

Avaliação do Potencial Energético da Biomassa nas Sub-regiões do Minho-Lima, Ave, Cávado e Grande Porto

Carlos Miguel Pinto Moreira

Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Porto, Junho de 2012

*Dedicado à minha mãe Adelina
e ao meu pai José*

Resumo

O trabalho aqui realizado centra-se na avaliação do papel das energias endógenas, mais especificamente o papel que biomassa pode ter nas sub-regiões do Minho-Lima, Ave, Cávado e Grande Porto. Tendo em conta que a floresta é um setor que bem gerido pode criar riqueza, foi considerada neste trabalho. Os setores que geram bastantes resíduos e com um forte caráter poluidor como o pecuário, agrícola, agroalimentar, piscícola-alimentar e o setor dos curtumes, foram considerados devido à possibilidade de serem encontradas soluções de tratamento e valorização para os seus resíduos.

Durante o estudo foram quantificados os potenciais energéticos, convertidos em eletricidade, de cada tipo de resíduo, sendo o processo de combustão o escolhido para a biomassa florestal, e a digestão anaeróbia para os outros setores.

Os resultados obtidos para o setor silvícola revelaram-se baixos, mas era expectável dada a percentagem de floresta da sub-região em estudo e as áreas protegidas. No que toca aos outros setores o não conhecimento exato dos dados referentes à quantidade e ao tipo de resíduos limitou o estudo.

Como conclusão, o que se deve retirar deste trabalho é a necessidade de aprofundar o estudo relativamente a cada setor, procurando a proximidade com as indústrias e com os produtores agropecuários. Deveria ser impulsionada a criação de explorações piloto com sistemas de valorização energética com digestores anaeróbios.

Evaluation of the Biomass Energy Potential in Sub-regions of Minho-Lima, Ave, Cávado and Grande Porto

Abstract

This work focuses on assessing the role that endogenous energies more specifically biomass may have in sub-regions of Minho-Lima, Ave, Cávado and Grande Porto. Given that the forest is a well-managed industry that can create wealth, was considered in this work. The sectors that generate enough waste and with a strong character polluter as livestock, agriculture, agribusiness, fish-food industry and leather, were considered as possibility to find solutions for treatment and recovery of their wastes.

During this study energetic potential were quantified, converted into electricity, of each type of waste, the combustion process was chosen for the forest biomass and the anaerobic digestion was considered for the other sectors.

The results for the forestry sector proved to be low, but these were expected given the percentage of forest in the sub-region under study and the protected regions. Considering the other sectors not knowing the exact data related to the quantity and type of waste limited the study.

Finally, from this work it's possible to conclude the need for more studies for each sector, in close proximity to the industries and agricultural producers. It must be led to the creation of pilot farms with energy recovery systems in anaerobic digesters.

Agradecimentos

Em primeiro lugar aos meus pais, por tudo o que me proporcionaram ao longo da minha curta vida.

Ao orientador, Professor Carlos Pinho, pelo acompanhamento e profunda demonstração de sabedoria.

Ao técnico do Instituto Nacional de Estatística, Adérito Alves, pela colaboração prestada.

Aos que comigo partilharam o ano de caloiro, e me acompanharam ao longo destes 5 anos, farão sempre parte da minha vida.

A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado nos melhores momentos da vida académica, seja em festas, praxe ou simplesmente dias de estudo.

Aos que conheci, e que por diversos motivos me fizeram sorrir em algum momento.

A todos, uma enorme palavra de gratidão.

Índice de Conteúdos

Índice de tabelas	xiii
Índice de figuras	xvii
Nomenclatura	xix
1 - Introdução	1
2 – Apresentação das Sub-regiões do Minho-Lima, Ave, Cávado e Grande Porto	5
2.1 – Caracterização geográfica	5
2.1.1 – Minho-Lima	5
2.1.2 – Cávado	6
2.1.3 – Ave	7
2.1.4 – Grande Porto	8
2.1.5 – Caracterização geral	9
2.2 – Caracterização da ocupação do solo	9
2.3 – Caracterização agropecuária	11
2.4 – Caracterização do tecido empresarial	11
3 – A eletricidade e as energias de fonte renovável	13
3.1 – Cenário energético nacional	14
3.2 – A eletricidade no contexto das energias renováveis	15
3.3 – Custo de produção de eletricidade	19
3.4 – Fator de carga	21
4 - Biomassa	23
4.1 - Biomassa florestal	24
4.1.1 – Características da biomassa florestal	24
4.2 – Pecuária	26
4.3 - Resíduos agrícolas	29
4.4 - Resíduos da indústria agroalimentar e piscícola-alimentar	30
4.4.1 - Indústria agroalimentar	30
4.4.2 - Indústria piscícola-alimentar	30
4.