reduzir significativamente o investimento necessário e os custos de operação e manutenção, uma vez que é possível utilizar as estruturas já existentes e evitar a necessidade de secagem forçada da biomassa.

Apesar de tudo, o elevado custo da biomassa residual devido, por exemplo, aos custos de transporte, fazem com que atualmente, e mesmo tendo em conta as vantagens económicas anteriormente referidas, não seja viável economicamente a utilização da co-combustão em larga escala. Algo muito similar acontece com as centrais dedicadas a biomassa, mesmo contando com os incentivos para a produção de energia. Esta é uma das razões que explica o porquê de haver tão poucas centrais a biomassa em Portugal, utilizando como combustível uma mistura de biomassa residual e rolaria, especialmente de pinheiro, de forma a reduzir os custos com combustível e tentar rentabilizar as centrais.

Por outro lado, se um incentivo for definido para a produção de energia elétrica com biomassa em co-combustão, esta tecnologia poderia ser viabilizada economicamente com os atuais preços de mercado da biomassa residual, e que permitiria uma utilização mais alargada da biomassa. Tais incentivos justificam-se pelos enormes benefícios ambientais que a utilização da biomassa pressupõe, em comparação com a utilização de combustíveis de origem fóssil, como se demonstrou no cálculo efetuado neste estudo, com uma redução potencial de 1.000.000 toneladas por ano nas emissões de CO₂.

5.5. Conversão de biomassa através da torrefação

5.5.1. Enquadramento

A torrefação de biomassa é um processo de refinamento e de pré-processamento térmico que presentemente atrai muito interesse e atenção. Este processo utiliza temperaturas entre 200 e 350°C e assemelha-se muito ao processo de torrefação do café. A biomassa torrificada resultante é uma excelente forma de combustível sólido, sendo um produto intermédio entre a biomassa convencional e o carvão vegetal, apresentando diversas vantagens em termos do melhoramento das características intrínsecas dos materiais. A Tabela 5.5.1 apresenta uma compilação das vantagens e das desvantagens apontadas normalmente à torrefação, e também os aspetos que necessitam de mais desenvolvimento, de forma a garantir o sucesso comercial das tecnologias [5.5.1].

Desde os dois períodos de “redescobrimto” da torrefação, 1984, com os trabalhos franceses, e em 2002, com os trabalhos holandeses, os cientistas e engenheiros reuniram extensa informação experimental sobre a forma como diferentes tipos de biomassa podem ser beneficiados com a torrefação [5.5.1]. Normalmente, o processo aumenta o poder calorífico, a resistência à água, a friabilidade e a facilidade da biomassa ser moída. Posteriormente, o produto pode ser densificado em *pellets* ou *briquettes* para se obter maior densidade energética, ou eventualmente moído para a utilização final pretendida.

Com o processo térmico a presença biológica é destruída, reduzindo o risco de degradação e de combustão espontânea, bem como a possibilidade de disseminação de espécies invasivas e não autóctones. A biomassa final em pó assemelha-se muito ao carvão pulverizado, no que respeita ao abastecimento e ao seu comportamento no processo de combustão, facilitando potencialmente a utilização de biomassa em unidades de conversão térmica, novas ou já existentes, que utilizam tecnologias que suportam combustíveis pulverizados em grande escala. Os problemas relacionados com a produção de cinzas na combustão podem ser significativamente reduzidos, através da utilização de misturas bem estudadas, bem como pela separação do cloro durante a torrefação [5.5.2].

Assim, a torrefação é um processo de pré-tratamento da biomassa que se adapta perfeitamente a uma utilização o mais inicialmente possível na cadeia de abastecimento dos sistemas de conversão de biomassa, de forma a maximizar as vantagens logísticas e de manuseamento dos sistemas. A torrefação pode reduzir significativamente os custos com moagem, armazenamento, transporte e outros custos relacionados com a logística, ao mesmo tempo que melhora as características de armazenamento da biomassa, reduz os problemas relacionados com a produção de cinzas, facilita o comércio de biomassa para energia, reduz o impacto nas alterações climáticas de toda a cadeia de abastecimento de biomassa, viabiliza financeiramente a conversão em grande escala para sistemas de biomassa, e acelera o desenvolvimento industrial de refinamento de biomassa como matéria-prima [5.5.3].

A torrefação será muito útil para a substituição de combustíveis em centrais que utilizam combustíveis fósseis, mas também na conversão eficiente de sistemas para uma variedade de outros produtos “verdes”, como por exemplo a produção de gases de síntese para produção de calor e de energia elétrica, ou mesmo a produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa [5.5.4]. No entanto, apesar das diversas vantagens técnico-económicas estarem bem documentadas e validadas, ainda existem algumas incertezas associadas a desafios e áreas de desenvolvimento, tal como apresentado na Tabela 5.5.1.

Todos os objetivos já atingidos devem, também, ser alvo de validação à escala industrial, ou seja, após densificação, transporte e armazenamento, e também na utilização final, com a moagem, comportamento nos queimadores e na totalidade do processo de combustão. Muito poucos testes de escala industrial completos, incluindo toda a cadeia de abastecimento da biomassa até à utilização final, foram conduzidos com sucesso. São também necessárias mais análises económicas de todo o processo. O objetivo deste trabalho é apresentar um sumário sobre o estado-da-arte da torrefação, biomassa torrificada, tecnologias e o estado atual do desenvolvimento industrial e comercial da tecnologia.

Tabela 5.5.1. Vantagens da torrefação e desafios (adaptado de [5.5.4]).

Vantagens	Desafios e áreas de desenvolvimento
Características melhoradas do produto	
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da densidade energética a granel quando combinado com densificação • Aumento do poder calorífico • Redução do teor de oxigénio • Natureza seca e hidrofóbica • Redução da presença biológica • Redução do teor de cloro • Aumento da friabilidade, redução dos custos com a moagem e redução do tamanho das partículas, aumento da área superficial das partículas • Aumento da homogeneidade e da qualidade • Combustão mais limpa com menos emissões ácidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de investimento • Custos de manutenção • Custos operacionais • Balanço (perdas de energia) • Qualidade do produto densificado • Não está comercialmente disponível • Armazenamento • Nem o processo nem o produto estão completamente comprovados industrialmente
Benefícios do sistema	
<ul style="list-style-type: none"> • O refinamento do processo facilita a gasificação • Permite taxas de co-combustão maiores • Facilita o abastecimento • Integração com unidades de ciclo combinado 	

5.5.2. História do processo de torrefação

5.5.2.1. Origem do processo de torrefação

A torrefação é um processo de pirólise lenta e de baixa temperatura, não muito diferente do utilizado nas pilhas de produção de carvão vegetal, usado como agente redutor nos primórdios dos processos metalúrgicos, ou seja, o início da revolução industrial. No entanto, o desenvolvimento do processo de torrefação só começou com a produção de café, no final do século XIX, como documentado nas primeiras patentes de Thiel (1897) e Offrion (1900) [5.5.5]. Mais algumas patentes na área da torrefação podem ser encontradas nos seguintes períodos:

- 1922 - 1925 (3)
- 1930 - 1932 (3)
- 1939 - 1952 (10)

Alguns trabalhos de investigação sobre torrefação, ainda nos anos 30 do século XX, dedicaram-se à produção de combustíveis gasosos. Durante a primeira metade e meados do século XX apenas esporadicamente surgem trabalhos dedicados à torrefação de biomassa para energia.

No entanto, mais informação e dados fundamentais sobre tratamentos térmicos de materiais lignocelulósicos podem ser encontrados a partir deste período, principalmente sobre secagem de alta temperatura, destilação seca, degradação térmica, pirólise, estabilização térmica e preservação de madeira [5.5.6].

5.5.2.2. Trabalhos modernos sobre torrefação (1980 - ...)

O desenvolvimento dos trabalhos modernos na área da torrefação pode ser dividido nos trabalhos pioneiros franceses documentados por Armines (1980, 1982, 1985, 1986) e Bourgois et al. (1984, 1988, 1989), durante os anos de 1981 a 1989, e os recentes e extensos esforços levados a cabo por um elevado número de grupos, iniciados pelo trabalho dos cientistas e engenheiros da Universidade de Tecnologia de Eindhoven e do centro holandês para a energia (ECN) [5.5.7]. Nos finais dos anos 80, os trabalhos iniciais franceses deram origem a uma unidade demonstrativa em França, onde a torrefação foi utilizada para produzir um agente redutor para a indústria metalúrgica. A unidade foi construída pela empresa Pechiney e operada durante alguns anos, até ser desmantelada por motivos económicos [5.5.8]. Deve ser mencionado e reconhecido que outros trabalhos científicos foram levados a cabo neste período, paralelamente aos trabalhos franceses e holandeses [5.5.9 - 5.5.14].

Os esforços mais recentes e atuais de I&D levados a cabo sobre torrefação são extensos, com um grande número de grupos de I&D a trabalhar dedicadamente sobre torrefação, como se comprova pelo crescente número de publicações. O número de publicações científicas sobre torrefação e pirólise de biomassa indexados na ISI Web of Science, no período de 2009 - 2011 foram compilados, demonstrando o interesse crescente no tema [5.5.15]:

- 11 (596) 2009
- 9 (641) 2010
- 38 (739) 2011

Por outro lado, também há um crescente número de relatórios técnicos e apresentações de conferências publicadas. No entanto, os relatórios sobre torrefação correspondem apenas a 5% dos estudos produzidos, comparativamente aos estudos sobre pirólise de biomassa [5.5.16]. Surpreendentemente, já se realizou um grande esforço na compilação de toda a informação existente, em diversos trabalhos de revisão, todos com enfoque em diversas áreas específicas. Por exemplo, foram publicadas introduções ao tema da torrefação, onde se incluem breves revisões sobre a história da torrefação e muitos dos dados reunidos pelos autores holandeses, que catalisaram os desenvolvimentos mais recentes sobre a torrefação [5.5.17 - 5.5.18]. Foram escritos artigos de revisão sobre o processo de torrefação, com ênfase para os constituintes da biomassa e as suas reações (despolimerização, volatilização e carbonização) [5.5.19].

Foram realizadas revisões com extensa compilação de dados sobre torrefação de biomassa [5.5.20]. Por outro lado, as tecnologias propostas e utilizadas para torrefação estão compiladas ou ilustradas em diversos artigos [5.5.21 - 5.5.23]. O recente trabalho desenvolvido pelo programa sueco para o estudo da torrefação também foi compilado [5.5.24]. Outros trabalhos sobre torrefação e processos similares, como a preservação e conservação de madeira por tratamento térmico a baixa temperatura e longos tempos de residência, foram revistos e publicados em inúmeros trabalhos [5.5.25 - 5.5.28]. Os importantes aspetos dos efeitos da torrefação na economia da cadeia de abastecimento de biomassa, e sobre a importância da torrefação para os sistemas de conversão termoquímicos, também foram recentemente compilados [5.5.29 - 5.5.30].

5.5.3. Processo de torrefação de biomassa

Ao aquecer-se a biomassa no intervalo de temperaturas de 200 - 350°C, numa atmosfera pobre em oxigénio, durante um período de tempo apropriado, muitas das propriedades das matérias-primas vão ser alteradas e a qualidade do combustível vai melhorar significativamente [5.5.31]. Os tempos de residência inicialmente sugeridos e estudados, rondavam 0,5 - 2 horas, mas podem ser consideravelmente inferiores se se utilizam temperaturas de torrefação superiores (280 - 350°C), e se o processo for cuidadosamente controlado em termos de humidade inicial, tempo de residência e temperatura. O processo de torrefação Torbed, da Topell, pode ser um exemplo de um processo que completa o ciclo em menos de 2 minutos [5.5.32]. Demonstrou-se também que é possível utilizar tempos de residência inferiores a 10 minutos, para estilha de madeira e resíduos com espessuras inferiores a 10 mm, em fornos rotativos ou em processos que utilizam reatores com sem-fim [5.5.33]. Durante o processo de torrefação, os constituintes da biomassa vão começar a decompor-se, e uma pequena fração da biomassa, enriquecida em oxigénio, volatiliza e forma um gás de torrefação que contém diferentes espécies condensáveis e não condensáveis [5.5.34].

As partes fundamentais de um sistema de torrefação incluem a secagem, a torrefação, arrefecimento e subsequente densificação, para otimizar as características do produto. No entanto, há atualmente diversas tecnologias, distintas e interessantes, sugeridas e avaliadas por várias iniciativas industriais, que trabalham no desenvolvimento de tecnologias de torrefação.

É sempre preferível recorrer-se à secagem inicial antes do processo de torrefação, de forma a preservar o poder calorífico dos gases de torrefação, evitando a sua diluição com o vapor de água [5.5.35]. Para processos isolados, o calor necessário para a moagem e para a torrefação é normalmente gerado a partir da energia química contida nos gases de torrefação, através da combustão.

Ao contrário dos equipamentos de limpeza de gases, os equipamentos relacionados com a circulação de gases de torrefação são mantidos a uma temperatura suficientemente alta para evitar condensações e deposições extensas [5.5.36]. A biomassa torrificada pulverizada pode ser uma boa opção como combustível auxiliar e de arranque. O calor é preferencialmente transferido utilizando os gases quentes e câmaras de mistura para reduzir os custos de investimento, mas alguns tipos de permutadores também podem ser utilizados. O processo de torrefação pode ser aquecido direta ou indiretamente, sendo o último o mais indicado devido ao melhor aproveitamento da energia dos gases [5.5.37].

Se possível, os gases de torrefação de elevado poder calorífico devem ser utilizados com algum cuidado. Para processos de torrefação otimizados e integrados com a produção de energia ou produtos químicos, o gás de torrefação pode servir, por exemplo, para a produção de derivados “verdes” e calor residual, em vez de ser usado para secagem e processos de torrefação. Para uma boa performance exergetica, todo o calor pode ser usado num secador de baixa temperatura, em vez da utilização de secadores de alta temperatura. Além disso, devido à natureza friável do material torrificado, a redução do tamanho antes do processo de densificação também poderá, dependendo das circunstâncias e do tipo da densificação a realizar, ser excluída, mas esta questão necessita de mais avaliação [5.5.38].

5.5.3.1. Balanços de energia e de massa

A torrefação caracteriza-se primeiro pelo cálculo dos balanços de massa e energia [5.5.39]. Valores típicos como balanço final de 70% de massa e 90% de energia têm sido apontados para ilustrar os benefícios do processo de torrefação, ou seja, obtém-se um poder calorífico significativamente superior.

No entanto, estes valores não são universalmente atingíveis. Diversos balanços e rendimentos de massa foram compilados em diversos trabalhos, onde se registaram variações entre 29 e 98%, para diferentes matérias-primas e temperaturas entre 250 e 300°C, com tempos de residência entre 30 e 60 minutos [5.5.40].

Normalmente, a maioria dos processos são operados com balanços de massa compreendidos entre 60 e 90%, com o correspondente balanço para a energia entre 70 e 95%. Recentemente, foram determinados intervalos, para materiais lenhosos, com tempos de residência curtos (4 a 25 minutos) e temperaturas mais elevadas, que oscilaram, respetivamente, para balanços de massa e energia, entre 41-97% e 57-95% [5.5.41].

Alguns estudos paramétricos realizados em materiais lenhosos comuns mostraram que os efeitos da temperatura e do tempo de residência são geralmente os fatores apresentados como os mais importantes e significativos, enquanto os efeitos do N, vapor de água e espessura do material são apresentados como tendo pouca ou nenhuma importância [5.5.42 - 5.5.43].

5.5.3.2. Características dos produtos sólidos

5.5.3.2.1. Alterações na composição elementar

A biomassa torrificada é, normalmente, castanho-clara a escura, dependendo das condições do processo, e preta se for muito torrificada.

As alterações elementares dos materiais biomássicos, quando torrificados, são bastante extensos e diversificados. Uma maior perda de oxigénio e hidrogénio, comparativamente ao carbono, conduz a um aumento do teor de carbono. Para ilustrar estas alterações, utiliza-se frequentemente um diagrama de van Krevelen (Figura 5.5.1).

A biomassa seca tem, normalmente, relações H:C de 1,4 - 1,6, e as relações O:C de 0,55 - 0,75, dependendo do tipo de materiais utilizados. Com o aumento do grau de torrefação, os processos químicos consistem basicamente numa “*desidratação elementar*” dos materiais, até atingir a composição do carvão, passando pela da hulha e pela da lenhite [5.5.44]. Como já foi descrito anteriormente, o processo não consiste numa desidratação que produz apenas água, mas sim um elevado número de espécies gasosas enriquecidas em O e H, lembrando uma espécie de efeito de desidratação elementar total [5.5.45].

Deve ser referido claramente que diferentes formas de biomassa se comportam de forma distinta durante a torrefação. Apesar de se conseguirem obter as mesmas características no material torrificado com diferentes espécies de biomassa, as temperaturas específicas, os tempos de residência e os processos de arrefecimento necessários para as diferentes espécies, podem variar significativamente.

Não se encontraram referências na literatura acerca de alterações nos teores de azoto e elementos constituintes das cinzas, com exceção do enriquecimento devido à perda de voláteis. No entanto, foi reportada uma separação muito interessante de cloro para dois materiais, com condições de torrefação acima dos 300°C [5.5.46 - 5.5.43].

A confirmar-se a mesma situação para outros combustíveis problemáticos, poderá ser um melhoramento substancial para um dos mais sérios problemas relacionados com estas matérias-primas. Os cloretos alcalinos induzem a formação de depósitos e corrosão, que já foram extensivamente relatados pela comunidade industrial e científica. A torrefação pode potencialmente ser um avanço para resolver o problema dos cloretos alcalinos. Alguns estudos também referem a mesma tendência de comportamento para o enxofre [5.5.47].

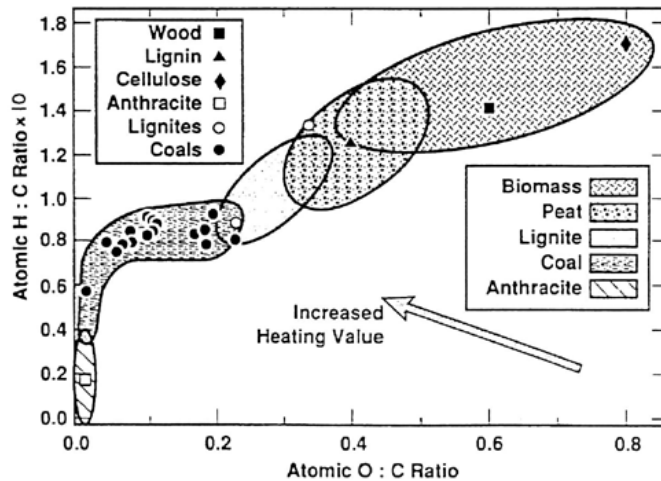


Figura 5.5.1. Diagrama de van Krevelen ilustrando as alterações elementares na composição de combustíveis de madeira torrificada [5.5.43; 5.5.48; 5.5.49].

5.5.3.2.2. Poder calorífico e teor de voláteis

A relativamente elevada perda de oxigênio e enriquecimento de carbono no material sólido, resultam num aumento significativo do poder calorífico do produto final. Estas condições também variam extensivamente com os parâmetros da torrefação, com variações entre 16,4 e 26,4 MJ/kg [5.5.40]. Comparado com a biomassa original, o incremento do poder calorífico até 58% tem sido descrito em diversos trabalhos. O teor de matéria volátil também diminui com a torrefação. A matéria volátil na biomassa oscila entre 80 e 88%, e com a torrefação reduz-se entre 1,5 a 35% dos valores originais [5.5.40]. Os efeitos da temperatura de torrefação são geralmente superiores aos efeitos do tempo de residência, mas ambos têm um impacto substancial no resultado final da torrefação [5.5.50].

5.5.3.2.3. Friabilidade, resistência à moagem e características do material pulverizado

As típicas características fibrosas e de resistência da biomassa não tratada são parcialmente impeditivas para a sua utilização direta em sistemas avançados de energia, como a co-combustão com carvões, ou sistemas de conversão de biomassa para líquido (BtL), baseados em processos de gasificação contínua. O aumento da friabilidade e de resistência à moagem após torrefação, juntamente com as características finais do pó resultante, adquirem um interesse muito especial. A friabilidade, em termos do aumento da produção de finos e dos menores consumos energéticos, no que respeita à moagem, foram bem documentados relativamente a um grande número de tipos de biomassa e condições de torrefação [5.5.40; 5.5.17; 5.5.17]. A energia necessária à moagem é geralmente reduzida até 90%, dependendo do tipo de biomassa e grau de torrefação.

5.5.3.2.4. Características de abastecimento/fornecimento

As propriedades físicas significativamente alteradas e a friabilidade aumentada influenciam as características do pó resultante após a moagem. A distribuição do tamanho das partículas altera-se para dimensões inferiores, com o aumento da esfericidade e área superficial, propriedades que são vantajosas para os sistemas de abastecimento/fornecimento, combustão e processos de gaseificação. Num estudo sobre sistemas de alimentação de biomassa a processos de gaseificação contínuos, onde foram avaliados os efeitos dos diferentes processos de pré-tratamento na capacidade de abastecer/fornecer os produtos a sistemas com altas pressões e temperaturas, concluíram que tanto o pó de material torreficado, como suspensões baseadas em material torreficado, são caminhos promissores para a introdução de biomassa nos processos [5.5.51]. No entanto, é necessário realizar mais trabalhos para avaliar as características dos diferentes fluidos sólidos, suspensões e pastas de materiais originados com diferentes tipos de biomassa e produzidos em diferentes condições de torrefação, e realizar verdadeiros testes em escala piloto industrial com diferentes opções de abastecimento/fornecimento aos sistemas.

5.5.3.2.5. Propriedades hidrofóbicas e resistência a fungos

Diversos estudos reportaram melhorias significativas relativamente à resistência à água para os materiais torreficados, produzidos nesses estudos, e de que se apresenta um exemplo nas Figuras 5.5.2 e 5.5.3.



Figura 5.5.2.a. Ilustração da resistência à água do material torreficado e *pelletizado*, comparado com *pellets* de biomassa não tratada, após 5 minutos de imersão em água.



Figura 5.5.2.b. Ilustração da resistência à água do material torreficado e *pelletizado*, comparado com *pellets* de biomassa não tratada, após uma hora de imersão em água.

Apesar de já se encontrarem disponíveis um número considerável de relatórios sobre o melhoramento das propriedades hidrofóbicas dos materiais torreficados não densificados, muito pouca informação está disponível sobre os produtos densificados (*pellets* e *briquettes*), no que respeita a transporte e armazenamento. É razoável assumir-se que a superfície dos materiais que saem da torrefação apresenta máxima resistência à água, mas se o material é moído e densificado a nova superfície pode apresentar outro tipo de resultados [5.5.52]. Os dados que estão disponíveis sobre materiais torreficados densificados ainda indicam melhoramentos significativos, em comparação com a biomassa original.

Por exemplo, num estudo está relatado que foram submersos *pellets* de biomassa torrificada durante 15 horas, onde se incorporaram apenas 7 a 20% de água e que não sofreram desintegração, em comparação com o comportamento catastrófico dos *pellets* convencionais [5.5.53]. Outros trabalhos apontam absorções de água de até 25%, por parte dos *pellets* de biomassa torrificada, em comparação com os *pellets* de biomassa não tratada termicamente [5.5.17]. No entanto, existem indicações que as propriedades hidrofóbicas dos materiais densificados não são tão favoráveis como as da biomassa torrificada, e podem também variar dependendo das condições de torrefação e densificação [5.5.54]. É necessário mais trabalho em testes de escala industrial, sobre os materiais densificados (fazendo variar as condições de torrefação), sob condições relevantes e repetíveis de humidificação (e arrefecimento/congelamento) por longos períodos.

5.5.3.2.6. Composição molecular e alterações

Os recursos de biomassa lignocelulósica, como os combustíveis de madeira, resíduos agrícolas e culturas energéticas dedicadas, são todos compostos por polímeros de celulose, hemicelulose e lenhina. Por exemplo, a madeira de abeto é tipicamente constituída por 40% de celulose, 31% de hemicelulose e 27% de lenhina, com outros compostos a constituírem os 2% residuais. A torrefação afeta todos estes constituintes principais, dependendo do grau de torrefação a que foram submetidos [5.5.55].

Um interessante trabalho sobre as transformações moleculares dos constituintes da madeira durante o processo de torrefação foi recentemente publicado [5.5.56]. Muita informação útil pode ser também encontrada na literatura sobre preservação da madeira por tratamento térmico [5.5.57], para intervalos de baixa temperatura, e a partir de trabalhos sobre pirólise, para intervalos mais elevadas de temperatura [5.5.58]. Em resumo, a transformação/decomposição dos componentes químicos da madeira pode seguir uma sequência do tipo:

- Clivagem dos grupos acetil a partir da hemicelulose, que induzem a despolimerização dos polissacarídeos da madeira;
- Reações de desidratação com a destruição de numerosos grupos hidróxilos;
- Demetoxilação das moléculas de lenhina com libertação de ácido acético, metanol e furfural;
- Modificação do sistema de pontes de hidrogénio na lenhina e modificações das ligações dos anéis aromáticos da lenhina.

Durante o aquecimento inicial, ao exceder os 120°C a água residual ligada às macromoléculas da madeira (principalmente hemicelulose e celulose), que requer uma quantidade adicional de energia extra para se evaporar, é libertada da biomassa [5.5.56].

Noutros estudos já foram identificados cerca de 20 espécies diferentes de gases orgânicos adicionais, já a 210 - 230°C [5.5.24]. No entanto, a extensão da degradação dos polímeros da madeira é muito limitada com estas baixas temperaturas. A desacetilização da hemicelulose foi claramente observada a 230°C, resultando na formação de ácido acético [5.5.56], também identificado noutro estudo pouco acima dos 210°C com abeto norueguês [5.5.24]. A degradação completa da hemicelulose ocorre por volta dos 245°C. A celulose amorfa pode recristalizar parcialmente a temperaturas mais baixas, entre os 200 - 245°C. A degradação da celulose começa por volta dos 240°C e termina quando se atingem os 300°C. Pequenas alterações a lenhina (demetoxilização) podem ocorrer a temperaturas tão baixas como 200 - 270°C, mas a degradação da lenhina é limitada em temperaturas normais de torrefação [5.5.56]. A estabilidade da celulose e a degradação da hemicelulose estão bem documentadas por dados recentes sobre a quantificação do teor de monossacarídeos em materiais torreficados, expostos a diferentes condições de torrefação. A glucose, o bloco construtor da celulose e parte da hemicelulose, continua a existir após ser submetida a condições de torrefação moderadas, enquanto que a manose, xilose, galactose e arabinose, que constituem uma grande fração da hemicelulose, já não. A temperaturas superiores a 320°C, no entanto, nem a glucose mais estável permanece [5.5.57]. A quantidade de produtos que se podem extrair (principalmente gases), presentes na biomassa, decresce cerca de 10% durante o tratamento térmico a 260°C durante 15 minutos e continua a decrescer com tempos de residência maiores [5.5.58].

5.5.3.3. Gases Produzidos

Nas compilações sobre balanços de massa e nas quantidades formadas de gases permanentes e condensáveis, encontradas na literatura, verifica-se que a tendência clara é que com o aumento do grau de torrefação, as quantidades de componentes condensáveis e de gases permanentes aumenta. Quanto maior for o tempo de residência durante a torrefação, maior será também a fração de condensáveis formada [5.5.59; 5.5.23; 5.5.24].

5.5.3.3.1. Gases permanentes

Os gases permanentes, também chamados de gases incondensáveis, são espécies gasosas que permanecem gasosas mesmo em condições normais, e incluem por exemplo CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂, O₂, e alguns poucos compostos orgânicos. As concentrações das principais componentes dos gases permanentes, CO₂ e CO, aumentam com o aumento do grau de torrefação e são formadas em quantidades de pouco peso percentual, com o CO a representar 10 - 30% dos níveis de CO₂, dependendo das condições de torrefação e tipos de biomassa [5.5.59; 5.5.60; 5.5.61; 5.5.62; 5.5.24]. Em graus de torrefação mais elevados, também se detetou metano em baixas concentrações, e as quantidades relativas de CO e CH₄ aumentam.

5.5.3.3.2. Gases condensáveis

De forma simplificada, a fração condensável consiste basicamente em água, ácido acético, metanol, furfural, hidroxiacetona e fenóis [5.5.59; 5.5.63; 5.5.24]. A água é formada pela reacção de desidratação da hemicelulose, e o ácido acético é formado pela clivagem (termólise) dos grupos acetílicos, em particular da hemicelulose [5.5.64 - 5.5.65]. A origem do metanol e do furfural pode ser a demetoxilação da lenhina [5.5.56; 5.5.66; 5.5.67].

A baixas temperaturas de torrefação (<260°C) e tempos de residência curtos, apenas alguns componentes gasosos condensáveis são volatilizados a partir da biomassa, através da desidratação da biomassa e da degradação da hemicelulose [5.5.24]. Exemplos de componentes presentes em maiores concentrações são: metanol, furfural, acetaldeído, furanos e metilacetato. O ácido acético não foi detetado em torrefação de baixo grau.

Aumentar o grau de torrefação (270°C-290°C) resulta no aumento do teor de água e um significativamente maior número de produtos de decomposição, agora resultantes dos três componentes da madeira: hemicelulose, celulose e lenhina. Alguns dos mais comuns componentes orgânicos nos gases de torrefação são o ácido acético, água e hidroxiacetona, metanol, furfural, butadieno e acetaldeído [5.5.24].

À temperatura de torrefação de 300°C, ou superior, os componentes originados a partir da decomposição da lenhina são encontrados mais frequentemente. Os produtos da decomposição a partir da hemicelulose e celulose ainda estão presentes, mas já não são os componentes dominantes. Exemplos dos componentes orgânicos mais comuns nos gases de torrefação acima dos 300°C são: ácido acético, água, hidroxiacetona, álcooldihidroconiferil, engenol, guauacilacetona, 1,4:3,6-Dianidro- α -d-glucopiranosose, isoengenol, etilguaiacol e guaiacol. Nestas condições de torrefação mais severas, tanto a hemicelulose como a celulose, mas também a lenhina, se decompõe num extenso número de compostos fenólicos e produtos resultantes da decomposição de polissacarídeos [5.5.24].

Apesar do gás ser de alto valor contendo químicos potencialmente “verdes” e elevado valor energético, a aplicação típica é a utilização em combustão para gerar calor para os processos de secagem e de torrefação. É por isso interessante calcular o poder calorífico do gás e a temperatura adiabática da chama durante a combustão do gás. É necessária uma temperatura adiabática da chama suficientemente alta para uma combustão e processo de geração de calor eficientes. Devido à elevada carga orgânica do gás e ao longo tempo de residência a cerca de 300°C, onde potencialmente se formam os policloreto orgânicos, são necessários esforços adicionais para garantir uma combustão eficiente. Isto implica que o gás tenha um poder calorífico suficientemente elevado, exista suficiente reforço refractário e suficiente tempo de residência.

Pode ser permitido um teor de humidade máximo de 10-15% na matéria-prima que entra no processo de torrefação, e que mesmo assim dá origem a um gás com suficiente poder calorífico para uma combustão segura. O nível crítico exato de humidade é, no entanto, significativamente influenciado pelas condições de torrefação e tipos de matérias-primas utilizadas.

5.5.4. Processos de refinamento adicionais

5.5.4.1. Lavagem

Devido às características hidrofóbicas do material torreficado, é possível apresentar alguns tipos de processos de lavagem para separar os elementos potencialmente formadores de cinzas, do material torreficado. Existem fortes razões para acreditar que uma fração significativa de elementos solúveis em água pode ser separada, sendo esta uma ideia muito interessante. Diversas iniciativas tentaram, mas até ao momento apenas se conseguiram resultados muito limitados destas experiências, que fossem publicadas ou provadas industrialmente. É necessária mais validação para materiais de biomassa, assim como estimativas de custos em termos dos investimentos necessários, perdas de material fino lixiviado, tratamento da água do processo e aumento da humidade do produto [5.5.65].

5.5.4.2. Densificação

As vantagens logísticas e de manuseamento máximas dos processos de torrefação não são atingidas enquanto o material torreficado não for compactado num produto densificado. Tradicionalmente, este processo foi limitado à *pelletização*, mas outros processos de densificação como as prensas de *briquettes*, prensas de cubos, extrusores de sem-fim, prensas de rolos, prensas de tabletes e aglomeradoras, têm sido e continuam a ser avaliadas [5.5.66].

A densidade energética a granel para *pellets* de material torreficado tem sido reportada como estando no intervalo entre 13-20 GJ/m³, que no seu melhor resultado quase dobram o valor dos *pellets* tradicionais. Os valores correspondentes para *briquettes* são inferiores, assim como são inferiores as capacidades de produção das máquinas de *briquettes*. Existem, no entanto, diversas outras vantagens na produção de *briquettes* e, por isso, existem diversas iniciativas industriais que presentemente consideram o processo de produção de *briquettes* como uma alternativa fiável.

5.5.4.2.1. Pelletização

Inicialmente, a *pelletização* foi considerado o melhor método de densificação, e a maioria das unidades piloto e demonstrativas está equipada com sistemas de produção de *pellets*.

O ECN, na Holanda, rapidamente mostrou que a *pelletização* é um método de compactação muito interessante. Desde então, muitos tipos diferentes de biomassa foram torreficados e *pelletizados* no ECN [5.5.67]. Mais dados recentes foram publicados por outros investigadores demonstrando essa possibilidade [5.5.68; 5.5.69; 5.5.70]. As três unidades industriais holandesas que estavam em operação até há relativamente pouco tempo tinham instaladas linhas de produção de *pellets*. Uma série de estudos que utilizaram prensas de *pellets* de escala laboratorial de diferentes tipos, também estão disponíveis com informação fundamental muito útil para a descrição dos processos [5.5.71]. Muito poucos estudos de campo e de grande escala com valor industrial direto, em termos de densidades energéticas atingíveis, durabilidade, propriedades hidrofóbicas e custos com moagem, foram publicados até ao momento.

Os especialistas em controlo do processo de torrefação e densificação afirmam que a produção de *pellets* e *briquettes* representa um avanço significativo, e que são necessários ainda alguns avanços na otimização e afinação do processo. A experiência genérica obtida a partir de diversas iniciativas e unidades de produção industrial vão no sentido de que a *pelletização* de materiais torreficados está associada a problemas severos e muitos desafios. Estas iniciativas debatem-se atualmente em colocar o processo de *pelletização* a trabalhar eficientemente em larga escala, especialmente em conseguir atingir a capacidade de produção desejada e consumos de energia pretendidos. Neste campo, foram reportados diversos tipos de problemas, incluindo grandes problemas na densificação e nas propriedades ligantes dos materiais (sem recurso a ligantes, apenas se encontram produções limitadas até ao momento), aumento significativo da fricção e consumo de energia com a utilização de material torreficado, até problemas relacionados com a qualidade dos *pellets*, como por exemplo a produção de finos ou a sua durabilidade, bem como garantias de qualidade dos produtos finais [5.5.72].

Num estudo recente foram analisados 15 ensaios de compactação em pequenos projetos, todos com resultados positivos em termos de sucesso de compactação, mas também indicaram o aumento da fricção e a necessidade de otimizar a qualidade do produto, por exemplo em termos da durabilidade [5.5.73]. As principais conclusões desse estudo apontam para o seguinte:

- A fricção entre os equipamentos de compactação e a biomassa é, normalmente, significativamente aumentada pela torrefação, sendo por isso usados equipamentos com menores taxas de compressão (menores comprimentos do canal de extrusão) para os materiais torreficados, compensando, assim, o aumento da energia de fricção;
- A adição de água foi usada como um grau de liberdade adicional na otimização do processo de densificação;
- A temperatura também pode ser usada para a otimização do processo;

- Outra importante conclusão é o facto de diversas iniciativas, projetos e autores, referirem a dificuldade de *pelletizar* materiais submetidos a elevados graus de torrefação. Como o processo de torrefação é exotérmico e geralmente muito difícil de controlar, muitos dos materiais torreficados produzidos até ao momento foram excessivamente torreficados, ou seja, torreficados/pirolisados num regime onde também a lenhina sofre alterações significativas e se aproximam das características do carvão vegetal.

Tanto este último trabalho como os do ECN apontam no sentido de que se conseguem *pelletizar*, até facilmente, os materiais que foram submetidos a baixos graus de torrefação. Há razões para acreditar que os processos e métodos de compactação necessitam de materiais torreficados de qualidade, para os quais é crucial o controlo do processo de torrefação, e que é necessário mais trabalho de otimização, incluindo a combinação das variáveis torrefação e densificação.

Os primeiros testes de densificação de biomassa torreficada realizados em Portugal remontam a 2012. Nesses testes, foram densificados cerca de 100 kg de biomassa torreficada, proveniente dos EUA, e que foram o arranque de um projeto que conduziu à construção da primeira unidade piloto demonstrativa de escala industrial, em Portugal [5.5.70].

Estes testes pioneiros, realizados numa pequena unidade de produção de *pellets* de biomassa localizada no Norte de Portugal, permitiram indagar da possibilidade real da *pelletização* enquanto técnica de densificação preferencial para a unidade de torrefação em projeto, nomeadamente confirmaram-se as dificuldades encontradas em outros ensaios. Nas Figuras 5.5.3, 5.5.4, 5.5.5, 5.5.6, 5.5.7 e 5.5.8 descrevem-se os passos efetuados neste ensaio.



Figura 5.5.3. Estilha biomassa torreficada utilizada no ensaio.



Figura 5.5.4. Preparação da amostra e homogeneização da mesma, antes de ser introduzida no processo industrial.



Figura 5.5.5. Introdução da amostra no processo industrial por transporte pneumático para ser submetida à moagem.



Figura 5.5.6. Equipamento de *pelletização* usado neste ensaio.



Figura 5.5.7. *Pellets* de biomassa torrificada à saída da *Pelletizadora*.



Figura 5.5.8. *Pellets* de biomassa torrificada produzidos no ensaio.

5.5.4.2.2. Produção de *briquettes*

A produção de *briquettes* a partir de material torrificado pode, muito em breve, ser tão interessante como a *pelletização*. O tamanho é flexível e assemelha-se mais aos tamanhos típicos do carvão e os ensaios iniciais efetuados foram positivos [5.5.74]. A produção de *briquettes* é mais robusta, tem menos desgaste, tem menos paragens técnicas, menor consumo energético e, também, menos custos operacionais. No entanto, a capacidade máxima de produção específica (por unidade) é menor, apesar de já se terem iniciado planos de desenvolvimento de equipamentos para competir com as maiores máquinas de *pellets* [5.5.75].

A principal questão é saber se se vão conseguir densidades a granel em MJ/m^3 , que justifiquem o transporte intercontinental. A indústria também precisa de determinar o tamanho ótimo para as *briquettes*, que garantam a maior eficiência dos sistemas. Uma *briquette* pequena resulta numa maior carga específica, mas também diminui a capacidade de produção e aumenta o custo de produção. O tamanho ótimo para as *briquettes* precisa ser identificado e mais dados são necessários sobre o comportamento hidrofóbico. As *briquettes* vão ter interesse, muito provavelmente, para utilizações industriais, mas não para utilizações domésticas. Para algumas unidades de torrefação e/ou tipos de utilização final, a produção de *briquettes* já pode ser uma melhor opção do que a *pelletização*. Até ao momento, muito poucos estudos sobre produção de *briquettes* de material torrificado foram publicados. No entanto, a empresa produtora de equipamentos para a produção de *briquettes*, a Nielsen AS, tem avaliado materiais torrificado nos seus equipamentos com resultados promissores. A produção de *briquettes* afigura-se assim como uma alternativa promissora a aguarda-se que brevemente uma prensa de *briquettes* seja instalada numa unidade de torrefação que demonstre a sua eficiência [5.5.76].

5.5.5. Tecnologias de torrefação

5.5.5.1. Tecnologias em desenvolvimento

Durante os últimos 10 anos, uma enorme atividade de I&D sobre torrefação de muitos cientistas e engenheiros, combinados com genuínos interesses tecnológicos e de perspectivas de novos negócios, por parte de muitos fornecedores de equipamento e de desenvolvimento de tecnologia, resultaram num elevado número de tecnologias emergentes de torrefacção. Um aspeto interessante do desenvolvimento da torrefação é o elevado número de tipos de reatores desenvolvidos. A maioria deles desenvolveu-se a partir de outras tecnologias existentes para secagem ou conversão térmica de biomassa, que foram agora refinadas para os propósitos da torrefação. O tipo de reator mais comum é o reator tipo tambor rotativo, do qual se apresenta um exemplo na Figura 5.5.9. Recentemente foi publicada uma compilação das diferentes tecnologias num artigo de revisão [5.5.77].

As tecnologias podem ser divididas em processos de aquecimento direto ou indireto. Cada reator tem as suas vantagens e desvantagens específicas e a eficiência global do sistema depende do desenho do sistema de aquecimento, onde também se encontram diversas opções. Independentemente da opção, o controlo do processo (tempo de residência, temperatura, tamanho das partículas, mistura, humidade à entrada, etc.) é a chave para um bom rendimento. Outros critérios importantes são que as tecnologias devam estar bem comprovadas, robustas, simples e de custos operacionais conhecidos e controlados, eficientes do ponto de vista energético e exergetico, flexíveis quanto às matérias-primas a processar, fiáveis, e que os custos de matéria-prima são os custos mais significativos unitários em qualquer análise de custos.



Figura 5.5.9. Reator de tipo rotativo pertencente à empresa Konza Renewable Fuels, dos EUA.

5.5.5.2. Estado atual das unidades de produção construídas

Das mais de 60 iniciativas de torrefação anunciadas e das 15 unidades de grande escala agendadas para arrancarem até 2011, muito poucas foram construídas e dificilmente alguma já atingiu uma produção industrial total estável e estatuto comercial. As premissas e as expectativas para o arranque foram inicialmente muito elevadas. A maioria dos fornecedores de equipamentos tende a exagerar as suas capacidades e a subestimar o tempo e esforços necessários. Empreendedores tecnológicos com experiência limitada em biomassa também se depararam com dificuldades perante simples desafios, tais como a alimentação, transporte, armazenamento e qualidade das matérias-primas. Outro assunto são os custos totais relativamente elevados. “*Secar e voltar a secar um pouco mais*”, parece muito simples, e atraiu um enorme grupo de empreendedores sérios, mas também os denominados “*caçadores de fortunas*”. No entanto, é um processo mais complexo do que inicialmente foi antecipado.

A torrefação tem que ser conduzida de forma inteligente, com custos controlados e inteiramente dirigida para o progresso e sucesso da comercialização. Existem atualmente um conjunto de desafios quanto aos sistemas e aos processos em que se necessita cuidada I&D e soluções inteligentes, tais como: processamento e controlo da atmosfera; produção de gás para inertização; transferência de calor; controlo e moderação das reações exotérmicas; arrefecimento dos produtos; comportamento dos gases de torrefação, a sua deposição e utilização; integração de sistemas e processos; otimização energética e exergetica; densificação; e a otimização de toda a cadeia de fornecimento ao processo. Talvez a parte mais importante seja o diagnóstico e controlo do processo. Devido à relação próxima entre a temperatura e o tempo de residência com a qualidade e normalização do produto, o controlo cuidadoso destas variáveis do processo é fundamental.

O material produzido deve ser completamente homogéneo relativamente ao grau de torrefação e preferivelmente castanho-escuro (não sobretorrificado), para permitir um rendimento suficiente e para facilitar a densificação.

São poucas as iniciativas que estão a pavimentar o caminho para a indústria da torrefação. Existem atualmente 5 unidades industriais demonstrativas de torrefação construídas e em operação na Europa.

Uma atualização do atual estado de cada uma das iniciativas foi também recentemente apresentada [5.5.29]:

- Em Steenwijk, Holanda, a Stramproy Green em 2009 foi a primeira empreendedora a construir uma unidade de produção (45.000 t/ano) com a primeira de duas linhas comissionada em 2010. Foi desenhada para uma produção eventual de 90.000 t/ano e também integra uma unidade de ciclo combinado de 2,5 MWe. A tecnologia original era um sistema de caleira vibratória, mas mais tarde foi substituído por um processo baseado num leito fluidizado. Após alguns problemas com as especificações dos produtos, um “falso alarme” nas emissões gasosas e um incêndio em 2011, a produção de volumes comerciais é agora potencialmente possível. A Stramproy começou com a produção de *pellets* mas tem planos para produzir *briquettes*. Notícias recentes apontam para o encerramento desta unidade por motivos económicos.
- Em Amel, na Bélgica, a 4EnergyInvest opera uma unidade de torrefação comprada à Stramproy Green. Durante 2011, a unidade de Amel tinha produzido cerca de 1000 toneladas e o primeiro volume significativo foi entregue numa central termoelétrica de grandes dimensões, para permitir a realização de testes de co-combustão. A capacidade planeada é de 40.000 t/ano, mas a capacidade da unidade está limitada a 40% e a equipa técnica trabalha para remover todas as restrições à produção. Esta unidade utiliza amido como ligante na produção de *pellets*.
- Em Duiven, na Holanda, a Topell Energy e a RWE InnogyGmbH operam uma unidade de torrefação de escala comercial com 60.000 t/ano. Completou a sua primeira fase de comissionamento com a produção de cerca de 1000 toneladas de *pellets* e um recorde de operação contínua de 100 horas. A qualidade dos *pellets* tem sido um problema, mas antecipam que a produção de *pellets* e *briquettes* sem recurso a ligante será possível. Informações recentes apontam para o encerramento desta unidade por motivos económicos.
- Em Dielsen-Stokkem, na Bélgica, a empresa holandesa Torrc coal Group construiu uma unidade de torrefação com capacidade para 35.000 t/ano, em 2009, e que está em operação desde Outubro de 2010. O foco inicial era em combustíveis derivados de resíduos, mas agora também comercializa estilha de biomassa. A produção é sob a forma de pó, transportado diretamente para um consumidor final para combustão, mas já foram executados ensaios de produção de *pellets* com sucesso.
- Em Oliveira de Azeméis, Portugal, a empresa YGE - Yser Green Energy SA construiu uma unidade com capacidade para cerca de 6.000 t/ano e que está em operação desde Maio de 2014. Já foram realizados ensaios de produção de *pellets*, com sucesso, e também foram realizados testes de combustão. Esta unidade produz *pellets* sem recurso a ligante (Figura 5.5.10).



Figura 5.5.10. Instalações da YGE - Yser Green Energy SA, situada em Oliveira de Azeméis (Portugal).

Pelo menos mais 8 unidades de torrefação estão planeadas para arrancarem durante os próximos tempos:

- Biolake (Holanda, 9.000 t/ano);
- Thermya (Espanha, 20.000 t/ano);
- ECN/Andritz (Holanda, 8-16.000 t/ano);
- Fox Coal (Holanda, 35.000 t/ano);
- EBES/Andritz (Áustria, 8.000 t/ano);
- Bio Endev (Suécia, 16.000 t/ano);
- Rotawave (EUA, 100.000 t/ano);
- Advanced Fuel Solutions (Portugal, 92.000 t/ano).

Algumas das iniciativas baseadas nos EUA sobre processos de torrefação são:

- Agri-Tech Producers;
- Integro Earth Fuels Inc.;
- River Basin Energy;
- Torrsys;
- Wyssmont;

- Earth Care Systems;
- Konza Renewable Energy.

Para além das grandes unidades demonstrativas descritas anteriormente, muitos destes empreendedores tecnológicos operam pequenas unidades-piloto, baseadas nas suas próprias tecnologias.

5.5.6. Experiências de utilização final

Apesar do interesse enorme que se verifica em torno do tema da torrefação e utilização de materiais torreficados, a informação que se pode encontrar sobre testes de grande escala na literatura é bastante limitada. Da informação encontrada, destacam-se os seguintes exemplos:

- Um lote de 20 toneladas de biomassa torreficada foi ensaiado em co-combustão (9%) com carvão numa central termoelétrica de 400 MW, em Borssele, Holanda, em 2003. As conclusões deste ensaio foram muito favoráveis. Existia ainda espaço para aumentar a percentagem de material torreficado no carvão (ou seja, o limite do moinho não foi atingido), não se verificou perda de rendimento na combustão e a mistura do combustível mostrou boa performance na pulverização.
- Um extenso teste com 4.300 toneladas de biomassa tratada termicamente, sob a forma de *pellets*, na central termoelétrica de Vattenfall Renter West, em Berlim, na Alemanha, também validou a maioria das proclamadas vantagens dos materiais tratados termicamente. A central de Vattenfall processou em co-combustão, com sucesso, até 50% de material *pelletizado*, sem qualquer modificação nos equipamentos. Os relatórios apontaram a existência de grandes quantidades de finos nos lixiviados das pilhas de armazenamento e a formação de finos durante o manuseamento e abastecimento. Este problema foi resolvido com a instalação de um sistema de aspiração de pó.
- Um volume significativo de material torreficado tem sido entregue pela empresa 4Energy Invest, em Amel, Bélgica, a uma central de produção de energia a carvão, para testes de co-combustão. O resultado dos testes foram reportados como bem-sucedidos e não foram necessárias modificações ou investimentos adicionais.
- Desde Abril de 2014, a empresa Yser Green Energy SA fornece todo o material torreficado que produz nos seus testes de comissionamento, sobre a forma de *pellets*, a uma empresa vizinha para testes de combustão numa caldeira de óleo-térmico a biomassa (Figuras 5.5.11 e 5.5.12). Verificou-se uma redução no consumo superior a 20%, quando comparado com a utilização de *pellets* convencionais, assim como uma redução no volume de cinzas produzido.



Figura 5.5.11. Caldeira de óleo térmico equipada com uma fornalha de biomassa, que se encontra a queimar *pellets* de biomassa torrificada desde Maio de 2014. Estima-se que tenham sido consumidos cerca de 200 toneladas de *pellets* de biomassa torrificada nesta caldeira.



Figura 5.5.12. Aspeto do interior da fornalha com a combustão de *pellets* de biomassa torrificada.

5.5.7. Conclusões

As conclusões são em geral muito positivas, mas analisando de forma mais cuidada verifica-se que existem áreas suscetíveis de mais desenvolvimento. São seguramente necessários mais testes, extensos, assim como avaliações à cadeia de fornecimento e outros processos auxiliares. Os materiais torrificadas atualmente produzidos nas unidades da Holanda, Bélgica e Portugal serão em breve, seguramente, avaliados por entidades externas e os resultados partilhados com a restante comunidade científica e tecnológica.

Capítulo 6

Análise estratégica, social, económica e ambiental da utilização de biomassa como recurso energético

Neste capítulo analisam-se as implicações de natureza estratégica, social, económica e ambiental associadas à utilização de biomassa como recurso energético. A biomassa enquanto fonte de energia renovável, embora já utilizada em Portugal, e principalmente noutros países Europeus e da América do Norte, ainda é objeto de um desconhecimento generalizado, obrigando por isso a uma análise destes fatores fundamentais para a sua utilização de uma forma sustentável. A implicação e interligação que cada um destes fatores tem nos outros é determinante para o cumprimento dos resultados pretendidos, já que sem uma planificação estratégica dificilmente será possível atingir a sustentabilidade social, económica e ambiental da utilização da biomassa enquanto meio de crescimento económico e de competitividade.

6.1. Análise estratégica associada à utilização de biomassa para fins energéticos

6.1.1. Enquadramento

A utilização de biomassa para produção de energia resulta em diversos benefícios externos, mas também acarreta riscos e alguns aspetos menos controlados. A aposta na utilização de biomassa deve ser fundamentada numa análise atenta dos pontos positivos e negativos, assim como as oportunidades e ameaças que caracterizam essa mesma utilização [6.1.1]. A análise SWOT é, originalmente, uma ferramenta utilizada no planeamento estratégico empresarial e de análise de novos negócios, onde se avaliam os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças, e que podem ser identificados antes da implementação de um projeto [6.1.2]. A principal vantagem de uma análise SWOT é que assenta numa série de passos de análise que permite avaliar:

- As influências externas (oportunidades e ameaças);
- As influências internas (forças e fraquezas).

Este tipo de ferramenta analítica foi 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 em que se enquadra o projeto e das tendências associadas a esse mesmo projeto [6.1.3]. Em diversos estudos se defende que a elaboração de uma matriz SWOT aplicada ao sistema energético de uma região pode ser utilizada para servir como base para diagnosticar problemas e traçar linhas de ação futuras para a utilização de biomassa como alternativa energética sustentável. Isto permite apoiar o processo de proposta e a definição de estratégias para o sector da biomassa, incentivando o debate e o confronto de critérios e, finalmente, favorecendo o diagnóstico e elaboração de coerência interdisciplinar tão necessária nesta área, que envolve diversidade de conhecimentos [6.1.4].

A análise SWOT é utilizada com frequência em diversos estudos e relatórios sobre a aplicação de determinadas tecnologias de produção de energia, principalmente com a finalidade de analisar as vantagens associadas e as oportunidades que a utilização de biomassa podem ter do ponto de vista económico, social, técnico ou ambiental [6.1.5]. Estes estudos baseiam-se, por exemplo, nos balanços energéticos e de CO₂ para todo o ciclo do combustível, para analisar a eficiência energética do processo, considerando cinco grupos de atividades principais:

- Produção dos combustíveis;
- Transporte e armazenamento;

- Tratamento e conversão;
- Transporte de resíduos;
- Eliminação ou reciclagem.

Outros estudos utilizam a análise SWOT para mostrar que os combustíveis produzidos a partir de biomassa podem substituir os combustíveis fósseis de forma eficiente. Destacam-se como as maiores “forças” dos combustíveis fósseis o facto de haver uma longa experiência com a produção e utilização destes e por serem caracterizados pela elevada densidade energética em comparação com a biomassa. No entanto, atualmente carregam algumas “fraquezas” com elevada carga negativa, como a contribuição para o aquecimento global devido à massiva produção de GEE, bem como os elevados custos associados e a volatilidade dos preços no mercado [6.1.6].

Outro estudo, conduzido exclusivamente no sector industrial da tinturaria têxtil portuguesa, também demonstrou a viabilidade da substituição de combustíveis de origem fóssil por biomassa. Neste estudo destacam-se como maiores “forças” a criação de uma economia de base regional associada ao negócio da recolha, preparação e distribuição dos combustíveis, e a independência energética associada, ao mesmo tempo que se reduzem as importações de produtos energéticos [6.1.7].

6.1.2. Análise SWOT à utilização de biomassa para fins energéticos

O objetivo desta análise é apresentar as razões que podem contribuir para que as empresas portuguesas invistam na área da biomassa em Portugal. Os potenciais utilizadores das tecnologias de conversão energética da biomassa são as empresas de produção e comercialização de energia elétrica, de produção e distribuição de biomassa e todas as indústrias consumidoras de energia térmica. O mercado alvo é bastante abrangente, uma vez que é uma opção energética renovável com boas perspectivas de crescimento [6.1.8]. Os produtos concorrentes são basicamente os combustíveis fósseis, principalmente o gás natural e o carvão. O potencial dos recursos de biomassa em Portugal é muito grande, pois Portugal possui uma grande área florestal e terrenos agrícolas, assim como uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos. A procura pelas alternativas energéticas, como a biomassa, é grande já que o Governo Português, no seguimento das diretivas comunitárias, tem vindo a incentivar a substituição dos combustíveis fósseis por fontes energéticas alternativas. A elevada dependência energética externa de Portugal, bem como a vulnerabilidade energética do país, traduzem também a urgência na procura de novas alternativas energéticas. Estas condições, juntamente como compromisso feito pelo Governo Português em diminuir as emissões de GEE, fazem com que estejam reunidas as condições necessárias para o desenvolvimento na área do aproveitamento da energia proveniente da biomassa [6.1.9].

Forças

- Desenvolvimento das áreas rurais e do interior do país;
- Redução do êxodo rural devido à criação de empregos diretos e indiretos e do fortalecimento da indústria local;
- Segurança no abastecimento energético pela diminuição da dependência energética externa e pela diversificação do abastecimento energético;
- Aposta na inovação pela necessidade de desenvolvimento das tecnologias de conversão de biomassa;
- Aumento no uso de energia sustentável;
- Prevenção dos incêndios florestais;
- Reutilização dos resíduos da queima, nomeadamente cinza da madeira, nas florestas, como fertilizante;
- Aumento da absorção de CO₂ e diminuição das emissões dos gases de efeito de estufa;
- Aproveitamento de terras abandonadas ou degradadas;
- Política favorável e ambiental na Europa para a promoção dos biocombustíveis através das culturas energéticas;
- Produtividade das culturas energéticas bastante elevada, permitindo melhores rendimentos para os operadores florestais;
- Flexibilidade das tecnologias de conversão energética que permite adaptação às mudanças das misturas de combustíveis;
- Disponibilidade da biomassa sem se mostrar dependente das condições atmosféricas, podendo ser armazenada de acordo com a procura.

Fraquezas

- Possibilidade de emissões de CO₂ 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);
- Dependência por parte da produção de biomassa das características agronómicas, incluindo as terras disponíveis e condições de crescimento;
- Dependência por parte da produção de biomassa da decisão dos agricultores de utilizarem os campos para a produção de biocombustíveis;
- Dependência das condições externas do clima e dos ataques de pragas;
- Preços não competitivos com as culturas tradicionais;
- Área de armazenamento requerida pela biomassa maior do que para outros combustíveis;
- A 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;

- Transporte de biomassa sob a forma de combustível sólido é particularmente desvantajoso quando comparado como transporte de combustíveis líquidos ou gasosos.

Oportunidades

- Facto de a biomassa ser uma fonte bastante heterogénea pode ser interessante para diversos mercados específicos;
- Aproveitamento de terras degradadas;
- Interesse crescente da utilização da biomassa como uma energia renovável origina várias iniciativas de investigação;
- Novas culturas energéticas mais eficientes serão desenvolvidas para a produção de biocombustíveis;
- Novas tecnologias de conversão mais eficientes serão desenvolvidas e as tecnologias existentes serão melhoradas;
- Existência de grandes quantidades de resíduos florestais;
- Contribuição para a futura sustentabilidade dos sistemas de energia e para o desenvolvimento sustentável do país através da biomassa;
- Oportunidade de crescimento económico de uma região;
- Promoção dos biocombustíveis através da diretiva da UE e várias estratégias de combustíveis ao nível nacional;
- 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.

Ameaças

- O mercado da biomassa para energia é relativamente recente, em Portugal;
- Tem custos de investimento elevados;
- Custo das matérias-primas pode variar consoante o tipo utilizado;
- O menor valor das tarifas aplicadas em Portugal em comparação com outros países, para produção de energia eléctrica;
- Concorrência forte e completo domínio do mercado por parte dos combustíveis fósseis;
- Concorrência direta com outras formas de energia renovável;
- Infraestruturas limitadas;
- Disponibilidade apenas de uma percentagem de terra para a produção de culturas energéticas;
- Concorrência da produção de biomassa para energia com a produção alimentar;
- Instabilidade do mercado energético.

Verifica-se que a maior parte das fraquezas encontradas para a biomassa são relativas 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 exploração dos solos. 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 dos solos, diminuição do risco de incêndios e a reciclagem [6.1.10].

Um dos aspetos fortes da biomassa é o desenvolvimento das áreas rurais, a redução do êxodo rural e o fortalecimento da indústria local. Desde os anos 60 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 [6.1.11].

Os principais motivos que fazem com que grande número de pessoas saiam da zona rural para as grandes cidades são a procura de emprego e a mecanização da produção rural, que podem ser superados pela introdução de projetos 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, até porque devido à baixa densidade energética dos produtos, quanto mais fases do processamento forem efetuadas junto à fonte da matéria-prima, mais eficiente será o transporte para os centros de consumo [6.1.12].

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 criarem oportunidades adicionais nas áreas relacionadas com esta atividade. 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 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 [6.1.13].

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 atualidade.

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 eletricidade a partir da biomassa. A utilização ampla do potencial de biomassa para a geração de energia é uma das bases para a adoção de um modelo energético sustentável para o país, dando prioridade à diversificação das fontes, a descentralização da geração de energia, a preservação ambiental e o atendimento às camadas mais necessitadas da população [6.1.14].

Outro aspeto relevante é a possibilidade de criação de empregos. O desemprego é cada vez mais um problema relevante com impactes sociais bem como económicos e financeiros, que acarreta elevados prejuízos ao país, contribuindo para o seu atraso e para o agravamento do défice orçamental, principalmente neste alargado período de crise económica generalizada. Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística, o desemprego oficial alcançou os 13,1%, no 3º trimestre de 2014. 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 o país enfrenta. 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 [6.1.15].

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*” tem-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 atividade florestal e conduz ao subaproveitamento dos recursos florestais. A base de dados nacional de incêndios florestais regista, no período compreendido entre 1 de Janeiro e 15 de Outubro de 2014, um total de 7.085 ocorrências (1.062 incêndios florestais e 6.023 fogachos), que originaram 19.696 hectares de área ardida, entre povoamentos (8.722 ha) e matos (10.974 ha).

Comparando os valores do ano de 2014 com o histórico dos últimos 10 anos (2004-2013), destaca-se o registo de menos 66% de ocorrências e de menos 82% de área ardida, face aos respetivos valores médios nesse período. O ano de 2014 é, até à data, o ano com o menor número de ocorrências e o 2.º ano com menor área ardida desde 2004.

O ano menos afetado em área ardida, no período 2004-2014, é 2008 com 15.501 ha. As centrais de biomassa são uma opção justificável para a prevenção de incêndios florestais, uma vez que permitem aproveitar os resíduos florestais existentes, minimizando o risco de incêndio florestal [6.1.16].

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, sendo uma boa opção para combater um dos graves problemas da atualidade, o aquecimento global, diminuindo as emissões dos GEE e permitindo assim que Portugal atinja as metas impostas pelo Protocolo de Quioto [6.1.17].

Outro ponto forte a destacar pela biomassa é o facto de constituir uma fonte renovável de produção energética para a geração de eletricidade e calor. Nos últimos anos os resíduos sólidos urbanos tornaram-se um desafio na gestão pública de Portugal, tendo em vista os graves impactes ambientais originados pelos aterros 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 elétrica [6.1.18].

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. Dessa forma, os projetos 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 [6.1.19].

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 eletricidade ou a produção de calor a partir da biomassa seja altamente previsível [6.1.20].

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 [6.1.21].

As ameaças mais relevantes neste caso são os elevados custos de investimento que os projetos 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 projetos. A maior parte dos incentivos à produção de energia a partir da biomassa estão restritos ao sector da eletricidade. 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. Todos os fornecedores de eletricidade suportam, através dos seus consumidores, os custos adicionais do regime através de um pagamento à empresa distribuidora e proporcional ao seu volume de vendas. Este sistema é o mais usual na UE, nomeadamente em Portugal, Espanha e França [6.1.22].

6.1.3. Conclusões

Através da análise SWOT é possível conferir que a contribuição da biomassa para o desenvolvimento económico e social do país pode ser bastante positiva. As externalidades positivas mais relevantes encontradas para a biomassa são a criação de emprego, que concebe um impacto favorável na indústria como um todo. O desenvolvimento rural também é apontado como um dos aspetos fortes deste tipo de energia. Os fatores económicos positivos apontam para a diversidade de fontes energéticas, bem como o fornecimento de energia sem danificar o meio ambiente. As questões ambientais, tais como a limpeza das florestas, a diminuição do risco de incêndio, a diminuição de problemas ambientais relacionados com a deterioração do solo e a conservação da floresta, foram indicadas como aspetos importantes que a biomassa apresenta. A análise estratégica demonstrou que sendo este um sector inovador, o investimento pode trazer vantagens consideráveis para os investidores e, ao mesmo tempo, pode ter uma contribuição económica e social relevante.

6.2. Aspetos de natureza económica

6.2.1. Enquadramento

Para 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 e ser produtivo em quantidades suficientes para causar um impacto significativo na procura da energia [6.2.1]. 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 projetos.

Dessa forma é necessário definir uma metodologia de avaliação económica para se proceder à análise de viabilidade de um projeto. A análise financeira refere-se à avaliação ou estudo da viabilidade e lucro de um projeto. Uma metodologia de avaliação económica e financeira difere de acordo com o perfil do investidor e os seus objetivos, 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 perspetivas diferentes, nomeadamente na do proprietário florestal, dos empreiteiros, dos produtores de energia e da sociedade [6.2.2].

6.2.2. Impactes na economia

Os benefícios económicos da utilização da biomassa podem ser analisados de perspetivas diferentes, nomeadamente na do proprietário florestal, dos empreiteiros, dos produtores de energia e da sociedade. Se as vantagens ambientais forem integradas nos preços de mercado, especialmente no que se refere à redução de emissões de GEE, os sistemas de exploração de biomassa florestal podem ser, globalmente, mais atrativos do que os combustíveis fósseis [6.2.3].

Os empreiteiros florestais são beneficiados pela exploração da biomassa florestal na medida em que induz um aumento da procura de trabalho e, conseqüentemente, torna o capital das empresas mais rentável. Embora no aproveitamento da biomassa florestal a situação não ocorra, quer porque existe pouca sazonalidade nas operações, quer porque estas ocorrem em simultâneo com a exploração do produto principal, existem máquinas, como as ceifeiras, em que no Verão fazem a colheita dos cereais e no Inverno a colheita de culturas florestais energéticas, aumentando o tempo produtivo anual das máquinas [6.2.4].

A utilização da biomassa florestal para a produção de eletricidade apresenta, também, vários benefícios para os produtores de energia. Em primeiro lugar, para as centrais de combustão de carvão, a co-combustão permite reduzir as emissões CO₂, NO_x e SO₂ [6.2.5]. Estas reduções, considerando o mercado de emissões de CO₂ e os custos de tratamento das emissões atmosféricas, proporcionam vantagens financeiras às centrais. O investimento a efetuar nas centrais a carvão pode ser recuperado em dois anos, apenas viável quando se inclui o custo do CO₂ [6.2.5]. Em relação às centrais dedicadas a biomassa, a sua viabilidade económica depende de um conjunto de variáveis - potência, eficiência e tecnologia da central, preços da biomassa, dos combustíveis alternativos e licenças de emissão, entre outros, que torna a avaliação específica das características das centrais e circunstâncias dos mercados [6.2.6]. No que respeita à potência, as centrais dedicadas que utilizam biomassa florestal podem ser rentáveis a partir de 50-80 MW_t, ou seja, e considerando uma eficiência de 20%, a partir de 10-40 MW_e. Estima-se que as centrais de combustão podem ser rentáveis a partir de 25 MW_e [6.2.7].

Numa análise comparativa com as alternativas à biomassa, carvão, gás natural e petróleo, a produção de calor em caldeiras é mais favorável em situações de elevada carga, ou seja, quando existe uma procura de calor consecutivamente [6.2.8]. O problema nos projetos de produção de energia a partir de biomassa, não está em determinar se são rentáveis ou não. A rentabilidade está geralmente garantida, seja por comparticipação no financiamento, seja por uma tarifa de aquisição superior à praticada a preços de mercado, ou mesmo pelo custo de aquisição dos combustíveis mais baixo. A questão para os investidores coloca-se na baixa competitividade desses projetos com os de produção de energia a partir de combustíveis fósseis. De facto, as centrais dedicadas, por exemplo, têm custos específicos (€/kWh) e custos de energia (€/GJ) mais elevados do que as suas alternativas, sendo a eficiência elétrica inferior [6.2.9]. No entanto, pode-se prever que a competitividade irá aumentar gradualmente à medida que as externalidades forem sendo integradas no mercado e os progressos tecnológicos reduzirem essas diferenças [6.2.10].

A disponibilidade do recurso biomassa pode variar significativamente ao longo do ano, em particular devido às flutuações na procura anual. Em Portugal, a procura de biomassa tenderá a ser mais equilibrada porque a eletricidade produzida tem pouco significado e a produção de energia elétrica é paga a uma tarifa de aquisição independente da procura de eletricidade. No entanto, em países como a Itália e a Áustria, onde há muitos lares aquecidos a estilha ou *pellets*, existem picos de consumo durante a estação fria que podem levar a rutura dos stocks. Nessas situações, o preço da estilha e dos *pellets* pode aumentar consideravelmente, reduzindo a confiança dos consumidores nos sistemas de aquecimento a biomassa [6.2.11].

A escassez da biomassa em Portugal, que levantará problemas financeiros aos produtores de energia, pode ocorrer por várias razões. Por um lado, os mercados recentes, como o português, levam a que haja uma certa quantidade de biomassa que não é retirada por inércia dos proprietários e empreiteiros florestais. Embora o stock continue a existir na realidade, trata-se de uma quantidade de biomassa que poderá fazer a diferença no abastecimento do dia-a-dia das centrais dedicadas [6.2.12]. Por outro lado, tem-se assistido à exportação de quantidades significativas de biomassa nos portos de Aveiro e Sines a preços mais atrativos para os produtores de biomassa. Acresce ainda a possibilidade de entrada de mais consumidores no mercado da biomassa para a produção de *pellets*, caldeiras comerciais e industriais, cimenteiras, entre outros, que irão aumentar a concorrência pelo mesmo recurso escasso e alterar as circunstâncias de mercado que podem não ter sido precavidas no planeamento da gestão das centrais dedicadas [6.2.13].

Do ponto de vista da sociedade, o mercado da biomassa cria um conjunto de vantagens ao nível económico, tais como [6.2.14]:

- 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.

6.2.3. Conclusões

A sustentabilidade inclui também a vertente social e à qual a biomassa pode trazer benefícios. Parte dos benefícios ambientais destes sistemas são, em última análise, melhorias do bem-estar e saúde das populações (por exemplo, redução da incidência de problemas respiratórios devido à melhoria da qualidade do ar). Também o emprego gerado, tanto nas próprias centrais como em toda a cadeia de abastecimento, permite a fixação das populações nas zonas rurais, que poderão ser beneficiadas nas áreas da educação e saúde através do investimento induzido passível de ser gerado.

6.3. Aspectos de natureza social

6.3.1. Enquadramento

Os estudos socioeconómicos são frequentemente 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 aspetos, que incluem também questões sociais, culturais e ambientais [6.3.1]. Na realidade, os impactes socioeconómicos locais são diversos e diferem de acordo com fatores como a natureza da tecnologia, estruturas económicas locais, os perfis sociais e os processos de produção [6.3.2].

A essência da sustentabilidade dos projetos de biomassa a partir de um aspeto social é a forma como eles são percebidos pela sociedade, e como as diferentes sociedades beneficiam dessa atividade [6.3.3]. Sem o apoio institucional, as tecnologias emergentes energéticas estão limitadas pelos seus custos financeiros. Na mesma linha de pensamento, pode-se considerar que uma questão fundamental para o desenvolvimento sustentável é a harmonização entre a proteção 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 impacte ambiental reduzido [6.3.4].

6.3.2. Custos Sociais

A fim de orientar os investimentos futuros, é necessário compreender o impacto ambiental nos cenários de crescimento da energia projetada, com foco na prática da produção de energia sustentável. Cada vez mais existe um reconhecimento da importância dos impactos sociais e ambientais das atividades de produção de energia [6.3.5]. Os custos sociais da produção de energia podem ser classificados em custos privados e externos/benefícios.

Os custos privados abrangem o capital inicial de investimento para a obtenção de energia, que passa através de diferentes fases, tais como a compra da fonte de energia primária (carvão, gás, biomassa,...), transportes, construção de infraestruturas, entre outros. Todos esses são custos que têm um preço de mercado [6.3.5].

Os 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, entre outros. Os custos não-ambientais incluem os benefícios socioeconómicos na natureza, tais como preços e garantia de fornecimento, autossuficiência energética, emprego e desenvolvimento rural [6.3.5]. Em ambos os casos, são custos que não têm preço de mercado.

É de conhecimento geral que as atividades humanas causam danos e impõem riscos nos seres humanos, ecossistemas e materiais. Por exemplo, uma central de biomassa quando produz eletricidade pode emitir poluentes que são transportados para a atmosfera e quando inalados podem criar um risco na saúde ou após a deposição afetar os ecossistemas. Sendo assim, as externalidades são custos ou benefícios não incluídos no preço de um certo bem ou mercadoria mas que acabam por ser pagos, de forma indireta, pela sociedade (degradação ambiental, de saúde ou necessidade de mais impostos) [6.3.6].

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

O facto dos custos ou benefícios externos não serem incluídos no preço, traduz-se numa falha de mercado [6.3.7]. O facto de se incluírem, ou não, os custos externos na avaliação de custos altera significativamente os resultados. Para proporcionar uma comparação justa dos preços dos combustíveis, todas as externalidades devem ser projetadas 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 [6.3.8].

O facto de muitos agentes económicos considerarem os custos ambientais como algo intangível, pode originar consequentes encargos para a sociedade [6.3.9]. 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. A inclusão 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 impactes 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 [6.3.10].

As externalidades ambientais da produção/consumo de energia podem ser divididas em duas grandes categorias de custos que distingue as emissões de poluentes, com impactes locais e/ou regionais daquelas com impactes globais [6.3.11]:

- 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 impacte das alterações climáticas imputáveis às emissões de GEE.

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 recetores. A origem geográfica no segundo caso é irrelevante para os danos decorrentes das emissões de GEE, que são normalmente tratados à escala global [6.3.12]. Quando as decisões de investimento são feitas, 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, incluir os custos externos. Antes de incluir 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 [6.3.13].

As implicações sociais decorrentes dos investimentos locais relacionados com aproveitamentos de energia da biomassa podem ser divididas também em duas categorias: aquelas relacionadas com um aumento da qualidade de vida e aquelas que contribuem para o aumento da coesão social e estabilidade. Em termos económicos, o nível de vida refere-se a um nível de consumo doméstico, ou ao seu nível de proveitos monetários. No entanto, outros fatores contribuem para um padrão de vida da pessoa, mas que não têm valor económico imediato. Estes incluem fatores como a educação, oportunidades de emprego, o meio ambiente e saúde, e, portanto, devem ser objeto de igual consideração [6.3.14].

Após os custos externos serem incluídos, os prós e contras das opções energéticas podem ser analisadas com a mesma base [6.3.15]. Uma forma de considerar estes custos externos poderá passar por taxas, que penalizariam as tecnologias e combustíveis mais prejudiciais, ou por subsídios para as tecnologias mais limpas que evitam custos e impactes sociais e ambientais [6.3.16]. Assim sendo, a inclusão dos custos externos para a custo de produção de energia é considerada por muitos autores como sendo um instrumento eficaz para a redução dos impactes negativos da oferta e da utilização de energia [6.3.17].

As externalidades ambientais da produção de energia variam consideravelmente, dependendo do tipo de energia e da tecnologia utilizada. Tem sido demonstrado que as estimativas dos custos dos danos resultantes da utilização de combustíveis fósseis, se incluídos no preço da produção resultante de energia, poderia claramente conduzir a um número de tecnologias renováveis economicamente competitivas com as unidades que utilizam combustíveis fósseis [6.3.18].

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 [6.3.19].

Uma comparação das externalidades estimadas para as unidades que utilizam combustíveis convencionais e as de biomassa revelam que as convencionais apresentam custos externos significativamente mais elevados quando comparados com os custos das de biomassa [6.3.20]. Os custos sociais da produção de energia podem inverter a atratividade económica das tecnologias alternativas. Quanto maior a penetração das energias renováveis nos sistemas energéticos, menores os custos de energia impostos à sociedade [6.3.21].

6.3.3. Seleção de indicadores de sustentabilidade

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 diretas e indiretas. Contudo, no caso particular da biomassa, alguns deles são muito difíceis de avaliar e insignificantes quando comparados com o resto [6.3.22].

Na avaliação de cada etapa da cadeia, os principais indicadores devem ser identificados para permitir a quantificação do impacte. Os indicadores são baseados nos impactes sociais e ambientais onde se incluem emissões de GEE, 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 selecionada e processada, cuja utilidade tem sido predefinida e a sua existência justificada [6.3.23]. Na seleção dos indicadores, deve-se definir 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 [6.3.24].

Diversos estudos abrangentes sobre a análise do ciclo de vida da produção de energia têm sido realizados e utilizam um ou mais indicadores para fornecer a avaliação, geralmente as emissões dos GEE e uma possível contabilidade energética [6.3.25-6.3.28].

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 impactes globais, como em relação aos seus impactes locais. Em relação aos indicadores sociais, centram-se sobretudo na contabilização de localização com acesso à energia 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 impactes externos da exportação e da importação de energia e do volume de investimentos realizados pelo sector público na geração e transmissão de energia [6.3.29].

A maioria dos trabalhos elaborados com o objetivo de entender o impacte da produção de energia para o meio ambiente e economia visam quantificar parâmetros, como as emissões, períodos de recuperação de energia e custos [6.3.30]. Algumas das externalidades são já mensuráveis por indicadores bem definidos, tais como os GEE, os stocks de carbono e a qualidade do ar. Elas podem ser quantificadas e, provavelmente, monitorizadas, com base nos seus impactes 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, e condições de trabalho [6.3.31].

Relativamente ao ciclo de combustível de biomassa, os impactes que parecem mais relevantes são os efeitos no emprego, efeitos na saúde causados pelas emissões atmosféricas, 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, que podem ser considerados insignificantes, dado que as emissões produzidas nesta fase representam menos de 1% das emissões totais [6.3.32].

No caso do dióxido de enxofre, as emissões durante o transporte não são negligenciáveis em comparação com as de geração de energia (as emissões nesta fase são muito baixas), 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 aspetos visuais das culturas energéticas [6.3.33].

6.3. Conclusões

As externalidades ambientais da produção de energia variam consideravelmente, dependendo do tipo de energia e da tecnologia utilizada. As estimativas dos custos dos danos resultantes da utilização de combustíveis fósseis, se incluídos no preço da produção de energia, pode claramente conduzir a um número de tecnologias renováveis economicamente competitivas relativamente às que utilizam 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. A incorporação dos custos externos no custo social total permite à biomassa competir e até apresentar vantagens em relação às tecnologias de combustíveis fósseis.

6.4. Aspetos de natureza ambiental

6.4.1. Enquadramento

A energia proporciona conforto pessoal e mobilidade, sendo essencial para a produção da maior parte da riqueza social, industrial e comercial. Por outro lado, a produção e o consumo de energia exercem sobre o ambiente pressões consideráveis (incluindo a produção de calor e eletricidade, a refinação de petróleo e a sua utilização final nas habitações, nos serviços, na indústria e nos transportes). Entre estas pressões incluem-se as emissões de poluentes atmosféricos e GEE, a utilização dos solos, a produção de resíduos e os derrames de petróleo, contribuindo para fenómenos como as alterações climáticas e a destruição dos ecossistemas naturais [6.4.1].

Para o correto enquadramento das questões ambientais associadas à sustentabilidade da biomassa é necessário abordar os potenciais impactos, resultantes da valorização da biomassa como recurso energético, incluindo também algumas medidas que os minimizam. A análise deve ser feita para as principais fases de toda a cadeia de aproveitamento, ou seja, recolha, transporte e queima.

Antes de mais, é relevante mencionar um aspeto ambiental, transversal a todas as fases da cadeia de aproveitamento energético da biomassa - as alterações climáticas. Embora não seja consensual, no interior da comunidade científica admite-se que a crescente concentração de CO₂ e outros GEE na atmosfera se deve à utilização de combustíveis fósseis, o que está a provocar o aumento da temperatura média global do planeta. Por esta razão, entre outras, a utilização das energias renováveis em geral e da biomassa em particular tem sido incentivada [6.4.2].

O aproveitamento da biomassa florestal é considerado como sendo neutro em termos de emissões de CO₂. Tal é verdade se for apenas considerado o processo de queima em si. No entanto, se analisarmos toda a cadeia de aproveitamento de biomassa florestal (recolha, transporte, queima), está sempre associada à libertação de GEE [6.4.3].

A recolha e processamento da biomassa florestal, quer seja feita no local de abate ou no carregadouro, recorre a maquinaria pesada. Estes veículos, tais como os equipamentos de carga ou o destrocador (Figura 6.4.1), são alimentados por combustíveis fósseis, nomeadamente gasóleo. O transporte propriamente dito, da floresta até à central de conversão de biomassa, é feito recorrendo a camiões de grande capacidade, que normalmente têm de fazer várias entregas por dia, percorrendo vários quilómetros. Associada a esta movimentação, está a:

- Emissão de gases resultantes da oxidação do carbono presente no combustível, durante a combustão;
- Emissão de outros gases de exaustão constituídos por metano (CH₄), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e compostos orgânicos voláteis (COV's), resultantes da combustão incompleta do combustível, reações entre o ar e os constituintes do combustível durante a combustão e reações após a combustão;
- Emissão de COV's devido à evaporação do combustível [6.4.4].



Figura 6.4.1. Equipamento de carga e descarga de madeira a operar num centro logístico de biomassa, no momento em que carrega um destroçador móvel de biomassa que produz estilha a partir de rolaria de pinheiro.

No processo de produção de energia em si, tal como foi mencionado anteriormente, as emissões de GEE são consideradas nulas. No entanto, durante o arranque da central, para o abastecimento energético dos escritórios (quando necessário) e aquando da utilização de combustíveis fósseis para fins de manutenção dos equipamentos (como por exemplo carregadoras ou garras), existe a libertação de GEE para a atmosfera [6.4.5].

Como medidas minimizadoras da libertação de GEE para a atmosfera sugere-se:

- A utilização de biomassa florestal que tenha origem em florestas geridas de forma sustentável;
- A redução das distâncias de transporte ao mínimo possível;
- A otimização da operação de manuseamento da biomassa e eficiência da combustão;
- A limitação do uso de combustíveis fósseis no arranque da central;
- A minimização da utilização de energia em todos os edifícios da central, incluindo escritórios, armazéns, entre outros.

Globalmente, a utilização de biomassa como substituto do carvão, promove uma redução de 0,5 a 0,6 toneladas de carbono emitidas por cada tonelada de biomassa florestal utilizada [6.4.6]. É necessário ter em atenção que este é apenas um valor indicativo, que depende muito do equipamento utilizado, capacidade de produção, entre outros.

6.4.2. Impactes ambientais associados à recolha de biomassa

As florestas, e em particular os resíduos florestais, têm um variado número de funções ambientais. Atuam como fonte de materiais, nutrientes, regulam os recursos hídricos e ajudam a prevenir a erosão do solo. Além disso funcionam como habitat para diferentes espécies. A recolha dos resíduos da floresta significa então uma perturbação do estado ecológico da mesma [6.4.7]. A exploração florestal, quer para a produção de madeira, quer para fins energéticos, pode então significar impactes negativos em alguns aspetos que se apresentam de seguida.

6.4.2.1. Biodiversidade

A floresta representa um “*armazém*” fundamental de biodiversidade na Europa, proporcionando habitat a várias espécies. O incremento da extração de resíduos florestais pode resultar na intensificação da utilização dos recursos, o que poderá comprometer o valor das florestas. A extração de resíduos afeta também a composição da flora e fauna, através da homogeneização do habitat e da perturbação do solo [6.4.8]. No entanto, há que ter em consideração que os efeitos sobre a biodiversidade dependerão da gestão espacial e temporal do mosaico da paisagem.

6.4.2.2. Solo

A exploração de biomassa resulta sempre na exportação de nutrientes, o que influencia diretamente a produtividade da floresta. Este efeito é tanto mais sentido quanto maior for a taxa de extração e menor a riqueza do solo [6.4.9].

Na floresta, os nutrientes não se encontram distribuídos homoganeamente, estando mais concentrados nas folhas das árvores e menos no tronco. Por isso, para manter a produtividade, é imperativo que a extração de biomassa florestal seja realizada consoante boas práticas de gestão, respeitando os níveis de colheita sustentável, o que, em última análise, significa que parte do material residual deverá ser deixado no local (folhas e pequenos ramos). Além disso, para manter o nível de produtividade há que ter em atenção o tipo de árvores que se está a utilizar. Por exemplo, no caso de florestas de resinosas, tal pode ser conseguido extraíndo apenas o material seco, o que permite a queda das sementes antes do estilhaçamento. No caso das espécies de folha caduca a colheita deve ter lugar nos meses de inverno [6.4.10]. O solo representa um dos componentes mais frágeis do ecossistema florestal. Os resíduos de exploração da madeira protegem o solo da exposição ao sol, chuva ou vento, diminuindo assim o risco à erosão. Quando a exploração florestal tem como fim, não só a indústria madeireira mas também a obtenção de biomassa para fins energéticos, ocorre a uma taxa muito superior.

Inevitavelmente assiste-se a uma intensificação da circulação de maquinaria pesada, o que resulta numa maior perturbação do ecossistema. A compactação do solo, resultante da movimentação dos equipamentos de transporte e tratamento da biomassa, revela-se um dos principais impactes da recolha de material combustível [6.4.11].

6.4.2.3. Recursos hídricos

A floresta desempenha um importante papel na proteção e regulação dos fluxos hídricos, funcionando também como filtro, melhorando assim a qualidade da água. Além disso, controla a escorrência de água nas encostas resultantes de fortes chuvadas, e impede a libertação de nutrientes para as águas subterrâneas. Estas funções são realizadas pelos desperdícios resultantes das atividades florestais e pela madeira morta, pelo que a colheita de biomassa poderá reduzir o potencial protector da floresta. Para minimizar este efeito, as florestas situadas em áreas de proteção especial são normalmente geridas de uma forma mais restrita, o que significa que a remoção de árvores em grande escala é evitada [6.4.12]. Perante estes factos, é importante garantir que a recolha de biomassa florestal não aumente as pressões já existentes. No entanto, a quantidade de biomassa que pode ser explorada não é consensual nem clara. Diversos estudos realizados recentemente pretendem trazer a público a noção de exploração sustentável de biomassa [6.4.13-6.4.16]. Este conceito representa a quantidade de biomassa disponível teoricamente para a geração de energia, baseada na suposição de que a sua produção e utilização não exerce pressões adicionais na biodiversidade, solo e recursos hídricos, em comparação com a situação sem produção de bioenergia. É importante referir que este conceito não se prende diretamente com a quantidade de biomassa explorada, mas sim à forma como a exploração é realizada. Mesmo a menor taxa de exploração poderá resultar numa pressão ambiental muito significativa, a não ser que sejam aplicados incentivos e salvaguardas adequados [6.4.17]. De forma a garantir que a recolha de biomassa é sustentável sugerem-se os seguintes critérios:

- Impedir a intensificação da exploração em áreas protegidas: uma porção significativa da área de floresta europeia tem funções protetoras. Estas áreas pretendem contribuir para a conservação da natureza, e a sua gestão é feita com base em legislação nacional específica ou pela rede Natura2000 europeia.
- Deixar no local de exploração folhas, raízes e madeira morta: os resíduos florestais fornecem nutrientes ao ecossistema florestal, reduz o risco de erosão do solo e regulam os recursos hídricos. Estando os nutrientes mais concentrados nas folhas, faz sentido que, para conservar a produtividade florestal, estas sejam deixadas no local. Além disso, as folhas e raízes funcionam como tapete sobre o qual circulam os veículos pesados, atenuando a compactação do solo. Relativamente à madeira morta, esta funciona como habitat para algumas espécies e a sua permanência na floresta é fundamental para minimizar a perturbação do ecossistema.

- Adaptar a taxa de extração às especificações locais: por exemplo, em áreas com maior risco de erosão do solo ou com menor disponibilidade de nutrientes, a taxa de extração deverá ser reduzida. Relativamente à fertilização, a reciclagem das cinzas produzidas na central poderá funcionar como incremento na aptidão dos solos à extração.
- Aumentar a proporção de áreas florestais protegidas: a produção de bioenergia a partir de material florestal não deve contrariar a tendência de aumentar a quota de áreas protegidas, como medida de conservação da biodiversidade.
- Aumentar a quantidade de madeira morta: uma substancial parte da biodiversidade florestal europeia depende da madeira morta. Assim, deve ser deixada na floresta parte da madeira morta ou madura (aproximadamente 5% do volume do povoamento), após a colheita [6.4.18].

Posto isto, os mesmos estudos sugerem que apenas 70% dos resíduos deverão ser retirados das florestas, sendo que os restantes 30% terão como função minimizar os efeitos negativos da recolha da biomassa florestal.

6.4.3. Impactes ambientais associados ao transporte de biomassa

O transporte de biomassa refere-se quer à movimentação dentro da floresta, quer desta para o ponto de consumo. Em ambos os casos, os aspetos ambientais já foram referidos anteriormente. De uma forma sintetizada, aquando do transporte no interior da floresta, o principal aspeto a mencionar é a compactação do solo e os efeitos que desta resultam. No caso do transporte entre a floresta e a central, o aspeto a sublinhar é a emissão de GEE. É neste campo que a neutralidade em termos de emissões de dióxido de carbono, defendida quando se fala do aproveitamento da biomassa florestal como recurso energético, é posta em causa [6.4.19].

6.4.4. Impactes ambientais associados à combustão de biomassa

6.4.4.1. Emissões

A nível ambiental é necessário ter em consideração que, aquando da combustão de qualquer combustível, fóssil ou não, são libertados para a atmosfera gases, resultantes da reação dos componentes do combustível com o ar [6.4.20]. As emissões gasosas resultantes da queima de biomassa são usualmente constituídas por partículas, óxidos de azoto (NO_x), e monóxido de carbono (CO) [6.4.21]. Sendo o conteúdo de elementos como o enxofre ou o azoto, menor na biomassa do que em combustíveis fósseis, é de esperar que a emissão de gases nocivos para a atmosfera seja bastante inferior, o que se revela um argumento a favor para os projetos de bioenergia.

No entanto, deve-se ter em atenção a grande variabilidade de características deste recurso, assim como do próprio processo de queima (nomeadamente no que respeita à temperatura da combustão) [6.4.22]. Para a minimização das emissões, devem ser instaladas as melhores técnicas disponíveis, que passam, por exemplo, pela incorporação de equipamentos de tratamento de efluentes, tais como os sistemas de multiciclones ou filtros de mangas para retenção de partículas. A introdução de processos de análise dos gases emitidos, assim como a sua monitorização, é indispensável para o cumprimento da legislação aplicada, nomeadamente no que se prende com os valores limite de emissões [6.4.23].

É também importante ter em atenção que as emissões têm impactes significativos para as populações residentes nas imediações da central. A proximidade a edifícios, assim como a topografia do terreno e conteúdo dos gases emitidos, afeta diretamente as dimensões da chaminé de dispersão (Figura 6.4.2). A sua altura deverá ser calculada tendo por base o balanço entre a mitigação do conteúdo da pluma e o seu impacte visual. Este procedimento inclui a monitorização das emissões, garantindo que os limites legais são cumpridos, sendo que os resultados devem ser expostos à opinião pública [6.4.24].



Figura 6.4.2. Aspeto de uma chaminé industrial que faz a emissão para a atmosfera de um conjunto de caldeiras de vapor e de óleo térmico de uma unidade industrial de tinturaria têxtil de grandes dimensões, localizada no norte de Portugal.

Além das emissões referidas, a combustão incompleta do combustível, como resultado da utilização de tecnologias pouco eficientes, leva à libertação de hidrocarbonetos e partículas. Estas emissões têm efeitos diretos na saúde das populações e na qualidade do ar e, quando associadas a fenómenos de inversão atmosférica, são muito preocupantes [6.4.25].

Ainda relativamente às tecnologias de combustão, disponíveis para a produção de energia no geral e combustíveis florestais em particular, ainda há um longo caminho a percorrer [6.4.26]. A falta de tradição no que se prende com o desenvolvimento de sistemas que tenham por base as energias renováveis representa o maior obstáculo no desenvolvimento de novos projetos de bioenergia. No entanto, a modernização dos sistemas de combustão está em curso, não só para a minimização dos impactes ambientais, mas também porque quanto melhores forem as tecnologias disponíveis mais conveniente é o seu uso e mais eficiente é a queima da biomassa [6.4.27].

Além dos gases, o funcionamento da central a biomassa gera um efluente líquido, resultante das purgas da caldeira e do circuito de água de arrefecimento, com uma carga poluente reduzida [6.4.28]. Estes efluentes podem afetar os recursos hídricos e solo, pelo que devem ser encaminhados para uma estação de tratamento de águas residuais, sendo os seus parâmetros de qualidade verificados e ajustados à legislação em vigor [6.4.29].

6.4.4.2. Chuvas ácidas

Além de afetar a qualidade do ar, a libertação de enxofre e óxidos de azoto, resultantes da queima de combustíveis fósseis, potencia a formação de chuvas ácidas. Este fenómeno tem sido responsável pela introdução de poluentes nos leitos dos rios, afetando também os seres humanos, animais e todas as formas de vida. Assim, e como foi exposto anteriormente, por possuir um baixo conteúdo nestes elementos, a queima de biomassa permite reduzir as emissões, diminuindo a ocorrência de chuvas ácidas [6.4.30].

6.4.4.3. Produção de cinzas

Da combustão da biomassa resultam cinzas cujas características dependem diretamente da composição da matéria lenhosa. Usualmente, estas são utilizadas como fertilizantes naturais do solo, compensando desta forma a exportação de nutrientes que ocorre quando os resíduos florestais são retirados da floresta. Assim sendo, devem-se analisar as cinzas resultantes, avaliando o seu conteúdo em metais pesados e outros elementos potencialmente contaminantes do solo. Uma vez que a biomassa utilizada para combustão é mantida de forma a que não possa ser contaminada, a reciclagem das cinzas após estabilização é ambientalmente aceitável [6.4.31]. A Figura 6.4.3 apresenta uma amostra de cinzas retirada de uma caldeira de produção de água quente.



Figura 6.4.3. Amostra de cinzas recolhidas de uma caldeira de produção de água quente.

6.4.5. Conclusões

A utilização de biomassa para produção de energia acarreta alguns impactes de natureza ambiental significativos que necessitam sempre de análise cuidada. Apesar disso, estes impactes são sempre menos significativos dos que os impactes causados pela utilização de combustíveis de origem fóssil.

No entanto, existem alguns aspetos que é necessário ter em atenção, nomeadamente com os aspetos relacionados com a recolha, transporte e pré-processamento da biomassa, até chegar ao momento de poder ser utilizada como combustível, já que no decurso do percurso desde a floresta até ao utilizador final, todas as etapas já referidas recorrem a combustíveis de origem fóssil como fontes de energia.

Capítulo 7

Conclusão

7.1. Contribuições

A utilização da biomassa como fonte de energia é sem dúvida a alternativa que contempla a vocação natural de Portugal que, devido à inexistência de recursos energéticos de origem fóssil, se vê obrigado à importação destes produtos, colocando o país numa situação de dependência externa face a terceiros, com todas as implicações que daí advêm.

Por este motivo, quase como um desígnio nacional, e também por imperativos de ordem política e económica, Portugal tem desenvolvido esforços no sentido de encontrar alternativas energéticas que permitam fazer face à crescente procura de energia que uma sociedade em desenvolvimento necessita.

Prova disso, e como se teve oportunidade de analisar nos Capítulos 3 e 4, a floresta Portuguesa tem despertado um crescente interesse nos últimos anos, com a área florestal a crescer de forma a ser capaz de fornecer os seus principais utilizadores, que são a indústria da pasta de papel, a indústria da cortiça e a produção de combustíveis sólidos derivados de biomassa, como os *pellets*, os *briquettes* e a estilha.

De entre as diversas formas de energia renovável, e após um caminho que conduziu o país a posições cimeiras no que respeita à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, surge a biomassa como mais um recurso endógeno, mas que ainda não está a ser explorado convenientemente, mas de que Portugal possui grande riqueza e diversidade.

Entretanto, apesar do seu comprovadamente elevado potencial, a biomassa florestal não recebeu ainda por parte das entidades governantes a atenção necessária na conceção da matriz energética portuguesa. Diante da atual crise económica, os baixos custos associados à produção de biomassa, decorrentes da alta produtividade, mostram que é necessário repensar o uso de biomassa como fonte de energia.

Em termos sociais e ambientais, as vantagens da biomassa são inúmeras. Como se teve oportunidade de demonstrar no Capítulo 6, se obtida de forma sustentável a sua gestão e utilização em larga escala para fins energéticos pode promover o desenvolvimento sustentável de áreas rurais e regiões pouco desenvolvidas, reduzindo o êxodo das populações para as áreas densamente urbanizadas, uma vez que promove a criação de atividade empresarial local, criando riqueza e emprego. Este emprego pode ainda recorrer a mão-de-obra sazonal, que vai rodando entre tarefas de natureza agrícola, pecuária e de outras atividades de exploração florestal, como são a resinagem ou a cortiça. Desta forma permite-se que as populações rurais se possam fixar e manter nas localidades do interior do país, contribuindo para a geração de riqueza e combatendo a desertificação do interior.

No entanto, para que as potencialidades da biomassa sejam devidamente aproveitadas, é necessário que as entidades com capacidade de decisão sobre o sector energético reconheçam a sua importância como vetor de desenvolvimento regional e de sustentabilidade. É preciso, portanto, maior incremento à investigação e desenvolvimento de projetos industriais de aproveitamento energético de biomassa, com vista à oferta local de empregos e à melhoria do padrão de vida das comunidades que habitam as regiões do interior, que fruto da falta de oportunidades de trabalho e de desenvolvimento têm levado a que as suas populações procurem melhores condições de vida nas regiões do litoral, ou mesmo no estrangeiro.

O presente trabalho teve como objetivo analisar as perspetivas de utilização de biomassa como alternativa energética para o aumento da competitividade e sustentabilidade da indústria portuguesa, objetivo que se tentou demonstrar ao longo do Capítulo 5 com a análise dos cinco casos de estudo apresentados.

Esta utilização de biomassa enquanto motor de desenvolvimento pode ser abordada de duas perspetivas. A primeira é como fonte energética alternativa aos combustíveis fósseis tradicionais, como o carvão, o gás natural e os diferentes tipos de fuelóleo, tanto para produção de energia elétrica como na geração de energia térmica, promovendo a competitividade pois permite a redução de custos energéticos, e a sustentabilidade pois aumenta as percentagens de incorporação de energia de fontes renováveis. A segunda perspetiva é a criação de um novo sector industrial por si só. Ou seja, para além da utilização da biomassa como combustível alternativo e renovável, é necessário criar toda uma estrutura, já em desenvolvimento crescente, que abarca toda a cadeia de fornecimento, desde a recolha da biomassa, ao pré-processamento, ou mesmo ao processamento com a transformação em produtos com maior valor acrescentado, até ao transporte para o consumidor final.

Enquadram-se nesta última perspetiva o caso relatado dos *pellets* de biomassa, que são por si só uma indústria crescente, florescente, com altíssimas taxas de exportação, criadoras de emprego direto e indireto, localizadas em pontos estratégicos do país, normalmente próximos das fontes de matéria-prima, no interior, permitindo desta forma uma criação de riqueza local e contribuindo para o desenvolvimento de regiões mais desfavorecidas.

Esta é uma indústria que serve de incentivo ao desenvolvimento de outros negócios associados, nomeadamente o de toda a exploração e gestão florestal, e que veio permitir também a diversificação deste sector, que tradicionalmente apenas fornecia matéria-prima para a sempre dominante indústria da pasta do papel, ou da indústria dos aglomerados de madeira e mobiliário.

Com o desenvolvimento da indústria dos *pellets* de biomassa, abriu-se uma janela de oportunidade para o desenvolvimento do negócio do fornecimento de combustíveis alternativos para determinados sectores industriais, grandes consumidores de energia primária, principalmente para a geração de energia térmica, como é o caso que se apresentou neste trabalho da indústria de tinturaria têxtil, mas que pode ser extensível a outros sectores industriais, como a indústria agropecuária, curtumes, entre outros.

Assim, a biomassa afirma-se como uma alternativa sustentável para a produção de energia, sendo uma opção que deve ser tida em conta tanto para a produção de calor como de eletricidade, pois apresenta diversas vantagens, nomeadamente do ponto de vista ambiental, com a redução das emissões de GEE, promoção da gestão e organização do espaço florestal, eliminação de resíduos industriais biomássicos através da sua valorização energética, criação de emprego, desenvolvimento de novos negócios associados, utilização de recursos endógenos, diminuição da dependência externa do país e, talvez o mais importante de todos e que permitirá facilitar a adesão por parte dos potenciais consumidores, o fornecimento de energia mais barata.

Por outro lado, a biomassa por si só potencia a criação de novos negócios, dos quais são exemplo a indústria de produção de *pellets* e *briquettes*, ou os centros logísticos, que funcionam como entrepostos intermediários para o fornecimento de matérias-primas, por exemplo para a indústria dos *pellets*, ou como unidades de fornecimento de estilha calibrada, que depois é fornecida como combustível.

Salienta-se também o facto de, para além de ser um recurso endógeno, também pode recorrer, na sua utilização, a tecnologia maioritariamente nacional, pois no caso das aplicações para produção de energia térmica, Portugal tem um leque alargado de construtores de caldeiras e fornalhas, com larga experiência, que produzem equipamentos que se situam na vanguarda tecnológica, tanto do ponto de vista da eficiência como do ponto de vista do controlo ambiental.

A utilização de energias renováveis em países como Portugal reduz a dependência externa destes de petróleo e seus derivados e aumenta a diversificação da matriz energética, garantindo o fornecimento de energia. Esta utilização de energias renováveis tem impactes positivos da substituição dos combustíveis fósseis, tais como a redução de emissões atmosféricas e seus consequentes efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, para além da geração de empregos diretos e indiretos, mais intensiva do que as outras formas de energia. Por exemplo, no caso da biomassa são produzidos empregos desde a produção agrícola até aos processos industriais.

Com base nas pesquisas realizadas foi possível observar que as regiões em desenvolvimento são, ainda hoje, fortemente dependentes de combustíveis fósseis e da biomassa tradicional como fontes de energia apenas no sector residencial, onde são utilizados para aquecimento.

Uma questão que foi discutida, mas que merece ser reafirmada, é a necessidade de levantamento de dados estatísticos mais rigorosos relativos ao uso de biomassa. São estes dados que permitirão, a breve prazo, ter uma noção precisa do estado de desenvolvimento da implantação da biomassa face aos restantes combustíveis, e que servirão para um controlo e gestão dos recursos existentes.

A sociedade em geral atravessa um momento de especial importância, em que não apenas a comunidade científica encara com particular atenção o problema das alterações climáticas globais, cuja principal causa é a emissão de GEE, produzidos principalmente a partir da utilização de combustíveis fósseis para a produção de energia e no sector dos transportes. Este momento abre uma oportunidade importante para a divulgação e o incentivo ao uso de fontes renováveis para produção de energia.

Além disso, as perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo em algumas dezenas de anos, e a instabilidade política e social das regiões onde estão localizadas as maiores reservas de combustíveis fósseis, são motivo de preocupação para os países fortemente dependentes da importação destes produtos energéticos.

Não só o uso de energias renováveis, mas também a questão da sustentabilidade do uso dos recursos naturais deve ser salientada. No caso específico da biomassa tradicional, a sua utilização desmedida tem como consequências diretas a desflorestação e os subsequentes danos à saúde e ao meio ambiente.

Como foi apresentado no decorrer deste trabalho, a utilização da biomassa como alternativa energética pode ser um vetor para induzir o desenvolvimento sustentável de regiões do interior do país, contribuindo para a fixação das populações devido à criação de emprego e de novas oportunidades de negócio, estancando o êxodo das populações para o litoral ou mesmo para o estrangeiro.

Especialmente, a utilização de culturas energéticas é capaz de gerar empregos no meio rural, promovendo a fixação de trabalhadores nos campos, criando riqueza e melhorando a qualidade de vida dos cidadãos.

A questão da utilização de energias renováveis nunca esteve tão em voga como no momento atual. Estão em curso diversas iniciativas e intenções, mesmo ao nível da União Europeia, para a promoção da utilização dos recursos de biomassa como alternativa.

Assim, entende-se como imprescindível a realização de investigação e análises técnicas com o objetivo de reduzir os custos de produção da biomassa, que contemple os seguintes aspetos:

- Seleção de espécies e procedências mais adequadas para cada região;
- Sistemas de plantação, gestão e recolha;
- Utilização final mais eficiente;
- Estudos técnicos, económicos e financeiros que confirmem maior confiabilidade aos valores utilizados na definição das taxas de reposição florestal obrigatória.

Torna-se também necessário promover campanhas de divulgação, visando a consciencialização e a divulgação aos técnicos responsáveis pelo planeamento energético sobre este importante instrumento para implementar as políticas energéticas para a utilização da biomassa florestal, nomeadamente sobre as potencialidades, vantagens e desvantagens, tecnologias de utilização e mesmo sobre os tipos de biomassa.

A utilização crescente de biomassa também antevê o desenvolvimento das atuais tecnologias de utilização e conversão. Este desenvolvimento está bem patente nas evoluções registadas nos equipamentos que atualmente se instalam, principalmente para produção de calor como é o caso das caldeiras, mas também na evolução e desenvolvimento de novos produtos derivados da biomassa.

Estes desenvolvimentos passam, por exemplo, pelo surgimento de novas tecnologias como a gasificação ou a torrefação. Esta última afigura-se como a evolução natural da atual indústria dos *pellets* de biomassa, com vantagens claras sobre esta, principalmente no que respeita às características intrínsecas dos produtos finais: natureza hidrofóbica, maior poder calorífico e maior densidade.

Atualmente, a torrefação de biomassa ainda é uma tecnologia experimental, mas que pelas características dos produtos daí resultantes se afigura como uma tecnologia promissora e que desperta a curiosidade e o interesse por parte dos investidores do sector. Neste momento, em Portugal existem dois projetos em desenvolvimento, que colocam o país na vanguarda do desenvolvimento desta tecnologia.

Assim, a título de conclusão, pode-se afirmar que a biomassa é uma alternativa energética viável, que de forma consistente pode contribuir para a sustentabilidade e competitividade da indústria portuguesa, tanto por ser uma alternativa aos combustíveis tradicionalmente utilizados, de origem fóssil, como por poder ser o objeto por si só da criação e desenvolvimento de novos negócios relacionados com a sua produção e fornecimento, ou mesmo processamento, como é o caso da produção de *pellets* de biomassa ou da torrefação de biomassa.

Desta forma, a biomassa contribui para a sustentabilidade da indústria pois permite o fornecimento ao mercado de formas de combustíveis provenientes de fontes renováveis, que vão permitir ao país o cumprimento das incorporações de energias renováveis definidas pela União Europeia, ao mesmo tempo que reduzem os custos energéticos. Tendencialmente, estes recursos energéticos ainda conseguem, na maior parte dos casos, permitir poupanças significativas quando comparados com os combustíveis tradicionais de origem fóssil. Exemplo desta poupança nos custos energéticos foi demonstrado no estudo apresentado no Capítulo 5, na Secção 5.3.

No entanto, por exemplo para as questões relacionadas com a produção de energia elétrica nas centrais dedicadas, para haver uma competitividade económica real também deverão ser incluídos nos custos energéticos todas as externalidades, ou seja, os custos e benefícios associados às questões de natureza social e ambiental, que se vão repercutir diretamente nas questões de natureza económica, e por sua vez nas questões de planificação estratégica.

Por outro lado, a contribuição que a biomassa pode dar para o aumento da competitividade da indústria portuguesa passa pelo equilíbrio que pode dar à economia nacional com a redução das importações de produtos energéticos, que permite ao país diminuir a dependência externa face terceiros, e passar a utilizar os recursos endógenos, com todas as vantagens associadas.

7.2. Limitações da investigação

Como todas as investigações, esta também teve as suas limitações, e que surgem de diferentes perspetivas.

A principal limitação foi a dificuldade em encontrar exemplos demonstrativos das utilizações de biomassa como fonte energética alternativa na indústria, e que dispusessem de histórico representativo que permitisse averiguar de forma segura os resultados a longo prazo. Todos os exemplos apresentados no presente trabalho foram acompanhados praticamente desde o seu início, e em alguns casos tiveram mesmo origem na presente investigação.

Apesar de tudo, no caso em que se discute a biomassa não só como alternativa energética, mas antes como uma oportunidade para a criação e desenvolvimento de novos negócios por si mesma, a biomassa afigurou-se como um sector já maduro do ponto de vista industrial e que, apesar de praticamente não existir mercado interno, soube desenvolver-se virado para o exterior, exportando a quase totalidade da sua produção.

A não existência de mercado interno foi outra limitação desta investigação, pois por ser um assunto ainda praticamente desconhecido, levantou inúmeras dificuldades na aceitação da simples análise da possibilidade de ser utilizada a biomassa como fonte energética alternativa aos combustíveis tradicionais, como o gás natural, o gás propano ou mesmo a nafta, que para muitos ainda continua a ser a única possibilidade.

Esta limitação começa agora a ser ultrapassada, após a entrada em funcionamento dos primeiros projetos de natureza industrial, nomeadamente associados à produção de vapor ou em caldeiras de óleo térmico, servindo estes exemplos como projetos demonstrativos que permitem que o conhecimento relativamente a estes assuntos comece a ser mais difundido e discutido.

Após a realização desta investigação, também se pode concluir que se pode entender como uma limitação o facto de haver um grande desconhecimento das questões ambientais levantadas pela utilização da biomassa, tanto como recurso energético alternativo, como enquanto sector industrial por si mesmo, já que não existem trabalhos aprofundados sobre estas questões aplicadas à nossa realidade nacional. Associados a estes estudos de cariz ambiental, estão também diretamente ligados os estudos de análise aos impactes de natureza social e económica, de que não se encontram exemplos aprofundados também da nossa realidade, mas que são determinantes para a avaliação da profundidade, o alcance e o efeito que o desenvolvimento de um sector de exploração de biomassa pode ter realmente na sustentabilidade e competitividade da indústria Portuguesa.

Relativamente às novas tecnologias de conversão de biomassa para fins energéticos, também aqui se encontram limitações de diversa ordem, nomeadamente o facto de serem altamente inovadoras, sem registo de exemplos industriais significativos, estando muitas delas ainda em fase de prova de conceito. Disto é exemplo a torrefacção, que em Portugal começa agora a dar os primeiros passos, mas que se afigura como uma tecnologia promissora e que poderá constituir a evolução natural das tradicionais fábricas de *pellets* de biomassa convencionais. No entanto, esta tecnologia ainda requer mais tempo para maturar o seu processo, até que se torne numa tecnologia *ready-to-work*. Por este motivo, também foram encontradas muitas dificuldades na recolha de dados e de exemplos comparativos com os quais se pudessem construir modelos de tendência, já que não há unanimidade relativamente às diferentes formas que a tecnologia pode adotar.

7.3. Perspetiva de trabalhos futuros

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. Desta forma, torna-se relevante um bom planeamento energético por parte de todos os países.

O planeamento energético envolve a determinação do tipo de tecnologia de geração de energia que melhor irá atender aos objetivos da sociedade. As decisões sobre os modelos energéticos a seguir e a desenvolver são complexas por natureza e requerem conhecimento do contexto económico, ambiental e social dentro das quais os projetos vão ter lugar.

Apesar de todo o conhecimento que existe atualmente sobre biomassa, tanto na perspetiva de combustíveis como de tecnologias de conversão e de processamento, será necessário continuar o esforço de aprofundamento sobre estes temas de forma a manter a biomassa numa perspetiva de crescimento e de adaptabilidade à evolução dos mercados e das necessidades dos consumidores. Este desenvolvimento permitirá inclusive o aproveitamento de novas oportunidades que possam surgir, por exemplo, no sector dos transportes, ou da produção de outras formas de combustíveis derivados de biomassa.

Nesta perspetiva, entende-se como oportuno o desenvolvimento potencial das seguintes linhas de investigação:

- Desenvolvimento de tecnologias de conversão térmica de biomassa, através de torrefacção e/ou carbonização, tendo em vista a utilização de novas formas de biomassa, nomeadamente formas menos nobres, mais abundantes e de crescimento mais rápido, como é o caso de plantas arbustivas. Pretende-se com esta investigação descobrir novas culturas que não concorram diretamente com as tradicionais culturas de pinheiro e eucalipto para fins energéticos, uma vez que a torrefacção e/ou carbonização permite uma homogeneização do produto final. Ou seja, transformar má matéria-prima em produto final de boa qualidade para fins energéticos.
- Desenvolvimento de tecnologias de combustão adaptadas aos produtos gerados por torrefacção e/ou carbonização. Desta forma pretende-se otimizar as tecnologias de combustão, aumentando o rendimento dos equipamentos.
- Desenvolvimento de novas formas de combustíveis a partir de biomassa torrificada e/ou carbonizada, nomeadamente a produção de novas formas de combustíveis sólidos através da densificação (produção de *pellets* ou *briquettes*), a produção de combustíveis gasosos e a produção de combustíveis líquidos, tanto por liquefação como por produção de “slurries”.
- Desenvolvimento de equipamentos para conversão energética de biomassa adaptados às necessidades nacionais, nomeadamente às indústrias dominantes, como o sector têxtil ou o sector agropecuário.
- Estudos das potencialidades dos recursos de biomassa nacionais, para além dos enquadrados na biomassa florestal, de forma a potenciar a utilização de recursos potenciais que atualmente não têm utilização.

Com o desenvolvimento destas novas linhas de investigação, entende-se e perspectiva-se que será possível dar um novo salto qualitativo e quantitativo, já que o desenvolvimento de novas tecnologias de conversão e processamento da biomassa permitirá a utilização de outras formas de biomassa menos utilizadas atualmente, devido às dificuldades e constrangimentos que acarretam, mas também a possibilidade de utilização de energia derivada da biomassa em situações que atualmente não são sequer equacionadas, ou que o sendo, apenas acontece numa perspectiva meramente académica e não de forma generalista e industrial.

7.4. Publicações

Quando se adota um determinado tema de investigação original e cujos trabalhos têm como objetivos principais não só contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico da área escolhida, mas também a obtenção de um determinado grau académico pós-graduado, como é o caso desta tese, é fundamental que à medida que as diferentes tarefas previamente planeadas vão sendo cumpridas, que os respetivos resultados sejam publicados periodicamente com a finalidade de os submeter à apreciação da comunidade científica, bem como de incentivar a discussão e a troca de ideias despontando, usualmente, no aperfeiçoamento daqueles resultados. Em consequência, e de acordo com esta postura, é feita a apresentação da lista de trabalhos publicados, aos quais as contribuições desta tese deram origem.

Publicações científicas em revistas

- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Energy recovery from cork industrial waste: production and characterisation of cork *pellets*", *Fuel* (ELSEVIER), Vol. 113, pp. 24-30, November 2013 – *Indexado às bases de dados ISI Web of Science e SCOPUS*. Nota: Revista tipo 'A' do IST (Revista Internacional de muito elevada qualidade, selecionada pelo Conselho Científico do IST). Já com **1 citação** por outros autores.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.052>
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Mixed biomass *pellets* for thermal energy production: a review of combustion models", *Applied Energy* (ELSEVIER), Vol. 127, pp. 135-140, August 2014 – *Indexado às bases de dados ISI Web of Science e SCOPUS*. Nota: Revista tipo 'A' do IST (Revista Internacional de muito elevada qualidade, selecionada pelo Conselho Científico do IST). Já com **3 citações** por outros autores.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.042>
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Biomass waste co-firing with coal applied to the Sines thermal power plant in Portugal", *Fuel* (ELSEVIER), Vol. 132, pp. 153-157, September 2014 – *Indexado às bases de dados ISI Web of Science e SCOPUS*. Nota: Revista tipo 'A' do IST (Revista Internacional de muito elevada qualidade, selecionada pelo Conselho Científico do IST). Já com **1 citação** por outros autores.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.088>

- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "A review on torrefied biomass *pellets* as a sustainable alternative to coal in power generation", *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (ELSEVIER), Vol. 40, pp. 153-160, December 2014 – *Indexado às bases de dados ISI Web of Science e SCOPUS*. Nota: Revista tipo 'A' do IST (Revista Internacional de muito elevada qualidade, selecionada pelo Conselho Científico do IST). Já com **3 citações** por outros autores.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.181>
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Analysis of the use of biomass as an energy alternative for the Portuguese textile dyeing industry", *Energy* (ELSEVIER), March 2015 (accepted). Nota: Revista tipo 'A' do IST (Revista Internacional de muito elevada qualidade, selecionada pelo Conselho Científico do IST).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.052>

Publicações científicas em atas de conferências

- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Characterization of torrefied biomass *pellets* for co-firing with coal in thermal power plants", in: *Proc. of the 13th Spanish Portuguese Conference on Electrical Engineering – 13CHLIE*, Valencia, Spain, CD-R, 3-5 July, 2013.
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Economic evaluation and experimental setup of biomass energy as sustainable alternative for textile industry", in: *Proc. of the 48th International Universities' Power Engineering Conference – UPEC 2013* (technically co-sponsored by IEEE), Dublin, Ireland, USB flash drive, 2-5 September, 2013 – *Indexado às bases de dados ISI Web of Science e SCOPUS*.
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Application of biomass for the production of energy in the Portuguese textile industry", in: *Proc. of the 2nd International Conference on Renewable Energy Research and Applications – ICRERA 2013* (technically co-sponsored by IEEE), Madrid, Spain, USB flash drive, 20-23 October, 2013 – *Indexado à base de dados SCOPUS*.
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Use of biomass waste: theoretical model of co-firing applied to Sines thermal power plant", in: *Proc. of the International Conference on Engineering UBI 2013 – ICEUBI 2013*, Covilhã, Portugal, CD-R, November 27-29, 2013.
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Economic and sustainability comparative study of wood *pellets* production in Portugal, Germany and Sweden", in: *Proc. of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ'14*, Cordoba, Spain, CD-R, 8-10 April, 2014. Já com **1 citação** por outros autores.
- L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão, "Production and characterisation of cork *pellets*: an alternative for sustainable energy recovery", in: *Proc. of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ'14*, Cordoba, Spain, CD-R, 8-10 April, 2014.

Referências bibliográficas

Capítulo 1. Introdução

- [1.1] Louro, Graça, et al. "As Fileiras Baseadas na Floresta: Análise Sectorial." *Silva Lusitana* 21. ESPECIAL (2013): 01-19.
- [1.2] Sarmiento, Elsa de Morais, and Vanda Dores. "Políticas Públicas de Apoio à Fileira Florestal em Portugal." *Silva Lusitana* 22.1 (2014): 117-134.
- [1.3] Sarmiento, Elsa de Morais, and Vanda Dores. "Desafios para a Gestão: Ambiental da Fileira Florestal em Portugal." *Silva Lusitana* 21.1 (2013): 01-19.
- [1.4] Gonçalves, A. C., A. Sousa, and J. R. M. Silva. "Florestas em climas mediterrânicos e biomassa para energia: um caso de estudo para o pinheiro bravo." II Workshop (BIO) Energia. 2013.
- [1.5] Valente, Sandra, et al. "Forest intervention areas (ZIF): a new approach for non-industrial private forest management in Portugal." *Silva Lusitana* 21.2 (2013): 137-161.
- [1.6] Reis, Pedro, et al. "Sistemas agroflorestais em Portugal continental: Parte I: economia e distribuição geográfica." *Revista de Ciências Agrárias* 37.2 (2014): 113-121.
- [1.7] Morais Sarmiento, Elsa, Vanda Dores, and Guida Nogueira. "A competitividade e a diversificação da fileira florestal portuguesa." *Notas Económicas* 37 (2013): 50-74.
- [1.8] Sarmiento, Elsa, and Vanda Dores. "A Fileira Florestal no Contexto da Economia Nacional: A Produtividade e a Especialização Regional." *Silva Lusitana* 21.Especial (2013): 21-37.
- [1.9] Paulo, Joana Amaral, and Margarida Tomé. "Estimativa das Produções de Cortiça Virgem Resultantes das Operações de Desbastes e Desboia em Montados de Sobro em Fase Juvenil." *Silva Lusitana* 22.1 (2014): 29-42.
- [1.10] Budke, Willian Rannow, Antonio Gomes Filho, and Aquila Sousa Silva. "Gestão de resíduos sólidos ea produção de energia biomassa na região do Mato Grande." IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN. 2013.
- [1.11] Pinto, Fabiane Fernandes, et al. "Simulação de custos no uso de fontes alternativas de energia nas indústrias ceramistas de Manacacupu e Iranduba-AM." *Revista de Estudos Contábeis* 3.5 (2013): 99-119.
- [1.12] Silva, Franciani Rodrigues, et al. "Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico." *Revista de Ciências Agroveterinárias* 12.3 (2013): 304-313.
- [1.13] Pedrosa, Talita Dantas, et al. "Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na região Centro-Oeste." *Scientia Plena* 9.5 (2013).
- [1.14] Canadas, Maria João, and Ana Novais. "Proprietários florestais, gestão e territórios rurais." *Análise Social* 211 (2014): 346-381.
- [1.15] Sempiterno, Cristina, and Rui Fernandes. "Valorização agronómica de resíduos da produção de pasta de papel." *Revista de Ciências Agrárias* 37.2 (2014): 232-240.

- [1.16] Pinto, Telma, et al. "Recolha de Biomassa Florestal: Avaliação dos Custos e Tempos de Trabalho." *Silva Lusitana* 21. Especial (2013): 163-176.
- [1.17] Viana, H., et al. "Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal." *Applied Energy* 87.8 (2010): 2551-2560.
- [1.18] Viana, H., et al. "Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain." *Fuel* 102 (2012): 737-745.
- [1.19] Rosa, Maria Fernanda. "Presente e futuro dos biocombustíveis em Portugal e na UE." Ciclo de Conferências "Energia e Sociedade" - 2ª Fase - Conferência "Energia e Transportes: uma articulação complexa mas fundamental para o futuro sustentável". Auditório do Metropolitano, Estação do Alto dos Moinhos. Vol. 25. Nº 03. 2008.
- [1.20] Carneiro, P. Avaliação económica da biomassa para a produção de energia. Diss. MSc thesis, University of Minho, 2010.
- [1.21] Carneiro, Patrícia, and Paula Ferreira. "The economic, environmental and strategic value of biomass." *Renewable Energy* 44 (2012): 17-22.
- [1.22] Fernandes, Liliana, and Paula Ferreira. "Renewable energy scenarios in the Portuguese electricity system." *Energy* 69 (2014): 51-57.
- [1.23] Garcia, Rita, Pedro Marques, and Fausto Freire. "Life-cycle assessment of electricity in Portugal." *Applied Energy* 134 (2014): 563-572.
- [1.24] Castro, Rui. "Uma introdução às energias renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica." Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 1ª Edição (2011).
- [1.25] Mateus, T. "O Potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centrais termoelétricas a biomassa florestal lançadas a concurso." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto (2007).
- [1.26] Fernandes, U., and M. Costa. "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal." *Biomass and Bioenergy* 34.5 (2010): 661-666.
- [1.27] Krajačić, Goran, Neven Duić, and Maria da Graça Carvalho. "How to achieve a 100% RES electricity supply for Portugal?" *Applied energy* 88.2 (2011): 508-517.
- [1.28] Fryda, Lydia, et al. "Lab-scale co-firing of virgin and torrefied bamboo species as a fuel substitute in coal fired power plants." *Biomass and Bioenergy* 65 (2014): 28-41.
- [1.29] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão. "Economic evaluation and experimental setup of biomass energy as sustainable alternative for textile industry." *Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities'. IEEE, 2013.*
- [1.30] Laitinen, Tuuli, et al. "Container logistic innovations in forest-energy sector: Markets, future service concepts and technical improvements." LUT Scientific and Expertise Publications Raportit ja selvitykset-Reports (2014).
- [1.31] Matos, Stelvia, and Bruno S. Silvestre. "Managing stakeholder relations when developing sustainable business models: the case of the Brazilian energy sector." *Journal of Cleaner Production* 45 (2013): 61-73.

- [1.32] Lazzini, Simone, et al. "The Role of Information Systems to Support Performance Management in Public Administration: The Case of the Italian Regulatory Authority for the Energy Sector." *Information Systems, Management, Organization and Control*. Springer International Publishing, 2014. 47-64.
- [1.33] Simoes, Sofia, et al. "The savings of energy saving: interactions between energy supply and demand-side options—quantification for Portugal." *Energy Efficiency* 7.2 (2014): 179-201.
- [1.34] Schmidt, Luísa, and João Guerra. "Do Ambiente ao Desenvolvimento Sustentável: Contextos e Protagonistas da Educação Ambiental em Portugal." *Revista Lusófona de Educação* 25 (2013): 193-211.
- [1.35] Araújo, Luísa, and Maria João Coelho. "Políticas públicas de energia e ambiente: rumo a um país sustentável?" *Sociologia, Problemas e Práticas* 72 (2013): 145-158.
- [1.36] Zhang, Guang J., Ming Cai, and Aixue Hu. "Energy consumption and the unexplained winter warming over northern Asia and North America." *Nature Climate Change* 3.5 (2013): 466-470.
- [1.37] Menegaki, Angeliki N., and Ilhan Ozturk. "Growth and energy nexus in Europe revisited: Evidence from a fixed effects political economy model." *Energy Policy* 61 (2013): 881-887.
- [1.38] Ambiente, Direção Geral. "Programa Nacional para as Alterações Climáticas - Medidas Adicionais Taxa sobre o Carbono para Discussão Pública, 2003." Comissão das Alterações Climáticas, Portugal (2003).
- [1.39] Coelho, Celeste, et al. "A percepção social das alterações climáticas e do risco de cheia." *Actas do 7º Congresso da Água*. 2004.
- [1.40] Henriques, António Gonçalves. "Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas." Instituto Superior Técnico, Mestrado em Engenharia do Ambiente, Lisboa (<https://fenix.ist.utl.pt/disciplinas/pa5/2008-2009/2-semester/convencao-quadro-das-nacoes--unidas-sobre-alteracoes-climaticas>) (2009).
- [1.41] Lauri, Pekka, et al. "Woody biomass energy potential in 2050." *Energy Policy* 66 (2014): 19-31.
- [1.42] Dutta, P. P., et al. "Down Draft Gasification Modelling and Experimentation of Some Indigenous Biomass for Thermal Applications." *Energy Procedia* 54 (2014): 21-34.
- [1.43] Gama, António Pimenta. "O Estudo de Caso Como Metodologia de Investigação em Marketing e Gestão." *Portuguese Journal of Marketing/Revista Portuguesa de Marketing* 25 (2009).
- [1.44] Rosa, Liliana Rita Leiria. *Análise da interação do Design Industrial e Engenharia nas PMEs portuguesas*. Diss. Universidade da Beira Interior, 2013.
- [1.45] Marconi, Marina de Andrade, and Eva Maria Lakatos. *Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados*. Atlas, 2011.
- [1.46] Merriam, Sharan B. *Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from "Case Study Research in Education"*. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104, 1998.

- [1.47] Tellis, Winston. "Application of a case study methodology." *The qualitative report* 3.3 (1997): 1-17.
- [1.48] Silverman, David. *Interpreting qualitative data*. SAGE Publications Ltd, 2015.
- [1.49] Corcoran, Peter Blaze, Kim E. Walker*, and Arjen EJ Wals. "Case studies, make-your-case studies, and case stories: a critique of case-study methodology in sustainability in higher education." *Environmental Education Research* 10.1 (2004): 7-21.
- [1.50] Gerring, John. "Case study research." *Principles and Practices*. Cambridge (2007).

Capítulo 2. Caracterização do sector da energia

- [2.1] Fernandes, Liliana, and Paula Ferreira. "Renewable energy scenarios in the portuguese electricity system." *Energy* 69 (2014): 51-57.
- [2.2] Teixeira, António Rogério Ramos. "Contributos das políticas de energia para um desenvolvimento sustentável." (2012).
- [2.3] Ladeira, David Martins. "O impacte das diferentes fontes de energia renovável na evolução do preço final de eletricidade para o consumidor doméstico da UE-28." (2014).
- [2.4] Grimoni, Jose, Luiz Claudio Galvao, and Miguel Udaeta. *Iniciação a Conceitos de Sistemas Energéticos para o Desenvolvimento Limpo Vol. 58*. EdUSP, 2004.
- [2.5] Rafael, Sandra Isabel Moreira. "A conversão energética de biomassa florestal ea qualidade do ar." (2012).
- [2.6] de Abreu, Yolanda Vieira, and Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira. *Energia, Economia, Rotas Tecnológicas. Textos Seleccionados*. Yolanda Vieira de Abreu, 2010.
- [2.7] Menegaki, Angeliki N. "Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis." *Energy Economics* 33.2 (2011): 257-263.
- [2.8] Fuinhas, José Alberto, and António Cardoso Marques. "Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965-2009)." *Energy Economics* 34.2 (2012): 511-517.
- [2.9] Marvão Pereira, Alfredo, and Rui Manuel Marvão Pereira. "Is fuel-switching a no-regrets environmental policy? VAR evidence on carbon dioxide emissions, energy consumption and economic performance in Portugal." *Energy Economics* 32.1 (2010): 227-242.
- [2.10] Shahbaz, Muhammad, Chor Foon Tang, and Muhammad Shahbaz Shabbir. "Electricity consumption and economic growth nexus in Portugal using cointegration and causality approaches." *Energy policy* 39.6 (2011): 3529-3536.
- [2.11] Belke, Ansgar, Frauke Dobnik, and Christian Dreger. "Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship." *Energy Economics* 33.5 (2011): 782-789.
- [2.12] Apergis, Nicholas, and James E. Payne. "Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries." *Energy policy* 38.1 (2010): 656-660.

- [2.13] Tang, Chor Foon, and Eu Chye Tan. "Electricity consumption and economic growth in Portugal: evidence from a multivariate framework analysis." *The Energy Journal* 33.4 (2012).
- [2.14] Menegaki, Angeliki N. "On energy consumption and GDP studies; A meta-analysis of the last two decades." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014): 31-36.
- [2.15] Oliveira, Carla, and Carlos Henggeler Antunes. "A multi-objective multi-sectoral economy-energy-environment model: Application to Portugal." *Energy* 36.5 (2011): 2856-2866.
- [2.16] Bampatsou, Christina, Savas Papadopoulos, and Efthimios Zervas. "Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption." *Energy Policy* 55 (2013): 426-434.
- [2.17] Yildirim, Ertugrul, and Alper Aslan. "Energy consumption and economic growth nexus for 17 highly developed OECD countries: Further evidence based on bootstrap-corrected causality tests." *Energy Policy* 51 (2012): 985-993.
- [2.18] Chen, Z. M., and G. Q. Chen. "An overview of energy consumption of the globalized world economy." *Energy Policy* 39.10 (2011): 5920-5928.
- [2.19] Monteiro, Eliseu, Vishveshwar Mantha, and Abel Rouboa. "Prospective application of farm cattle manure for bioenergy production in Portugal." *Renewable Energy* 36.2 (2011): 627-631.
- [2.20] Kula, Ferit, Alper Aslan, and Ilhan Ozturk. "Is per capita electricity consumption stationary? Time series evidence from OECD countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.1 (2012): 501-503.
- [2.21] Apergis, Nicholas, and James E. Payne. "On the causal dynamics between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in developed and developing countries." *Energy Systems* 2.3-4 (2011): 299-312.
- [2.22] Odhiambo, Nicholas M. "Energy consumption, prices and economic growth in three SSA countries: A comparative study." *Energy Policy* 38.5 (2010): 2463-2469.
- [2.23] Chu, Hsiao-Ping, and Tsangyao Chang. "Nuclear energy consumption, oil consumption and economic growth in G-6 countries: Bootstrap panel causality test." *Energy Policy* 48 (2012): 762-769.
- [2.24] Bölük, Gülden, and Mehmet Mert. "Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries." *Energy* 74 (2014): 439-446.
- [2.25] Bojnec, Štefan, and Drago Papler. "Economic efficiency, energy consumption and sustainable development." *Journal of Business Economics and Management* 12.2 (2011): 353-374.
- [2.26] De Almeida, Anibal, et al. "Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations." *Energy and Buildings* 43.8 (2011): 1884-1894.
- [2.27] D'Alisa, Giacomo, and Claudio Cattaneo. "Household work and energy consumption: a degrowth perspective. Catalonia's case study." *Journal of Cleaner Production* 38 (2013): 71-79.

- [2.28] Gonçalves, Cátia, Célia Alves, and Casimiro Pio. "Inventory of fine particulate organic compound emissions from residential wood combustion in Portugal." *Atmospheric Environment* 50 (2012): 297-306.
- [2.29] Menegaki, Angeliki N. "Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis." *Energy Economics* 33.2 (2011): 257-263.
- [2.30] Mazur, Allan. "Does increasing energy or electricity consumption improve quality of life in industrial nations?" *Energy Policy* 39.5 (2011): 2568-2572.
- [2.31] Omri, Anis, and Duc Khuong Nguyen. "On the determinants of renewable energy consumption: International evidence." *Energy* 72 (2014): 554-560.
- [2.32] Kiviyiro, Pendo, and Heli Arminen. "Carbon dioxide emissions, energy consumption, economic growth, and foreign direct investment: Causality analysis for Sub-Saharan Africa." *Energy* 74 (2014): 595-606.
- [2.33] Ouedraogo, Nadia S. "Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model." *Energy* 63 (2013): 28-41.
- [2.34] Mainali, Brijesh, et al. "Assessing rural energy sustainability in developing countries." *Energy for Sustainable Development* 19 (2014): 15-28.
- [2.35] Filippini, Massimo, and Lester C. Hunt. "Energy demand and energy efficiency in the OECD countries: a stochastic demand frontier approach." *Energy Journal* 32.2 (2011): 59-80.
- [2.36] Wong, Siang Leng, Youngho Chang, and Wai-Mun Chia. "Energy consumption, energy R&D and real GDP in OECD countries with and without oil reserves." *Energy Economics* 40 (2013): 51-60.
- [2.37] Meng, Ming, James E. Payne, and Junsoo Lee. "Convergence in per capita energy use among OECD countries." *Energy Economics* 36 (2013): 536-545.
- [2.38] Fernandes, U., and M. Costa. "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal." *Biomass and Bioenergy* 34.5 (2010): 661-666.
- [2.39] Lopes, M. A. R., C. H. Antunes, and N. Martins. "Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.6 (2012): 4095-4104.
- [2.40] Tanaka, Kanako. "Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector." *Energy Policy* 39.10 (2011): 6532-6550.
- [2.41] Ferreira, Joaquim, and Manuel Pinheiro. "In search of better energy performance in the Portuguese buildings—The case of the Portuguese regulation." *Energy Policy* 39.12 (2011): 7666-7683.
- [2.42] Moutinho, Victor, Margarita Robaina - Alves, and Jorge Mota. "Carbon dioxide emissions intensity of Portuguese industry and energy sectors: A convergence analysis and econometric approach." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40 (2014): 438-449.
- [2.43] Dincer, Furkan. "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.1 (2011): 713-720.

- [2.44] Amador, João. "Energy production and consumption in Portugal: stylized facts." Economic bulletin and financial stability report articles, Banco de Portugal, Economics and Research Department (2010).
- [2.45] Gonçalves, A. C., A. Sousa, and J. R. M. Silva. "Florestas em climas mediterrânicos e biomassa para energia: um caso de estudo para o pinheiro bravo." II Workshop (BIO) Energia. 2013.
- [2.46] Pereira, Lucas, et al. "SustData: A Public Dataset for ICT4S Electric Energy Research." ICT for Sustainability 2014 (ICT4S-14). Atlantis Press, 2014.
- [2.47] Silva, Filipa Cunha Nobre Pessoa. "Avaliação do potencial da produção de energia eléctrica através de resíduos urbanos em Portugal Continental. Horizonte Temporal 2014-2020." (2014).
- [2.48] Brandão, José Manuel, and Maria de Fátima Neves. "O "binómio" carvão-eletricidade. Um caso exemplar: a Central Lena em Porto de Mós (Portugal)." (2014).
- [2.49] Rocha, Pedro Miguel Campos Ferreira. "Estratégia Nacional para a Energia em Portugal em 2020: eixo da eficiência energética." (2013).
- [2.50] Abreu, Joana Filipa Costa Alves. "A factura eléctrica: as tarifas e preços da energia eléctrica e o défice tarifário em Portugal." (2013).
- [2.51] Pinheiro, Helena, João Paulo Miranda de Castro, and João Carlos Azevedo. "Landscape changes and carbon sequestration in the deilão parish, northeastern Portugal." *Revista Árvore* 38.1 (2014): 41-52.
- [2.52] Louro, Graça, et al. "As Fileiras Baseadas na Floresta: Análise Sectorial." *Silva Lusitana* 21.ESPECIAL (2013): 01-19.
- [2.53] Nunes, Leónia, et al. "Aboveground biomass and net primary production of pine, oak and mixed pine-oak forests on the Vila Real district, Portugal." *Forest Ecology and Management* 305 (2013): 38-47.
- [2.54] Viana, Helder, Paulo Fernandes, and José Aranha. "Equações para Estimar a Biomassa Aérea das Principais Lenhosas Arbustivas no Norte e Centro do País." *Silva Lusitana* 21.ESPECIAL (2013): 99-109.
- [2.55] Monteiro, Eliseu, Vishveshwar Mantha, and Abel Rouboa. "The feasibility of biomass pellets production in Portugal." *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 8.1 (2013): 28-34.
- [2.56] Patrício, Maria do Sameiro, et al. "Produção potencial de biomassa em culturas energéticas lenhosas no Norte de Portugal." (2013).
- [2.57] Vieira, Eriton Geraldo, Daniela Oliveira Gonçalves, and José Boeing. "Áreas De Preservação Permanente: Peculiaridades do Tema no Brasil, Estados Unidos, Portugal e Espanha." *Lex Humana* 6.1 (2014): 44-69.
- [2.58] Araújo, Luísa, and Maria João Coelho. "Políticas públicas de energia e ambiente: rumo a um país sustentável?" *Sociologia, Problemas e Práticas* 72 (2013): 145-158.
- [2.59] Pinto, Telma, et al. "Recolha de Biomassa Florestal: Avaliação dos Custos e Tempos de Trabalho." *Silva Lusitana* 21. Especial (2013): 163-176.

- [2.60] Borrego, Carlos, et al. "As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio." *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos* 2.2 (2014).
- [2.61] Sarmiento, Elsa de Moraes, and Vanda Dores. "Desafios para a Gestão: Ambiental da Fileira Florestal em Portugal." *Silva Lusitana* 21.1 (2013): 01-19.
- [2.62] Pereira, Maria Inês Loureiro Santos. "Bolsa de resíduos: contribuição para a análise da viabilidade da implementação de uma bolsa de resíduos em Portugal." (2013).
- [2.63] Aguiar, Alexandre, Maria Helena Almeida, and Nuno Borralho. "Genetic control of growth, wood density and stem characteristics of *Pinus pinaster* in Portugal." *Silva Lusitana* 11.2 (2003): 131-139.
- [2.64] Cardoso, Sónia Cristina Gomes. *Quantificação de Biomassa Residual em Povoamentos de Pinheiro Manso (Pinus pinea L.)*. Diss. Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [2.65] Freire, Sérgio, Hugo Carrão, and Mário R. Caetano. "Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares." *Actas do VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG'2002)* 13 (2002).
- [2.66] Galante, Miguel. "As causas dos incêndios florestais em Portugal continental." *Atas do 5º Congresso Florestal Nacional*. 2005.
- [2.67] Simas, Filipa Camacho da Silva Pinto. "Disponibilidade de biomassa florestal residual para combustão na central termoelétrica de Sines." (2013).
- [2.68] Gonçalves, A. C., A. Sousa, and J. R. M. Silva. "Florestas em climas mediterrânicos e biomassa para energia: um caso de estudo para o pinheiro bravo." *II Workshop (BIO) Energia*. 2013.
- [2.69] Devy-Vareta, Nicole. "Questões metodológicas e problemática actual da floresta portuguesa." *2º Colóquio Ibérico de Geografia*, Lisboa, 1980, 1982, vol. 1, p. 387-395 (2013).
- [2.70] Silva, Valter, Eliseu Monteiro, and Abel Rouboa. "An Analysis on the Opportunities, Technology and Potential of Biomass Residues for Energy Production in Portugal." (2013).
- [2.71] Rafael, S., et al. "Impact of forest biomass residues to the energy supply chain on regional air quality." *Science of The Total Environment* 505 (2015): 640-648.
- [2.72] Lopes, Luis Filipe Gomes, et al. "Institutionalization of common land property in Portugal: Tragic trends between "Commons" and "Anticommons"." *Land Use Policy* 35 (2013): 85-94.
- [2.73] Almeida Gomes, Ricardo André. "Analysing the impact of energy efficiency measures in the evolution of energy demand in Portugal over the next two decades." (2013).
- [2.74] Shokri, Amin, Eunnyeong Heo, and Jihyo Kim. "Effects of government policies on deploying geothermal electricity in 35 OECD and BRICS countries." *Geosystem Engineering* 17.1 (2014): 11-16.
- [2.75] Wang, Gongliang, et al. "Evaluation of the combustion behaviour and ash characteristics of biomass waste derived fuels, pine and coal in a drop tube furnace." *Fuel* 117 (2014): 809-824.
- [2.76] Rafael, S., et al. "Impact of forest biomass residues to the energy supply chain on regional air quality." *Science of The Total Environment* 505 (2015): 640-648.

- [2.77] Sulman, Benjamin N., Ankur R. Desai, and David J. Mladenoff. "Modeling Soil and Biomass Carbon Responses to Declining Water Table in a Wetland-Rich Landscape." *Ecosystems* 16.3 (2013): 491-507.
- [2.78] Ellabban, Omar, Haitham Abu-Rub, and Frede Blaabjerg. "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 (2014): 748-764.
- [2.79] Cicea, Claudiu, et al. "Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macroeconomic level." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2014): 555-564.
- [2.80] Blennow, Kristina, et al. "Forest owner motivations and attitudes towards supplying biomass for energy in Europe." *Biomass and Bioenergy* 67 (2014): 223-230.

Capítulo 3. A biomassa como fonte de energia

- [3.1] Schueler, Vivian, et al. "Global biomass potentials under sustainability restrictions defined by the European Renewable Energy Directive 2009/28/EC." *GCB Bioenergy* 5.6 (2013): 652-663.
- [3.2] Edenhofer, Ottmar, et al. "On the sustainability of renewable energy sources." *Annual Review of Environment and Resources* 38 (2013): 169-200.
- [3.3] Lamers, Patrick, et al. "Global woody biomass trade for energy." *International Bioenergy Trade*. Springer Netherlands, 2014. 41-63.
- [3.4] Lamers, Patrick, et al. "Global solid biomass trade for energy by 2020: an assessment of potential import streams and supply costs to North-West Europe under different sustainability constraints." *GCB Bioenergy* (2014).
- [3.5] Ahmadi, Pouria, Ibrahim Dincer, and Marc A. Rosen. "Development and assessment of an integrated biomass-based multi-generation energy system." *Energy* 56 (2013): 155-166.
- [3.6] Van Dael, Miet, et al. "A techno-economic evaluation of a biomass energy conversion park." *Applied Energy* 104 (2013): 611-622.
- [3.7] Keegan, Dearbhla, et al. "Cascading use: A systematic approach to biomass beyond the energy sector." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 7.2 (2013): 193-206.
- [3.8] Baghdadi, Nicolas, et al. "Testing different methods of forest height and aboveground biomass estimations from ICESat/GLAS data in Eucalyptus plantations in Brazil." (2013): 1-1.
- [3.9] Long, Huiling, et al. "Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013): 344-352.
- [3.10] Michopoulos, A., et al. "The exploitation of biomass for building space heating in Greece: Energy, environmental and economic considerations." *Energy Conversion and Management* 78 (2014): 276-285.
- [3.11] Gonzalez-Salazar, Miguel Angel, et al. "Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia." *Applied Energy* (2014).

- [3.12] Lee, Roland Arthur, and Jean-Michel Lavoie. "From first-to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity." *Animal Frontiers* 3.2 (2013): 6-11.
- [3.13] Lasek, Janusz A., and Krzysztof Kazalski. "Sulfur Self-retention during Cocombustion of Fossil Fuels with Biomass." *Energy & Fuels* 28.4 (2014): 2780-2785.
- [3.14] McLure Jr, Charles E. *Reforming Subsidies for Fossil Fuel Consumption: Killing Several Birds with One Stone*. No. paper 1312. International Center for Public Policy, Andrew Young School of Policy Studies, Georgia State University, 2013.
- [3.15] Xingang, Zhao, and Liu Pingkuo. "Substitution among energy sources: An empirical analysis on biomass energy for fossil fuel of China." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013): 194-202.
- [3.16] Downie, Adriana, et al. "Approaches to greenhouse gas accounting methods for biomass carbon." *Biomass and Bioenergy* 60 (2014): 18-31.
- [3.17] Repo, Anna, Juha-Pekka Tuovinen, and Jari Liski. "Can we produce carbon and climate neutral forest bioenergy?" *GCB Bioenergy* (2014).
- [3.18] Guest, Geoffrey, Francesco Cherubini, and Anders H. Strømman. "Global warming potential of carbon dioxide emissions from biomass stored in the anthroposphere and used for bioenergy at end of life." *Journal of Industrial Ecology* 17.1 (2013): 20-30.
- [3.19] Jones, Jenny M., et al. "Biomass Combustion: Carbon Capture and Storage." *Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels*. Springer London, 2014. 99-104.
- [3.20] Favero, Alice, and Robert Mendelsohn. "Using markets for woody biomass energy to sequester carbon in forests." *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 1.1 (2014): 75-95.
- [3.21] Pickard, S. C., et al. "Co-firing coal with biomass in oxygen-and carbon dioxide-enriched atmospheres for CCS applications." *Fuel* 137 (2014): 185-192.
- [3.22] Baral, Anil, and Chris Malins. "Comprehensive carbon accounting for identification of sustainable biomass feedstocks." (2014).
- [3.23] Holtsmark, Bjart. "The outcome is in the assumptions: analyzing the effects on atmospheric CO₂ levels of increased use of bioenergy from forest biomass." *GCB Bioenergy* 5.4 (2013): 467-473.
- [3.24] Pyörälä, Piritta, et al. "Effects of Management on Economic Profitability of Forest Biomass Production and Carbon Neutrality of Bioenergy Use in Norway Spruce Stands Under the Changing Climate." *BioEnergy Research* 7.1 (2014): 279-294.
- [3.25] Lamers, Patrick, et al. "Feedstock specific environmental risk levels related to biomass extraction for energy from boreal and temperate forests." *Biomass and Bioenergy* 55 (2013): 212-226.
- [3.26] Walker, Thomas, et al. "Carbon accounting for woody biomass from Massachusetts (USA) managed forests: a framework for determining the temporal impacts of wood biomass energy on atmospheric greenhouse gas levels." *Journal of Sustainable Forestry* 32.1-2 (2013): 130-158.

- [3.27] Kauffman, Nathan, et al. "Producing energy while sequestering carbon? The relationship between biochar and agricultural productivity." *Biomass and Bioenergy* 63 (2014): 167-176.
- [3.28] Stolarski, Mariusz J., et al. "Yield, energy parameters and chemical composition of short-rotation willow biomass." *Industrial Crops and Products* 46 (2013): 60-65.
- [3.29] Cheng, Chih-Hsin, et al. "Biomass carbon accumulation in aging Japanese cedar plantations in Xitou, central Taiwan." *Botanical Studies* 54.1 (2013): 60.
- [3.30] Nussbaumer, T. "Perspectives of biomass combustion and its role in the energy strategy 2050." *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 164.12 (2013): 389-397.
- [3.31] Vaillancourt, K., et al. "A Canadian 2050 Energy Outlook: Analysis with the Multi-Regional Model TIMES-Canada." (2013).
- [3.32] Mohammed, Y. S., et al. "An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy in Ghana." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 20 (2013): 15-25.
- [3.33] Kopetz, Heinz. "Renewable resources: Build a biomass energy market." *Nature* 494.7435 (2013): 29-31.
- [3.34] Brito, Luis Miguel, Isabel Mourão, and João Coutinho. "Compostagem de biomassa de acácia com casca de pinheiro." *Revista de Ciências Agrárias* 37.1 (2014): 59-68.
- [3.35] Omary, M. "Biomass Energy Production Potential and Supply from Afforestation of Wasteland in Rajasthan India." (2013).
- [3.36] Suntana, A. S., E. C. Turnblom, and K. A. Vogt. "Addressing unknown variability in seemingly fixed national forest estimates: aboveground forest biomass for renewable energy." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 35.6 (2013): 546-555.
- [3.37] Pedroli, Bas, et al. "Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity? Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes." *Biomass and Bioenergy* 55 (2013): 73-86.
- [3.38] Singh, Jaswinder. "Overview of electric power potential of surplus agricultural biomass from economic, social, environmental and technical perspective—A case study of Punjab." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015): 286-297.
- [3.39] Schueler, Vivian, et al. "Global biomass potentials under sustainability restrictions defined by the European Renewable Energy Directive 2009/28/EC." *GCB Bioenergy* 5.6 (2013): 652-663.
- [3.40] Singh, Rajbeer, and Andri D. Setiawan. "Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22 (2013): 332-345.
- [3.41] Calado, José, and Gottlieb Basch. "Culturas Energéticas - Potencialidades do Sorgo Sacarino nas Condições de Portugal." *II Workshop (Bio) Energia, Universidade de Évora, Évora.* 2013.
- [3.42] Budke, Willian Rannow, Antonio Gomes Filho, and Aquila Sousa Silva. "Gestão de resíduos sólidos ea produção de energia biomassa na região do Mato Grande." *IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN.* 2013.

- [3.43] Cabana, Teresa Raquel Tita. "Valorização de biomassa florestal como matéria-prima para biocombustíveis." (2013).
- [3.44] Llera, E., et al. "Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013): 262-271.
- [3.45] Tsita, Katerina G., and Petros A. Pilavachi. "Evaluation of next generation biomass derived fuels for the transport sector." *Energy Policy* 62 (2013): 443-455.
- [3.46] Thornley, Patricia, Katie Chong, and Tony Bridgwater. "European biorefineries: Implications for land, trade and employment." *Environmental Science & Policy* 37 (2014): 255-265.
- [3.47] Cambero, Claudia, and Taraneh Sowlati. "Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives-A review of literature." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 36 (2014): 62-73.
- [3.48] Van der Zwaan, Bob, Lachlan Cameron, and Tom Kober. "Potential for renewable energy jobs in the Middle East." *Energy Policy* 60 (2013): 296-304.
- [3.49] Schaeffer, G. J., et al. "The implications of tradable green certificates for the deployment of renewable electricity: mid-term report." *Policy Studies 2012* (2013): 2011.
- [3.50] Ambrose, Aimee. "User and organisational responses to biomass district heating." *Proceedings of the ICE-Urban Design and Planning 167.1* (2013): 35-41.
- [3.51] Severin, Astrid, Katharina Krell, and Simon Hunkin. "How can regions develop successful strategies to promote renewable energy?" *POLICY* (2014).
- [3.52] Ribeiro, Fernando, Paula Ferreira, and Madalena Araújo. "Sustainability assessment of electricity production using a logic models approach." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28 (2013): 215-223.
- [3.53] Yi, Hongtao. "Clean energy policies and green jobs: An evaluation of green jobs in US metropolitan areas." *Energy Policy* 56 (2013): 644-652.
- [3.54] Hennecke, Anna M., et al. "Biofuel greenhouse gas calculations under the European Renewable Energy Directive-A comparison of the BioGrace tool vs. the tool of the Roundtable on Sustainable Biofuels." *Applied Energy* 102 (2013): 55-62.
- [3.55] Correljé, Aad, Martijn Groenleer, and Jasper Veldman. "Understanding institutional change: the development of institutions for the regulation of natural gas transportation systems in the US and the EU." (2013).
- [3.56] Oostvoorn, F. van, and M. G. Boots. "Impacts of market liberalisation on the EU gas industry." *Policy Studies 2012* (2013): 2011.
- [3.57] Bousena, Sadek, and Catherine Locatelli. "Energy institutional and organisational changes in EU and Russia: Revisiting gas relations." *Energy Policy* 55 (2013): 180-189.
- [3.58] Heyne, Stefan, and Simon Harvey. "Assessment of the energy and economic performance of second generation biofuel production processes using energy market scenarios." *Applied Energy* 101 (2013): 203-212.

- [3.59] Akhmat, Ghulam, et al. "The challenges of reducing greenhouse gas emissions and air pollution through energy sources: evidence from a panel of developed countries." *Environmental Science and Pollution Research* (2014): 1-11.
- [3.60] Bidart, Christian, Magnus Fröhling, and Frank Schultmann. "Municipal solid waste and production of substitute natural gas and electricity as energy alternatives." *Applied Thermal Engineering* 51.1 (2013): 1107-1115.
- [3.61] Núñez, Montserrat, et al. "Assessing the environmental impact of water consumption by energy crops grown in Spain." *Journal of Industrial Ecology* 17.1 (2013): 90-102.
- [3.62] Mullet, John, et al. "Energy Sorghum—a genetic model for the design of C4 grass bioenergy crops." *Journal of experimental botany* (2014): eru229.
- [3.63] Alexander, Peter, and Dominic Moran. "Impact of perennial energy crops income variability on the crop selection of risk averse farmers." *Energy Policy* 52 (2013): 587-596.
- [3.64] Koçar, Günnur, and Nilgün Civaş. "An overview of biofuels from energy crops: current status and future prospects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28 (2013): 900-916.
- [3.65] Siqueira Ferreira, Savio, et al. "Biofuel and energy crops: high-yield Saccharinae take center stage in the post-genomics era." *Genome biology* 14.6 (2013): 210.
- [3.66] Shortall, O. K. "'Marginal land' for energy crops: Exploring definitions and embedded assumptions." *Energy Policy* 62 (2013): 19-27.
- [3.67] Mola-Yudego, Blas, et al. "A conceptual framework for the introduction of energy crops." *Renewable Energy* 72 (2014): 29-38.
- [3.68] Milbrandt, Anelia R., et al. "Renewable energy potential on marginal lands in the United States." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014): 473-481.
- [3.69] Wang, Shifeng, et al. "The potential for bioenergy crops to contribute to meeting GB heat and electricity demands." *GCB Bioenergy* 6.2 (2014): 136-141.
- [3.70] Dahlquist, Erik, and Jochen Bundschuh. "Introduction and context: global biomass resources-types of biomass, quantities and accessibility. Biomass from agriculture, forestry, energy crops and organic wastes." (2013): 5-33.
- [3.71] Alexander, Peter, et al. "Estimating UK perennial energy crop supply using farm-scale models with spatially disaggregated data." *GCB Bioenergy* 6.2 (2014): 142-155.
- [3.72] Searle, Stephanie Y., and Christopher J. Malins. "Will energy crop yields meet expectations?" *Biomass and Bioenergy* 65 (2014): 3-12.
- [3.73] Auditing, Combined Forest Carbon Offset. "Assessing Marginal Lands for Growing Woody Energy Crops." *Journal of Forestry* (2014).
- [3.74] White, Eric M., et al. "Biomass production from the US forest and agriculture sectors in support of a renewable electricity standard." *Energy Policy* 58 (2013): 64-74.
- [3.75] Shortall, O. K. "'Marginal land' for energy crops: Exploring definitions and embedded assumptions." *Energy Policy* 62 (2013): 19-27.
- [3.76] Ausubel, Jesse H., Iddo K. Wernlck, and Paul E. Waggoner. "Peak farmland and the prospect for land sparing." *PoPulation and development review* 38.s1 (2013): 221-242.

- [3.77] Núñez, Montserrat, et al. "Assessing the environmental impact of water consumption by energy crops grown in Spain." *Journal of Industrial Ecology* 17.1 (2013): 90-102.
- [3.78] Wise, Marshall, et al. "Agriculture, land use, energy and carbon emission impacts of global biofuel mandates to mid-century." *Applied Energy* 114 (2014): 763-773.
- [3.79] Lupp, Gerd, et al. "Forcing Germany's renewable energy targets by increased energy crop production: A challenge for regulation to secure sustainable land use practices." *Land Use Policy* 36 (2014): 296-306.
- [3.80] Stéfanon, M., et al. "Simulating the effect of anthropogenic vegetation land cover on heatwave temperatures over central France." *Climate research* 60.2 (2014): 133-146.
- [3.81] Núñez, Montserrat, et al. "Inclusion of soil erosion impacts in life cycle assessment on a global scale: application to energy crops in Spain." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18.4 (2013): 755-767.
- [3.82] Monforti, F., et al. "The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19 (2013): 666-677.
- [3.83] Hoefnagels, Ric, et al. "International and domestic uses of solid biofuels under different renewable energy support scenarios in the European Union." *Applied Energy* 131 (2014): 139-157.
- [3.84] Humpenöder, Florian, et al. "Effects of land-use change on the carbon balance of 1st generation biofuels: An analysis for the European Union combining spatial modeling and LCA." *Biomass and Bioenergy* 56 (2013): 166-178.
- [3.85] Kang, Shujiang, et al. "Hierarchical marginal land assessment for land use planning." *Land Use Policy* 30.1 (2013): 106-113.
- [3.86] Nguyen, Thanh Tuan, et al. "Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200 (2015): 1-11.
- [3.87] Monforti, F., et al. "The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19 (2013): 666-677.
- [3.88] Caspeta, Luis, Nicolaas AA Buijs, and Jens Nielsen. "The role of biofuels in the future energy supply." *Energy & Environmental Science* 6.4 (2013): 1077-1082.
- [3.89] Kavallari, Aikaterini, Edward Smeets, and Andrzej Tabeau. "Land use changes from EU biofuel use: a sensitivity analysis." *Operational Research* 14.2 (2014): 261-281.
- [3.90] Johnson, Francis X., Henrique Pacini, and Edward Smeets. *Transformations in EU biofuels markets under the Renewable Energy Directive and the implications for land use, trade and forests*. CIFOR, 2013.
- [3.91] Lourenço, Maria Ermelinda Vaz, Maria Isabel Nunes Januário, and Vitor Manuel Lopes Massa. "Avaliação do potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol." *Revista de Ciências Agrárias* 36.1 (2013): 96-103.

- [3.92] Koçar, Günnur, and Nilgün Civaş. "An overview of biofuels from energy crops: current status and future prospects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28 (2013): 900-916.
- [3.93] Marques, Carlos, et al. "Less or more intensive crop arable systems of Alentejo region of Portugal: What is the option to sustainable production?." (2013).
- [3.94] Carneiro, Marta, et al. "Could Control of Invasive Acacias Be a Source of Biomass for Energy under Mediterranean Conditions?." *Chemical Engineering* 37 (2014).
- [3.95] Blennow, Kristina, et al. "Forest owner motivations and attitudes towards supplying biomass for energy in Europe." *Biomass and Bioenergy* 67 (2014): 223-230.
- [3.96] Conceição, L., et al. "Spatial variability of seed depth placement of maize under no tillage in Alentejo, Portugal." *Precision agriculture'13*. Wageningen Academic Publishers, 2013. 283-290.
- [3.97] Lanfranchi, Maurizio, Carlo Giannetto, and Angelina De Pascale. "Economic, Energy and Environmental Issues of Agroenergy Chains. An Overview of the EU Agricultural Policy and the Concept of "Multifunctionality"." *proposal* 21 (2013): 65.
- [3.98] Lytton, Michael. "Biomass for Energy." *Energy Choices: How to Power the Future* [2 volumes] (2014): 96.
- [3.99] Krozer, Yoram. "Cost and benefit of renewable energy in the European Union." *Renewable energy* 50 (2013): 68-73.
- [3.100] Palkova, Zuzana, Ioannis Hatzilygeroudis, and Sorin Ionitescu. "Analysis of the training needs in renewable energy sources for agricultural sector." *Analysis* 14.2 (2014).

Capítulo 4. A floresta Portuguesa enquanto recurso

- [4.1] Figueiredo, Eduardo Amazonas, et al. "Uma Análise Do Conhecimento Dos Moradores Da Cidade Do Rio De Janeiro A Respeito Da Conferência Rio+ 20." *CONEXÕES PSI* 1.1 (2013): 1-10.
- [4.2] Romano, Giorgio. "Energy security and climate change in the European Union." *Contexto Internacional* 36.1 (2014): 113-143.
- [4.3] Viegas, Vanda, et al. "Alterações Climáticas, Perceções e Racionalidades." *Revista de Gestão Costeira Integrada* 14.3 (2014): 347-363.
- [4.4] Schutte, Giorgio Romano. "Crise Econômica Ameaça Liderança Da União Europeia No Debate Sobre Energia E Mudanças Climáticas." *Boletim de Economia e Política Internacional* (2013): 91.
- [4.5] Kontokostas, Georgios, Ioannis Goulos, and Anastassios Stamatis. "Techno-Economic Evaluation of Recuperated Gas Turbine Cogeneration Cycles Utilizing Animal Manure and Energy Crops for Biogas Fuel." *ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition*. American Society of Mechanical Engineers, 2014.

- [4.6] Pedrolí, Bas, et al. "Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity?- Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes." *Biomass and Bioenergy* 55 (2013): 73-86.
- [4.7] Menegaki, Angeliki N., and İlhan Öztürk. "Growth and energy nexus in Europe revisited: Evidence from a fixed effects political economy model." *Energy Policy* 61 (2013): 881-887.
- [4.8] Bentivoglio, Deborah, and Michele Rasetti. "4. Biomass and Agricultural Land Use For Biofuels." *Biofuels Economics and Policy. Agricultural and Environmental Sustainability* 1004 (2013): 70.
- [4.9] Yılmaz, Sebnem, and Hasan Selim. "A review on the methods for biomass to energy conversion systems design." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (2013): 420-430.
- [4.10] Canham, Charles D. "Carbon Cycle Implications of Forest Biomass Energy Production in the Northeastern United States." *Wood-Based Energy in the Northern Forests*. Springer New York, 2013. 51-68.
- [4.11] Lauri, Pekka, et al. "Woody biomass energy potential in 2050." *Energy Policy* 66 (2014): 19-31.
- [4.12] Llera, E., et al. "Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013): 262-271.
- [4.13] Cambero, Claudia, and Taraneh Sowlati. "Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives-A review of literature." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 36 (2014): 62-73.
- [4.14] Shabani, Nazanin, Shaghaygh Akhtari, and Taraneh Sowlati. "Value chain optimization of forest biomass for bioenergy production: a review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013): 299-311.
- [4.15] Pinto, Telma, et al. "Recolha de Biomassa Florestal: Avaliação dos Custos e Tempos de Trabalho." *Silva Lusitana* 21.Especial (2013): 163-176.
- [4.16] McIlveen-Wright, David R., et al. "A technical and economic analysis of three large scale biomass combustion plants in the UK." *Applied Energy* 112 (2013): 396-404.
- [4.17] Louro, Graça, et al. "The Portuguese Forest Based Chains: Sector Analyses." *Forest Context and Policies in Portugal*. Springer International Publishing, 2014. 39-65.
- [4.18] Araújo, Luísa, and Maria João Coelho. "Políticas públicas de energia e ambiente: rumo a um país sustentável?" *Sociologia, Problemas e Práticas* 72 (2013): 145-158.
- [4.19] Borrego, Carlos, et al. "As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio." *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos* 2.2 (2014).
- [4.20] Westerman, Wim, Jeffrey Paays, and Satu Pätäri. "Value Creation with Wood-Based Energy Business Models." *Industrial Dynamics, Innovation Policy, and Economic Growth Through Technological Advancements* (2013): 292.
- [4.21] Patrício, Maria do Sameiro, et al. "Produção potencial de biomassa em culturas energéticas lenhosas no Norte de Portugal." (2013).
- [4.22] Bento, J., J. Lousada, and A. Teixeira. "7th National Congress on Forests: Forests-Knowledge and innovation, Portugal, 2013." *Silva Lusitana* 21.Especial (2013).

[4.23] Panoutsou, Calliope, et al. "Biomass Futures: an integrated approach for estimating the future contribution of biomass value chains to the European energy system and inform future policy formation." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 7.2 (2013): 106-114.

[4.24] Jradi, M., and S. Riffat. "Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32 (2014): 396-415.

[4.25] Marques, Mariana Walter de Freitas Pereira. "Potential for ORC application in the Portuguese manufacturing industry." (2014).

Capítulo 5. Estudo de casos

5.1. Os pellets de biomassa como recurso energético em Portugal

[5.1.1] Mabee, Warren E., and J. Mirck. "A regional evaluation of potential bioenergy production pathways in eastern Ontario, Canada." *Annals of the Association of American Geographers* 101.4 (2011): 897-906.

[5.1.2] M., Brian Vad, H. Lund, and K. Karlsson. "100% Renewable energy systems, climate mitigation and economic growth." *Applied Energy* 88.2 (2011): 488-501.

[5.1.3] Bishop, Justin D. K., et al. "Identifying the fuels and energy conversion technologies necessary to meet European passenger car emissions legislation to 2020." *Fuel* 99 (2012): 88-105.

[5.1.4] Boman, Christoffer, et al. "Stove performance and emission characteristics in residential wood log and pellet combustion, part 1: pellet stoves." *Energy & Fuels* 25.1 (2011): 307-314.

[5.1.5] Sikkema, Richard, et al. "The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 5.3 (2011): 250-278.

[5.1.6] V., Chrystelle, and Y. Ryckmans. "Industrial wood pellets report." ENplus http://www.enpluspellets.eu/wp-content/uploads/2012/04/Industrial-pellets-report_PellCert_2012.pdf (2012).

[5.1.7] Goh, Chun Sheng, et al. "Wood pellet market and trade: a global perspective." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 7.1 (2013): 24-42.

[5.1.8] Míguez, J. L., et al. "Review of technology in small-scale biomass combustion systems in the European market." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.6 (2012): 3867-3875.

[5.1.9] Alakangas, E., et al. "EUBIONET III—Solutions to biomass trade and market barriers." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.6 (2012): 4277-4290.

- [5.1.10] Goh, Chun Sheng, H. M. Junginger, and L. Goovaerts. "Monitoring sustainability certification of bioenergy: impacts of sustainability certification on bioenergy markets and trade." (2013): 1-61.
- [5.1.11] Goh, Chun Sheng, Martin Junginger, and André Faaij. "Monitoring sustainable biomass flows: general methodology development." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8.1 (2014): 83-102.
- [5.1.12] Döring, Stefan. "Fuel quality requirements." *Power from Pellets*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. 61-69.
- [5.1.13] Cavalli, R., et al. "Woodchips quality: the new UNI standards and their application." *Sherwood-ForestedAlberiOggi*179 (2011): 37-41.
- [5.1.14] Sikkema, Richard, et al. "The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 5.3 (2011): 250-278.
- [5.1.15] Jotzo, Frank, et al. "Decomposing the 2010 global carbon dioxide emissions rebound." *Nature Climate Change* 2.4 (2012): 213-214.
- [5.1.16] Thomson, Harriet, and Christine Liddell. "The suitability of wood pellet heating for domestic households: A review of literature." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015): 1362-1369.
- [5.1.17] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalao. "Application of biomass for the production of energy in the Portuguese textile industry." *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2013 International Conference on*. IEEE, (2013).
- [5.1.18] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalao. "Economic evaluation and experimental setup of biomass energy as sustainable alternative for textile industry." *Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities*." IEEE, 2013.
- [5.1.19] Päivinen, R., et al. "A concept for assessing sustainability impacts of forestry-wood chains." *European Journal of Forest Research* 131.1 (2012): 7-19.
- [5.1.20] Fernandes, U., and M. Costa. "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal." *Biomass and Bioenergy* 34.5 (2010): 661-666.
- [5.1.21] Ferreira, Pedro T., Manuel E. Ferreira, and José C. Teixeira. "Analysis of industrial waste in wood pellets and co-combustion products." *Waste and Biomass Valorization* (2013): 1-14.
- [5.1.22] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão. "Energy recovery from cork industrial waste: production and characterisation of cork pellets." *Fuel* 113 (2013): 24-30.
- [5.1.23] Garcia-Maraver, A., et al. "Relationship between fuel quality and gaseous and particulate matter emissions in a domestic pellet-fired boiler." *Fuel* 119 (2014): 141-152.
- [5.1.24] S., Nicolae, J. Dallemand, and M. Banja. "Possible impact of 2020 bioenergy targets on European Union land use:a scenario-based assessment from national renewable energy action plans proposals." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013): 595-606.
- [5.1.25] P. Pablo, A. J. Gutiérrez-Trashorras, and J. Xiberta-Bernat. "Energy potential of residue from wood transformation industry in the central metropolitan area of the Principality of Asturias (northwest Spain)." *Waste Management & Research* 32.3 (2014): 241-244.

[5.1.26] R., Francisco, G. Louro, and L. Constantino. "The impact of changing wildfire regimes on wood availability from Portuguese forests." *Forest Policy and Economics* 29 (2013): 56-61.

5.2. Produção e caracterização de pellets de cortiça

[5.2.1] M.A. Chaudry, R. Raza, S.A. Hayat. Renewable energy technology in Pakistan: prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13 (2009)1657 - 1662.

[5.2.2] H.L. Ching,H.O. Hsin,L.L. Shang,T.C. Pei,H.Y. Yue. A challenging approach for renewable energy market development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (2011) 787 - 793.

[5.2.3] P. Carneiro, P. Ferreira. The economic, environmental and strategic value of biomass. *Renewable Energy*. 44 (2012) 17 - 22.

[5.2.4] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance). European Parliament, Council publication date 23/04/2009. Esta substitui a anterior, mas os objetivos mantêm-se basicamente os mesmos.

[5.2.5] Decreto-Lei n.º 141/2010. Diário da República, 1.ª série – N.º 253 – 31 de Dezembro de 2010.

[5.2.6] Vivian Schueler, Ulf Weddige, Tim Beringer, Liliana Gamba, Patrick Lamers. Global biomass potentials under sustainability restrictions defined by the European Renewable Energy Directive 2009/28/EC. *GCB Bioenergy* (2013), doi: 10.1111/gcbb.12036.

[5.2.7] DGEG. Renováveis - Estatísticas Rápidas. 92 (2012). 22 pp.

[5.2.8] U. Fernandes, M. Costa. Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. *Biomass and Bioenergy*. 34 (2010) 661 - 666.

[5.2.9] G. Antolin, R. Irusta, E. Velasco, J. Carrasco, E. González, L. Ortiz. Biomass as an energy resource in Castilla y Leon (Spain). *Energy*. 21 (1996) 165 - 72.

[5.2.10] M. Kaltschmitt, M. Weber. Markets for solid biofuels within the EU-15. *Biomass and Bioenergy*. 30 (2006) 897 - 907.

[5.2.11] DGGE. Estrategia Nacional para a Energia. A criação de uma rede de Centrais de Biomassa dedicadas. Direcção Geral de Geologia e Energia. (2006).

[5.2.12] H. Viana, W.B. Cohen, D. Lopes, J. Aranha. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS - based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Applied Energy*. 87 (2010) 2551 - 2560.

[5.2.13] E. Monteiro, V. Mantha and A. Rouboa. The Feasibility of Biomass Pellets Production in Portugal. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 8.1 (2012): 28-34.

[5.2.14] M. Pestana, I. Tinoco. A Indústria e o Comércio da Cortiça em Portugal Durante o Século XX. *Silva Lusitana* 17 (1) (2009) 1 - 26.

- [5.2.15] J. Rives, I. Fernandez-Rodriguez, J. Rieradevall, X. Gabarrell. Environmental analysis of raw cork extraction in cork oak forests in southern Europe (Catalonia - Spain). *Journal of Environmental Management*. 110 (2012) 236 - 245.
- [5.2.16] J. Rives, I. Fernandez-Rodriguez, X. Gabarrell, J. Rieradevall. Environmental analysis of cork granulate production in Catalonia - Northern Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 58 (2012) 132 - 142.
- [5.2.17] M.T. Miranda, J.I. Arranz, S. Rojas, I. Montero. Energetic characterization of densified residues from Pyrenean oak forest. *Fuel*. 88 (2009) 2106 - 2112.
- [5.2.18] J. Aronson, J.S. Pereira, J.G. Pausas. Cork oak woodlands on the edge: ecology, adaptive management, and restoration. *Landscape Ecology*. 26 (2011) 151 - 152.
- [5.2.19] R. Pilão, E. Ramalho, C. Pinho. Overall characterization of cork dust explosion. *Journal of Hazardous Materials*. 133 (1-3) (2006) 183 - 195.
- [5.2.20] Khalili, O. Dufaud, M. Poupeau, Nicolas Cuervo-Rodriguez, Laurent Perrin. Ignition sensitivity of gas-vapor/dust hybrid mixtures. *Powder Technology*. 217 (2012) 199 - 206.
- [5.2.21] Garcia-Agreda, A. Di Benedetto, P. Russo, E. Salzano, R. Sanchirico. Dust/gas mixtures explosion regimes. *Powder Technology*. 205 (1-3) (2011) 81 - 86.
- [5.2.22] Telmo, J. Lousada. Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*. 35 (7) (2011) 2634 - 2639.
- [5.2.23] N.L. Mustelier, M.F. Almeida, J. Cavalheiro, F. Castro. Evaluation of pellets produced with undergrowth to be used as biofuel. *Waste and Biomass Valorization*. 3 (3) (2012) 285 - 294.
- [5.2.24] E. Monteiro, V. Mantha, A. Rouboa. Portuguese pellets market: Analysis of the production and utilization constrains. *Energy Policy*. 42 (2012) 129 - 135.
- [5.2.25] J. Heinimo, H.M. Junginger. Production and trading of biomass for energy – an overview of the global status. *Biomass Bioenergy*. 33 (9) (2009) 1310 - 1320.
- [5.2.26] S. Mani. S. Sokhansanj, X. Bi. A. Turhollow. Economics of producing fuel pellets from biomass. *Applied Engineering in Agriculture*. 22 (3) (2006) 421 - 426.
- [5.2.27] Wolf. A. Vidlund. E. Andersson. Energy efficient pellet production in the forest industry - a study of obstacles and success factors. *Biomass and Bioenergy*. 30 (2006) 38 - 45.
- [5.2.28] Mediavilla, M.J. Fernández, L.S. Esteban. Optimization of pelletisation and combustion in a boiler of 17.5 kWth for vine shoots and industrial cork residue. *Fuel Processing Technology*. 90 (2009) 621 - 628.
- [5.2.29] H. Pereira. Mechanical properties - Cork: biology, production and uses. Elsevier, 2007, pp. 207 - 225.
- [5.2.30] H. Pereira. Surface, thermal and other properties - Cork: Biology, Production and Uses. Elsevier, 2007, pp. 227 - 239.
- [5.2.31] M.F. Vaz, M.A. Fortes. Friction properties of cork. *Journal of Materials Science*. 33 (1998) 2087 - 2093.
- [5.2.32] H. Pereira, The chemical composition of cork, *Cork: Biology, Production and Uses*, Elsevier, 2007, pp. 55 - 99.

- [5.2.33] FprEN 14778, Solid biofuels - Sampling.
- [5.2.34] EN14774-2, Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified procedure
- [5.2.35] EN 14918, Solid biofuels - Determination of calorific value.
- [5.2.36] EN 14775, Solid biofuels - Determination of ash content.
- [5.2.37] EN 15103, Solid biofuels - Determination of bulk density.
- [5.2.38] EN 15210-1, Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets.
- [5.2.39] Q. Guo, X. Chen, H. Liu. Experimental research on shape and size distribution of biomass particle. *Fuel*. 94 (2012) 551 - 555.
- [5.2.40] M.R. Wu, D.L. Schott, G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*. 35 (2011) 2093 - 2105.
- [5.2.41] W. Guo, C.J. Lim, X. Bi, S. Sokhansanj, S. Melin. Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets. *Fuel* 103 (2013) 347 - 355.
- [5.2.42] D.R. Nhuchhen, P.A. Salam. Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel* 99 (2012) 55 - 63.
- [5.2.43] H. Viana, D.J. Vega-Nieva, L. Ortiz Torres, J. Lousada, J. Aranha. Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel*. 102 (2012) 737 - 745.
- [5.2.44] ENplus - Certification of Wood Pellets for Heating Purposes. AEBIOM. 2011.
- [5.2.45] M.V. Gil, P. Oulego, M.D. Casal, C. Pevida, J.J. Pis, F. Rubiera. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*. 101 (22) (2010) 8859 - 8867.
- [5.2.46] Woei L. Saw, Shusheng Pang. The influence of calcite loading on producer gas composition and tar concentration of radiata pine pellets in a dual fluidised bed steam gasifier. *Fuel* 102 (2012) 445-452.
- [5.2.47] Qiang Guo, Haifeng Liu, Xueli Chen, Shuidan Li, Xiaolei Guo, Xin Gong. Research on the flow properties of the blended particles of rice straw and coal. *Fuel* 102 (2012) 453-459.

5.3. A energia da biomassa como alternativa energética sustentável para a indústria têxtil

- [5.3.1] Liserre, Marco, Thilo Sauter, and John Y. Hung. "Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics." *Industrial Electronics Magazine, IEEE* 4.1 (2010): 18-37.
- [5.3.2] de Brito, Moacyr Aureliano Gomes, et al. "Evaluation of the main MPPT techniques for photovoltaic applications." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 60.3 (2013): 1156-1167.

- [5.3.3] Fischer, T.; Grass, N.; Zouzou, N.; Dascalescu, L.; Greil, R.; Hopf, N., "Smart Home Precipitator for Biomass-Furnaces," *Industry Applications, IEEE Transactions* 99 (2012): 1-2.
- [5.3.4] Boys, John T., et al. "Introduction to the Special Section on Contactless Energy Transfer Systems." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 60.1 (2013): 239-241.
- [5.3.5] Kroposki, Benjamin, Pankaj K. Sen, and Keith Malmedal. "Selection of Distribution Feeders for Implementing Distributed Generation and Renewable Energy Applications." *Industry Applications, IEEE Transactions* 49.6 (2013): 2825.
- [5.3.6] Meibom, Peter, et al. "Energy Comes Together in Denmark: The Key to a Future Fossil-Free Danish Power System." *Power and Energy Magazine, IEEE* 11.5 (2013): 46-55.
- [5.3.7] T. Paloposki, "Analysis of wood firing in stoves by the oxygen consumption method and the carbon dioxide generation method," *Biomass and Bioenergy*, 2012.
- [5.3.8] E. L. Iye, and P. E. Bilsborrow. "Assessment of the availability of agricultural residues on a zonal basis for medium-to large-scale bioenergy production in Nigeria," *Biomass and Bioenergy*, vol. 48, pp. 66-74, 2013.
- [5.3.9] B. S. Daigneault, and R. Sedjo, "Economic approach to assess the forest carbon implications of biomass energy," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, pp. 5664-5671, 2012.
- [5.3.10] Kroposki, Benjamin, Pankaj K. Sen, and Keith Malmedal. "Optimum Sizing and Placement of Distributed and Renewable Energy Sources in Electric Power Distribution Systems." *Industry Applications, IEEE Transactions* 49.6 (2013): 2741.
- [5.3.11] H.S. Karaalp and N.D. Yilmaz, "Assessment of trends in the comparative advantage and competitiveness of the Turkish textile and clothing industry in the enlarged EU market," *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 3, pp. 8-12, 2012.
- [5.3.12] J.A. Fuinhas and A.C. Marques, "Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965-2009)," *Energy Economics*, vol. 34, pp. 511-517, Mar. 2012.
- [5.3.13] C.A. Basha, J. Sendhil, K.V. Selvakumar, P.K.A. Muniswaran, C.W. Lee, "Electrochemical degradation of textile dyeing industry effluent in batch and flow reactor systems," *Desalination*, vol. 285, pp. 188-197, Jan. 2012.
- [5.3.14] T. Abe, "Present state of inkjet printing technology for textile," *Advanced Materials Research*, vol. 441, pp. 23-27, 2012.
- [5.3.15] Abu-Mouti, Fahad S., and M. E. El-Hawary. "Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 26.4 (2011): 2090-2101.
- [5.3.16] S. Chu and A. Majumdar, "Opportunities and challenges for a sustainable energy future," *Nature*, vol. 488, pp. 294-303, 2012.
- [5.3.17] K. Kaygusuz, "Energy for sustainable development: A case of developing countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 2, pp. 1116-1126, 2012.

- [5.3.18] N. Ahmad, "Determinants of export demand of textile and clothing sector of Pakistan: an empirical analysis," *World Applied Sciences Journal*, vol. 16, pp. 1171-1175, 2012.
- [5.3.19] F. Serra, J. Pointon, and H. Abdou, "Factors influencing the propensity to export: A study of UK and Portuguese textile firms," *International Business Review*, vol. 21, pp. 210-224, Apr. 2012
- [5.3.20] A. Lucas, C.A. Silva, and R.C. Neto, "Life cycle analysis of energy supply infrastructure for conventional and electric vehicles," *Energy Policy*, vol. 41, pp. 537-547, Feb. 2012.
- [5.3.21] J. Amador "Energy content in manufacturing exports: A cross-country analysis," *Energy Economics*, vol. 34, pp. 1074-1081, Jul. 2012.
- [5.3.22] C. Sousa, F. Castro, C. Vilarinho, and D. Soares "Evaluation of the energetic valorization potential of polymeric and textile industrial wastes," *Materials Science Forum*, vol. 730, 2013.
- [5.3.23] E. Houshfar, et al., "Combustion properties of Norwegian biomass: wood chips and forest residues," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 110, pp. 4564-4568, 2012.
- [5.3.24] S. Mokhatab and A.P. William, "Handbook of natural gas transmission and processing," Gulf Professional Pub, 2012.
- [5.3.25] G. Thek and I. Obernberger, "The pellet handbook: the production and thermal utilization of biomass pellets," Routledge, 2012.
- [5.3.26] M. Kajanus, P. Leskinen, M. Kurttila, and J. Kangas, "Making use of MCDS methods in SWOT analysis—Lessons learnt in strategic natural resources management," *Forest Policy and Economics*, vol. 20, pp. 1-9, Jul. 2012.
- [5.3.27] Z. y. Zhao and H. Yan. "Assessment of the biomass power generation industry in China," *Renew. Energy*, vol. 37, pp. 53-60, 2012.
- [5.3.28] J. Catron, G.A. Stainback, P. Dwivedi, and J.M. Lhotka, "Bioenergy development in Kentucky: A SWOT-ANP analysis," *Forest Policy and Economics*, vol. 28, pp. 38-43, Mar. 2013.
- [5.3.29] K. Sipilä, and C. Wilen. "The structure and achievements of the Bioenergy Network of Excellence," *Biomass and Bioenergy*, vol. 38, pp. 2-13, 2012.
- [5.3.30] N. Kautto, et al., "Interaction of the EU ETS and national climate policy instruments—Impact on biomass use," *Biomass and Bioenergy*, vol. 38, pp. 117-127, 2012.

5.4. Utilização de biomassa residual: modelo teórico de co-combustão aplicado à Central Termoelétrica de Sines

- [5.4.1] Cherubini, Francesco. "The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals". *Energy Conversion and Management* 51.7 (2010): 1412-1421.

- [5.4.2] García-Frapolli, Eduardo, et al. "Beyond fuelwood savings: Valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico". *Ecological Economics* 69.12 (2010): 2598-2605.
- [5.4.3] Saidur, R., et al. "A review on biomass as a fuel for boilers". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.5 (2011): 2262-2289.
- [5.4.4] De, S., and M. Assadi. "Impact of cofiring biomass with coal in power plants-A techno-economic assessment". *Biomass and Bioenergy* 33.2 (2009): 283-293.
- [5.4.5] Lintunen, Jussi, and Hanna-Liisa Kangas. "The case of co-firing: The market level effects of subsidizing biomass co-combustion". *Energy Economics* 32.3 (2010): 694-701.
- [5.4.6] Al-Mansour, Fouad, and Jaroslaw Zuwala. "An evaluation of biomass co-firing in Europe". *Biomass and Bioenergy* 34.5 (2010): 620-629.
- [5.4.7] Berndes, Göran, et al. "Strategies for 2nd generation biofuels in EU – Co-firing to stimulate feedstock supply development and process integration to improve energy efficiency and economic competitiveness". *Biomass and Bioenergy* 34.2 (2010): 227-236.
- [5.4.8] McIlveen-Wright, D. R., et al. "A techno-economic assessment of the reduction of carbon dioxide emissions through the use of biomass co-combustion". *Fuel* 90.1 (2011): 11-18.
- [5.4.9] Tumuluru, Jaya Shankar, et al. "A review on biomass classification and composition, co-firing issues and pretreatment methods". *Proceedings of the 2011 ASABE annual international meeting*. Louisville, Kentucky, USA. 2011.
- [5.4.10] Basu, Prabir, James Butler, and Mathias A. Leon. "Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants". *Renewable Energy* 36.1 (2011): 282-288.
- [5.4.11] Nicholls, David L., and John I. Zerbe. *Co-firing biomass and coal for fossil fuel reduction and other benefits: Status of North American facilities in 2010*. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2012.
- [5.4.12] Molcan, Peter, et al. "Characterisation of biomass and coal co-firing on a 3MWth Combustion Test Facility using flame imaging and gas/ash sampling techniques". *Fuel* 88.12 (2009): 2328-2334.
- [5.4.13] Wang, Xuebin, et al. "Experimental investigation on biomass co-firing in a 300MW pulverized coal-fired utility furnace in China". *Proceedings of the Combustion Institute* 33.2 (2011): 2725-2733.
- [5.4.14] Teixeira, Paula, et al. "Evaluation of slagging and fouling tendency during biomass co-firing with coal in a fluidized bed". *Biomass and Bioenergy* 39 (2012): 192-203.
- [5.4.15] Zuwala, Jaroslaw, and Marek Sciazko. "Full-scale co-firing trial tests of sawdust and bio-waste in pulverized coal-fired 230t/h steam boiler". *Biomass and Bioenergy* 34.8 (2010): 1165-1174.
- [5.4.16] Dong, Changqing, et al. "Numerical modeling of the gasification based biomass co-firing in a 600MW pulverized coal boiler". *Applied Energy* 87.9 (2010): 2834-2838.

- [5.4.17] Abreu, P., C. Casaca, and M. Costa. "Ash deposition during the co-firing of bituminous coal with pine sawdust and olive stones in a laboratory furnace". *Fuel* 89.12 (2010): 4040-4048.
- [5.4.18] Zulkepli, I. I., et al. "Numerical study of co-firing biomass with coal in cyclone combustor". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 16. No. 1. IOP Publishing, 2013.
- [5.4.19] Steer, Julian, et al. "Biomass co-firing trials on a down-fired utility boiler". *Energy Conversion and Management* 66 (2013): 285-294.
- [5.4.20] Kazagic, A., and I. Smajevic. "Synergy effects of co-firing wooden biomass with Bosnian coal". *Energy* 34.5 (2009): 699-707.
- [5.4.21] Wils, Andrea, et al. "Reduction of fuel side costs due to biomass co-combustion". *Journal of Hazardous Materials* 207 (2012): 147-151.
- [5.4.22] Bridgeman, T. G., et al. "An investigation of the grindability of two torrefied energy crops". *Fuel* 89.12 (2010): 3911-3918.
- [5.4.23] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão. "Energy recovery from cork industrial waste: Production and characterisation of cork pellets". *Fuel* 113 (2013): 24-30.
- [5.4.24] Clements, B. R., et al. "Ignition characteristics of co-fired mixtures of petroleum coke and bituminous coal in a pilot-scale furnace". *Fuel* 97 (2012): 315-320.
- [5.4.25] Gerbelová, Hana, et al. "The effect of retrofitting Portuguese fossil fuel power plants with CCS". *Applied Energy* 101 (2013): 280-287.
- [5.4.26] Gerbelová, H., C. Ioakimidis, and P. Ferrão. "A techno-economical study of the CO₂ capture in the energy sector in Portugal". *Energy Procedia* 4 (2011): 1965-1972.
- [5.4.27] Carneiro, Júlio F., Dulce Boavida, and Ricardo Silva. "First assessment of sources and sinks for carbon capture and geological storage in Portugal". *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5.3 (2011): 538-548.
- [5.4.28] Apolinario, Isabel, Liliana Ferreira, and Pedro Verdelho. "Introduction of a decoupled entry-exit tariff system in the Portuguese natural gas sector". *European Energy Market (EEM), 2012 9th International Conference*. IEEE, 2012.
- [5.4.29] Gerbelová, Hana, et al. "The effect of retrofitting Portuguese fossil fuel power plants with CCS". *Applied Energy* 101 (2013): 280-287.
- [5.4.30] Lyko, H. "Membrane technology for CO₂ emission-free power plant operation". *Filtrieren und Separieren* 2 (2012): 44.
- [5.4.31] Sujatha, K., et al. "Intelligent parallel networks for combustion quality monitoring in power station boilers". *Advanced Materials Research* 699 (2013): 893-899.
- [5.4.32] Whitaker, Michael, et al. "Life cycle greenhouse gas emissions of coal-fired electricity generation: Systematic review and harmonization". *Journal of Industrial Ecology* 16.S1 (2012).
- [5.4.33] Basu, Prabir, James Butler, and Mathias A. Leon. "Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants". *Renewable Energy* 36.1 (2011): 282-288.

- [5.4.34] Bertrand, Vincent. "Switching to biomass co-firing in European coal power plants: Estimating the biomass and CO₂ breakeven prices". *Economics Bulletin* 33.2 (2013): 1535-1546.
- [5.4.35] Aris, Mohd Shiraz, Hussain H. Al-Kayiem, and Chin Yee Sing. "Experimental investigations on the characteristics of biomass and coal-biomass fuel briquettes". *Advanced Materials Research* 683 (2013): 246-249.
- [5.4.36] Saikia, M., et al. "Prospect of bioenergy substitution in tea industries of North EastIndia". *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol 3 (2013).
- [5.4.37] Mills, Evan. "From carbon to light". Prepared for the United Nations Framework Convention on Climate Change, Clean Development Mechanism Executive Committee, Small-Scale Working. 2010.
- [5.4.38] Anderson, Nathaniel, et al. "A comparison of producer gas, biochar, and activated carbon from two distributed scale thermochemical conversion systems used to process forest biomass". *Energies* 6.1 (2013): 164-183.
- [5.4.39] Yin, Chungun, Lasse Rosendahl, and Søren K. Kær. "Towards a better understanding of biomass suspension co-firing impacts via investigating a coal flame and a biomass flame in a swirl-stabilized burner flow reactor under same conditions". *Fuel Processing Technology* 98 (2012): 65-73.
- [5.4.40] Suik, H., T. Pihu, and A. Molodtsov. "Wear of the fuel supply system of CFB boilers". *OilShale* 25.2 (2008): 209-216.

5.5. Conversão de biomassa através da torrefacção

- [5.5.1] Nachenius, Robert, et al. "Torrefaction of biomass in a continuous rotating screw reactor." 22nd European Biomass Conference and Exhibition. ETA-Florence Renewable Energies, 2014.
- [5.5.2] Sulaiman, S. A., and M. I. Anas. "Torrefaction of oil palm fronds for enhancement of fuel quality." *Trends in Applied Sciences Research* 7.3 (2012): 248-255.
- [5.5.3] YoungHun, Kim, et al. "Physical and chemical characteristics of products from the torrefaction of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*)." *Bioresource Technology* 116 (2012): 120-125.
- [5.5.4] Carter, C. L., et al. "Physicochemical properties of thermally treated biomass and energy requirement for torrefaction." *Transactions of the ASABE* 56.3 (2013): 1093-1100.
- [5.5.5] Batidzirai, B., et al. "Biomass torrefaction technology: Techno-economic status and future prospects." *Energy* 62 (2013): 196-214.
- [5.5.6] Schorr, Christian, Mika Muinonen, and FiiaNurminen. "Torrefaction of biomass." Publication no. Graanintie 5 (2012): 50190.
- [5.5.7] Kiel, J. H. A., R. W. R. Zwart, and Fred Verhoeff. "Status of ECN torrefaction technology." (2012).

- [5.5.8] Uslu, Ayla, Andre PC Faaij, and P. C. A. Bergman. "Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation." *Energy* 33.8 (2008): 1206-1223.
- [5.5.9] R. Pentanunt, A.N.M. MizanurRahman and S.C. Bhattacharya, *Energy*, 15 (1990) 1175-1179.
- [5.5.10] Felfli, Felix Fonseca, et al. "Wood briquette torrefaction." *Energy for Sustainable Development* 9.3 (2005): 19-22.
- [5.5.11] Pach, M., Zanzi, R., and Björnbom, E., 2002. "Torrefied biomass as substitute for wood and charcoal", in Ani, F.N., et al. (ed.), 6th Asian-Pacific Int. Symp. on Combustion and Energy Utilization, Proc. Int. Conf., Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 285-290.
- [5.5.12] Arcate, J.R., 2002. "Global markets and technologies for torrefied wood in 2002", *Wood Energy*, 5, pp. 26-28.
- [5.5.13] Ibrahim, Raimie HH, et al. "Physicochemical characterisation of torrefied biomass." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 103 (2013): 21-30.
- [5.5.14] Lipinsky, Edward S., James R. Arcate, and Thomas B. Reed. "Enhanced wood fuels via torrefaction." *Fuel Chemistry division preprints* 47.1 (2002): 408-410.
- [5.5.15] Sadaka, Samy, and Sunita Negi. "Improvements of biomass physical and thermochemical characteristics via torrefaction process." *Environmental Progress & Sustainable Energy* 28.3 (2009): 427-434.
- [5.5.16] Wannapeera, Janewit, Bundit Fungtammasan, and Nakorn Worasuwanarak. "Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass." *Journal of Analytical and applied pyrolysis* 92.1 (2011): 99-105.
- [5.5.17] Van der Stelt, M. J. C., et al. "Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review." *Biomass and Bioenergy* 35.9 (2011): 3748-3762.
- [5.5.18] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão. "A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40 (2014): 153-160.
- [5.5.19] Shankar Tumuluru, Jaya, et al. "Review: A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications." *Industrial Biotechnology* 7.5 (2011): 384-401.
- [5.5.20] Tumuluru, Jaya Shankar, et al. "A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 5.6 (2011): 683-707.
- [5.5.21] Walton, R. A., and B. G. V. Bommel. "A complete and comprehensive overview of torrefaction technologies." *E-EnergyMarket*, <http://www.e-energymarket.com/mall/market-reports-and-studies.html> (2011).
- [5.5.22] Kleinschmidt, C. P. "Overview of international developments in torrefaction." *Torrefaction Workshop*. 2011.
- [5.5.23] Ciolkosz, Daniel, and Robert Wallace. "A review of torrefaction for bioenergy feedstock production." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 5.3 (2011): 317-329.

- [5.5.24] Borén, Eleonora, Linda Pommer, and Anders Nordin. "Understanding Emission Formation of Pellets of Torrefied Biomass." European Industrial Doctoral School Summer Workshop 2014.
- [5.5.25] Rousset, P., et al. "Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 96 (2012): 86-91.
- [5.5.26] Chen, Wei-Hsin, Ke-Miao Lu, and Chi-Ming Tsai. "An experimental analysis on property and structure variations of agricultural wastes undergoing torrefaction." *Applied Energy* 100 (2012): 318-325.
- [5.5.27] Kargbo, Foday Robert, Junjun Xing, and Yanlin Zhang. "Pretreatment for energy use of rice straw: A review." *African journal of agricultural research* 4.11 (2009): 1560-1565.
- [5.5.28] Pimchuai, Anuphon, Animesh Dutta, and Prabir Basu. "Torrefaction of agriculture residue to enhance combustible properties." *Energy & Fuels* 24.9 (2010): 4638-4645.
- [5.5.29] Aguilar, Francisco X. "Wood energy in the EU and the US." *Wood Energy in Developed Economies: Resource Management, Economics and Policy* (2014): 306.
- [5.5.30] Mu, Wei, et al. "Lignin Pyrolysis Components and Upgrading—Technology Review." *BioEnergy Research* 6.4 (2013): 1183-1204.
- [5.5.31] Pandey, Ashok, et al., eds. *Pretreatment of Biomass: Processes and Technologies*. Academic Press, 2014.
- [5.5.32] Abdollahi-Neisiani, Mania, et al. "Biomass Pretreatments for Biorefinery Applications: Gasification." *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. 197-227.
- [5.5.33] Batidzirai, B., et al. "Biomass torrefaction technology: Techno-economic status and future prospects." *Energy* 62 (2013): 196-214.
- [5.5.34] Couhert, C., S. Salvador, and J. M. Commandre. "Impact of torrefaction on syngas production from wood." *Fuel* 88.11 (2009): 2286-2290.
- [5.5.35] Chen, Qing, et al. "Influence of torrefaction pretreatment on biomass gasification technology." *Chinese Science Bulletin* 56.14 (2011): 1449-1456.
- [5.5.36] Meng, Jiajia, et al. "The effect of torrefaction on the chemistry of fast-pyrolysis bio-oil." *Bioresource technology* 111 (2012): 439-446.
- [5.5.37] Acharya, Bimal, IdrisSule, and AnimeshDutta. "A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing." *Biomass Conversion and Biorefinery* 2.4 (2012): 349-369.
- [5.5.38] Medic, Dorde, et al. "Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading." *Fuel* 91.1 (2012): 147-154.
- [5.5.39] Yan, Wei, et al. "Mass and Energy Balances of Wet Torrefaction of Lignocellulosic Biomass." *Energy & Fuels* 24.9 (2010): 4738-4742.
- [5.5.40] Chew, Jiuan Jing, and Veena Doshi. "Recent advances in biomass pretreatment—Torrefaction fundamentals and technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.8 (2011): 4212-4222.

- [5.5.41] Bach, Quang-Vu, et al. "Torrefaction Kinetics of Norwegian Biomass Fuels." *CHEMICAL ENGINEERING* 37 (2014).
- [5.5.42] Rousset, P., et al. "Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 96 (2012): 86-91.
- [5.5.43] Lu, Ke-Miao, et al. "Torrefaction and low temperature carbonization of oil palm fiber and eucalyptus in nitrogen and air atmospheres." *Bioresource technology* 123 (2012): 98-105.
- [5.5.44] Verhoeff, F., et al. "ECN torrefaction technology heading for demonstration." *Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition (EU BC&E), ICC Berlin, Germany. 2011.*
- [5.5.45] Tapasvi, Dhruv, et al. "Torrefaction of Norwegian birch and spruce: an experimental study using macro-TGA." *Energy & Fuels* 26.8 (2012): 5232-5240.
- [5.5.46] Larsson, Sylvania H., et al. "Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce." *Applied Energy* 102 (2013): 827-832.
- [5.5.47] Murad, Ahmad Zulfadzli Bin Ahmad. *The Study on Heat Distribution Inside The Combustion Chamber Of A Gas Fired Pyrolysis System.* Diss. Universiti Malaysia Pahang, 2010.
- [5.5.48] Svanberg, Martin, et al. "Analysing biomass torrefaction supply chain costs." *Bioresource technology* 142 (2013): 287-296.
- [5.5.49] Broström, M., et al. "Influence of torrefaction on the devolatilization and oxidation kinetics of wood." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 96 (2012): 100-109.
- [5.5.50] Misljenovic, Nevena, et al. "Torrefaction Influence on Pelletability and Pellet Quality of Norwegian Forest Residues." *Energy & Fuels* 28.4 (2014): 2554-2561.
- [5.5.51] Svoboda, Karel, et al. "Pretreatment and feeding of biomass for pressurized entrained flow gasification." *Fuel Processing Technology* 90.5 (2009): 629-635.
- [5.5.52] Liu, Sii-Chew, et al. "Effect of holding time on fuel properties of biochars prepared from the torrefaction of coffee residue." *Biomass Conversion and Biorefinery* (2014): 1-6.
- [5.5.53] Ghiasi, Bahman, et al. "Densified biocoal from woodchips: Is it better to do torrefaction before or after densification?" *Applied Energy* 134 (2014): 133-142.
- [5.5.54] Duca, Daniele, et al. "Solid biofuels production from agricultural residues and processing by-products by means of torrefaction treatment: the case of sunflower chain." *Journal of Agricultural Engineering* 45.3 (2014): 97-102.
- [5.5.55] Peduzzi, Emanuela, et al. "Torrefaction modelling for lignocellulosic biomass conversion processes." *Energy* 70 (2014): 58-67.
- [5.5.56] Melkior, T., et al. "NMR analysis of the transformation of wood constituents by torrefaction." *Fuel* 92.1 (2012): 271-280.
- [5.5.57] Repellin, Vincent, et al. "Modelling anhydrous weight loss of wood chips during torrefaction in a pilot kiln." *Biomass and bioenergy* 34.5 (2010): 602-609.

- [5.5.58] Meng, Jiajia, et al. "The effect of torrefaction on the chemistry of fast-pyrolysis bio-oil." *Bioresource technology* 111 (2012): 439-446.
- [5.5.59] Prins, Mark J., Krzysztof J. Ptasinski, and Frans JJG Janssen. "Torrefaction of wood: Part 2. Analysis of products." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 77.1 (2006): 35-40.
- [5.5.60] Bourgois, Jacques, and René Guyonnet. "Characterization and analysis of torrefied wood." *Wood science and Technology* 22.2 (1988): 143-155.
- [5.5.61] Deng, Jian, et al. "Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via torrefaction." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 86.2 (2009): 331-337.
- [5.5.62] Lasode, Olumuyiwa A., Ayokunle O. Balogun, and Armando G. McDonald. "Torrefaction of some Nigerian lignocellulosic resources and decomposition kinetics." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 109 (2014): 47-55.
- [5.5.63] Bergman, Patrick CA, and Jacob HA Kiel. "Torrefaction for biomass upgrading." *Proc. 14th European Biomass Conference, Paris, France. 2005.*
- [5.5.64] Pelaez-Samaniego, Manuel Raul, et al. "A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties." *Wood Science and Technology* 47.6 (2013): 1285-1319.
- [5.5.65] Bourgois, Jacques, and René Guyonnet. "Characterization and analysis of torrefied wood." *Wood science and Technology* 22.2 (1988): 143-155.
- [5.5.66] Weiland, Fredrik, et al. "Entrained flow gasification of torrefied wood residues." *Fuel Processing Technology* 125 (2014): 51-58.
- [5.5.67] Pétrissans, A., et al. "Wood thermodegradation: experimental analysis and modeling of mass loss kinetics." *Maderas. Ciencia y tecnología* 16.2 (2014): 133-148.
- [5.5.68] Larsson, Sylvia H., et al. "Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce." *Applied Energy* 102 (2013): 827-832.
- [5.5.69] Järvinen, T., and D. Agar. "Experimentally determined storage and handling properties of fuel pellets made from torrefied whole-tree pine chips, logging residues and beech stem wood." *Fuel* 129 (2014): 330-339.
- [5.5.70] Nunes, L. J. R., J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão. "Mixed biomass pellets for thermal energy production: A review of combustion models." *Applied Energy* 127 (2014): 135-140.
- [5.5.71] Shang, Lei, et al. "Quality effects caused by torrefaction of pellets made from Scots pine." *Fuel Processing Technology* 101 (2012): 23-28.
- [5.5.72] Clarke, S., and F. Preto. *Biomass densification for energy production*. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2011.
- [5.5.73] Segerström, Markus, and Sylvia H. Larsson. "Clarifying sub-processes in continuous ring die pelletizing through die temperature control." *Fuel Processing Technology* 123 (2014): 122-126.
- [5.5.74] Felfli, Felix Fonseca, et al. "Wood briquette torrefaction." *Energy for Sustainable Development* 9.3 (2005): 19-22.

[5.5.75] Phanphanich, Manunya, and Sudhagar Mani. "Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass." *Bioresource technology* 102.2 (2011): 1246-1253.

[5.5.76] Wannapeera, Janewit, Bundit Fungtammasan, and Nakorn Worasuwanarak. "Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass." *Journal of Analytical and applied pyrolysis* 92.1 (2011): 99-105.

[5.5.77] Sun, Yun Juan, et al. "Review of torrefaction reactor technology." *Advanced Materials Research* 347 (2012): 1149-1155.

Capítulo 6. Análise estratégica, social, económica e ambiental da utilização de biomassa como recurso energético

6.1. Análise estratégica associada à utilização de biomassa para fins energéticos

[6.1.1] Giacone, E., Mancò, S. "Energy efficiency measurement in industrial processes." *Energy* 38 (2012): 331-345.

[6.1.2] Kohl, T., Laukkanen, T., Tuomaala, M., Niskanen, T., Siitonen, S., Järvinen, M.P., Ahtila P. "Comparison of energy efficiency assessment methods: Case Bio-SNG process." *Energy* 74 (2014): 88-98.

[6.1.3] Zhao Xiaoli, Yang Rui, Ma Qian. "China's total factor energy efficiency of provincial industrial sectors." *Energy* 65 (2014): 52-61.

[6.1.4] Broin, Eoin Ó, Mata, Érika, Göransson, Anders, Johnsson, Filip. "The effect of improved efficiency on energy savings in EU-27 buildings" *Energy* 57 (2013): 134-148.

[6.1.5] Umar, Mohd Shaharin, Philip Jennings, and Tania Urmee. "Sustainable electricity generation from oil palm biomass wastes in Malaysia: An industry survey." *Energy* 67 (2014): 496-505.

[6.1.6] Moshkelani, Maryam, et al. "The forest biorefinery and its implementation in the pulp and paper industry: Energy overview." *Applied Thermal Engineering* 50.2 (2013): 1427-1436.

[6.1.7] Çepelioğullar, Özge, and Ayşe E. Pütün. "Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis." *Energy Conversion and Management* 75 (2013): 263-270.

[6.1.8] Lin, Boqiang, and Mohamed Moubarak. "Decomposition analysis: Change of carbon dioxide emissions in the Chinese textile industry." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013): 389-396.

- [6.1.9] Briga-Sá, Ana, et al. "Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution." *Construction and Building Materials* 38 (2013): 155-160.
- [6.1.10] Michopoulos, A., et al. "The exploitation of biomass for building space heating in Greece: Energy, environmental and economic considerations." *Energy Conversion and Management* 78 (2014): 276-285.
- [6.1.11] Rodrigues, Carmen SD, Luís M. Madeira, and Rui AR Boaventura. "Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process." *Environmental Technology* 34.6 (2013): 719-729.
- [6.1.12] Islam, Md Mazedul, Adnan Maroof Khan, and Md Mashiur Rahman Khan. "Minimization of reworks in quality and productivity improvement in the apparel industry." *International Journal of Engineering* 1.4 (2013): 2305-8269.
- [6.1.13] Cherubini, Francesco. "The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals." *Energy Conversion and Management* 51.7 (2010): 1412-1421.
- [6.1.14] Lin, Boqiang, and Mohamed Moubarak. "Decomposition analysis: Change of carbon dioxide emissions in the Chinese textile industry." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013): 389-396.
- [6.1.15] Soltani, S., et al. "Thermodynamic analyses of an externally fired gas turbine combined cycle integrated with a biomass gasification plant." *Energy Conversion and Management* 70 (2013): 107-115.
- [6.1.16] Nakandala, Dilupa, Premaratne Samaranayake, and Henry CW Lau. "A fuzzy-based decision support model for monitoring on-time delivery performance: A textile industry case study." *European Journal of Operational Research* 225.3 (2013): 507-517.
- [6.1.17] Zhang, Linghong, Chunbao Charles Xu, and Pascale Champagne. "Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass." *Energy Conversion and Management* 51.5 (2010): 969-982.
- [6.1.18] Dangelico, Rosa Maria, Pierpaolo Pontrandolfo, and Devashish Pujari. "Developing sustainable new products in the textile and upholstered furniture industries: role of external integrative capabilities." *Journal of Product Innovation Management* 30.4 (2013): 642-658.
- [6.1.19] Nunes, LJR, JCO Matias, and JPS Catalao. "Application of biomass for the production of energy in the Portuguese textile industry." *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2013 International Conference on. IEEE, 2013.*
- [6.1.20] Maia, Laura Costa, Anabela Carvalho Alves, and Celina P. Leão. "Definition of a Protocol for Implementing Lean Production Methodology in Textile and Clothing Case Studies." *ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2013.*
- [6.1.21] Liserre, Marco, Thilo Sauter, and John Y. Hung. "Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics." *Industrial Electronics Magazine, IEEE* 4.1 (2010): 18-37.

[6.1.22] Pardo Martínez, Clara Inés. "Energy use and energy efficiency development in the German and Colombian textile industries." *Energy for Sustainable Development* 14.2 (2010): 94-103.

6.2. Aspetos de natureza económica associada à utilização de biomassa para fins energéticos

[6.4.1] Demirbas A. Combustion systems for biomass fuels. *Energy Sources Part A* 2007; 29:303-12.

[6.4.2] Karekezi S, Lata K, Coelho ST. Traditional biomass energy-improving its use and moving to modern energy use. In: Secretariat of the international conference for renewable energies, Bonn, June 1-4; 2004.

[6.4.3] Demirbas A. Global renewable energy resources. *Energy Sources Part A* 2006; 28:779-92.

[6.4.4] Balat M. Biomass energy and biochemical conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Sources Part A* 2006;28:517-25.

[6.4.5] Balat M, Bozbas K. Wood as an energy source: potential trends, usage of wood, and energy politics. *Energy Sources Part A* 2006; 28:837-44.

[6.4.6] Hoogwijk M, Faaij A, Eickhout B, de Vries B, Turkenburg W. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass Bioenergy* 2005; 29:225-57.

[6.4.7] Balat M, Acici N, Ersoy G. Trends in the use of biomass as an energy source. *Energy Sources Part B* 2006; 1:367-78.

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

[6.4.9] Demirbas A, Ozturk T, Demirbas MF. Recovery of energy and chemicals from carbonaceous materials. *Energy Sources Part A* 2006; 28:1473-82.

[6.4.10] Demirbas A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Convers Manage* 2001; 42:1357-78.

[6.4.11] Deshmukh SS, Jinturkar AM, Gawande JS. Comparative experimental study of single basin and stepped type solar still. *Energy Educat Sci Technol* 2008; 20:79-85.

[6.4.12] Demirbas A. Hazardous emissions, global climate change and environmental precautions. *Energy Sources Part B* 2006;1:75-84.

[6.4.13] Demirbas A. Conversion of corn stover to chemicals and fuels. *Energy Sources Part A* 2008;30:788-96.

[6.4.14] Demirbas A. Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey. *Energy Convers Manage* 2001; 42:1239-58.

6.3. Aspectos de natureza social associados à utilização de biomassa para fins energéticos

- [6.4.1] Iliadis NA. Biomass development and potential in South East Europe. Power and energy Society general Meeting 2009;(2):1e2. IEEE. Calgary. 2009.
- [6.4.2] Li JM, Xue M. China's situation and development prospects of biomass energy utilization. Management of Agricultural Science and Technology 2010;2:1.
- [6.4.3] Chen DM. Using the concept of scientific development to accelerate the development and utilization of biomass. Renewable Energy 2006;5:1.
- [6.4.4] Zeng W. Development status and technical needs of biomass power industry in China, <http://wenku.baidu.com/view/ceefc30ef12d2af90242e617.html>; 2010.
- [6.4.5] Zhao J, Wang SY. Bio-energy resource and its utilization in China. Acta Energiae Solaris Sinica 2008;1:90.
- [6.4.6] Wang XM, Tang L, Zhao DQ. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China. Environment and Ecology in the Three Gorges 2010;32:38.
- [6.4.7] Chen XC, Wang DY. Low-carbon economy and the development of domestic biomass. Energy and Environment 2011;1:27.
- [6.4.8] Zhu YF. Renewable energy situation and prospects. Electric Age 2010;4:85.
- [6.4.9] Weihrich H, Cannice MV, Koontz H. Management - globalization and entrepreneurship perspectives. 12th ed. Beijing: Economic Science Press; 2008.
- [6.4.10] Zhao ZY, Shen LY, Zuo J. Performance and strategy of Chinese contractors in the international market. Journal of Construction Engineering and Management 2009;2:108.
- [6.4.11] Jia XL, Ding H, Li XZ, Pang JF. Status, problems and recommendations of biomass power generation industry in China. Solar 2007;5:331.
- [6.4.12] Zhao HS. Develop new and renewable energy sources and promote energysaving technological progress. Resource Conservation and Environmental Protection 2006;4:25.
- [6.4.13] Report 2009-Series of renewable energy. China Economic Information Network, <http://wenku.baidu.com/view/b92eea00bed5b9f3f90f1c31.html>; 2010.
- [6.4.14] Jiang DH, Yao BX. Necessity of developing biomass power generation and the existing problems. Power Equipment 2008;2:152.
- [6.4.15] Ainatheer O. Environmental benefits of energy efficiency and renewable energy in Saudi. Arabia's electric sector. Energy Policy 2006;34:2.
- [6.4.16] Xie FL. Power generating technology application of 140MW units in Shiliquan straw power plant. Shandong Electric Power 2006;2:65.
- [6.4.17] Ma M. The biomass gasification power generation system has achieved made in China. Electric Power Construction 2009;2:77.

- [6.4.18]Gao Y. Risk analysis to China's biomass power generation industry in 2010. *International Finance* 2010;3:53.
- [6.4.19]Liu G, Hao DH. Biomass straw collection cost's study and positive analysis. *Technology Economics* 2006;2:85.
- [6.4.20]Gong DX. Overview and analysis of China's development of biomass power generation technology. *Pine Friends Finance*; 2008.
- [6.4.21]Jiang DL. Dragon Power \$ 150,000,000 investment in biomass power eight years without earnings, http://www.gesep.com/news/show_81_248204/2.html; 2010.
- [6.4.22]Fan DJ, Yan XM. Price subsidies for biomass power generation system of corporate development. *Price Theory and Practice* 2010;4:77.
- [6.4.23]Zhu RC. China's biomass power industry development and countermeasures. *Technology Innovation Review* 2010;6:1.
- [6.4.24]Luo YH, Ding LX. Evaluation of biomass power generation systems based on energy theory. *Proceedings of the CSEE* 2009;29:112.
- [6.4.25]Dam JV, Junginger M, Faaij APC. From the global efforts on certification of bioenergy towards an integrated approach based on sustainable land use planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010;14(9):2445.
- [6.4.26]Pillai JR, Bak-Jensen B. Integration of vehicle-to-grid in the western Danish power system. *Sustainable Energy* 2010;99:12.
- [6.4.27]Li YD. Biomass power industry has been improved prospects for policy escort - development should be standardized; 2010. *China Securities Paper*, July 20.
- [6.4.28]Zhao ZY, Zuo J, Fan LL, Zillante G. Impacts of renewable energy regulations on the structure of power generation in China- a critical analysis. *Renewable Energy* 2011;36(1):24.
- [6.4.29]Zhao ZY, Zuo J, Feng TT, Zillante G. International cooperation on renewable energy development in China - a critical analysis. *Renewable Energy* 2011; 36(3):1105.
- [6.4.30]Zhang W, Hou Y. Broad prospects for biomass power generation. *China Power Enterprise Management* 2007;4:30.
- [6.4.31]McLauchlan L, Mehrubeoglu M. A survey of green energy technology and policy. TX, U.S.A: *Green Technologies Conference*; April 2010.
- [6.4.32]Ni SJ. Development and utilization of biomass energy to achieve sustained development on economic and social - inspection report of biomass energy development and utilization in Germany, Sweden and Denmark. *Henan Agriculture* 2006;11:12.
- [6.4.33]Liu TQ, Yang YL, Li XY, Xing Z, Wang FJ, Su P. Energy saving generation dispatch for sustainable development of energy utilizing in China. *Chengdu: Power and energy engineering Conference (APPEEC)*; 2010. March 28-31.

6.4. Aspetos de natureza ambiental associados à utilização de biomassa para fins energéticos

- [6.4.1] Agarwal PK, Pedler I. Drying, devolatilisation and volatile combustion for single coal particles: a pseudo steady state approach. *Fuel* 1986; 65:640.
- [6.4.2] Agarwal PK, Genetti WE, Lee YY, Prasad SN. Model for drying during fluidized-bed combustion of wet low-rank coals. *Fuel* 1984; 63:1020.
- [6.4.3] Peters B. Thermal conversion of solid fuels. Southampton, UK: WIT Press; 2003.
- [6.4.4] Thunman H, Davidsson K, Leckner B. Separation of drying and devolatilization during conversion of solid fuels. *Combust Flame* 2004; 137:242.
- [6.4.5] Sreekantha M, Kumar Kolar A, Leckner B. Transient thermal behaviour of a cylindrical wood particle during devolatilization in a bubbling fluidized bed. *Fuel Process Technol* 2008; 89:838.
- [6.4.6] Lu H, Ip E, Scott J, Foster P, Vickers M, Baxter LL. Effects of particle shape and size on devolatilization of biomass particle. *Fuel* 2010;89: 1156.
- [6.4.7] Ma L, Jones JM, Pourkashanian M, Williams A. Modelling the combustion of pulverised biomass in an industrial furnace. *Fuel* 2007; 86:1959.
- [6.4.8] Gera D, Mathur MP, Freeman MC, Robinson A. Effect of large aspect ratio of biomass particles on carbon burnout in a utility boiler. *Energ Fuel* 2002; 16:1523.
- [6.4.9] Yang YB, Vida V, Sharifi N, Swithenbank J, Ma L, Darvell LI, et al. Combustion of a single particle of biomass. *Energ Fuel* 2008;22:306.
- [6.4.10] Sheng CD, Azevedo JLT. Modeling biomass devolatilization using the chemical percolation devolatilization model for the main components. *Proc Combust Inst* 2002; 29:407.
- [6.4.11] Moghtaderi B, Meesri C, Wall TF. Pyrolytic characteristics of blended coal and woody biomass. *Fuel* 2004; 83:745.
- [6.4.12] Field MA, Gill DW, Morgan BB, Hawksley PGW. The combustion of pulverised coal. Leatherhead, UK: The British Coal Utilisation Research Association; 1967.
- [6.4.13] Kobayashi H, Howard JB, Sarofim AF. Coal devolatilization at high temperatures. *Symp (Int) Combust* 1976;16:411.
- [6.4.14] Saddawi A, Jones JM, Williams A, Wojtowicz MA. Kinetics of the thermal decomposition of biomass energy fuels. *Energ Fuel* 2010; 24:1274.
- [6.4.15] Di Blasi C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. *Prog Energ Combust Sci* 2008;34:47.
- [6.4.16] Shafizadeh F, Bradbury AGW. Thermal degradation of cellulose in air and nitrogen at low temperatures. *J Appl Polym Sci* 1979;23:431.
- [6.4.17] Shafizadeh FJ. Introduction to pyrolysis of biomass. *J Anal Appl Pyrol* 1982; 3: 283.
- [6.4.18] Evans RJ, Milne TA. Molecular characterization of the pyrolysis of biomass. 1. Fundamentals. *Energ Fuel* 1987; 1:123.

- [6.4.19]Evans RJ, Milne TA. Molecular characterization of the pyrolysis of biomass. 2.Applications. *Energ Fuel* 1987; 1:311.
- [6.4.20]Yang H, Rong Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* 2007; 86:178.
- [6.4.21]Chaiwat W, Hasegawa I, Tani T, Sunagawa K, Mae K. Analysis of cross-linking behavior during pyrolysis of cellulose for elucidating reaction pathway. *Energ Fuel* 2009; 23:5765.
- [6.4.22]Niksa S. Predicting the rapid devolatilization of diverse forms of biomass with bio FLASHCHIN. *Symp (Int) Combust* 2000;28:2727. Also Niksa S. Chemical reaction kinetics for thermochemical processing of biomass *Prep Pap-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem.* 2009; 54:919.
- [6.4.23]Raveendran K, Ganesh A, Khilar K. Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components. *Fuel* 1996; 75:987.
- [6.4.24]Simone M, Biagini E, Galletti C, Tognotti L. Evaluation of global biomass devolatilization kinetics in a drop tube reactor with CFD aided experiments. *Fuel* 2009; 88:1818.
- [6.4.25]Ranzi E, Cuoci A, Faravelli T, Frassoldati A, Migliavacc G, Pierucci S, et al. Chemical kinetics of biomass pyrolysis. *Energ Fuel* 2008; 22:4292.
- [6.4.26]Dupont C, Chen L, Cances J, Commandre J-M, Cuoci A, Pierucci S, et al. Biomass pyrolysis: kinetic modelling and experimental validation under high temperature and flash heating rate conditions. *J Anal Appl Pyrolysis* 2009; 85:260.
- [6.4.27]Fitzpatrick EM, Jones JM, Pourkashanian M, Ross AB, Williams A, Bartle KD. Mechanistic aspects of soot formation from the combustion of pine wood. *Energ Fuel* 2008; 22:3771.
- [6.4.28]Ross AB, Fitzpatrick EM, Bates J, Andrews GE, Jones JM, Phylaktou H, et al. Emission of oxygenated species from the combustion of pine wood and its relation to soot formation. *Process Saf Environ Prot I. Chem E* September 2007; 85(b5):430.
- [6.4.29]Baeza-Romero MT, Wilson JM, Fitzpatrick EM, Jones JM, Williams A. In situ study of soot from the combustion of a biomass pyrolysis intermediate; eugenol; and n-decane using aerosol time of flight mass spectrometry. *Energ Fuel* 2009; 24:439.
- [6.4.30]Williams PT, Horne PA. Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis of biomass. *Fuel* 1996; 75:1051.
- [6.4.31]Klass DL. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. San Diego: Academic Press; 1998.

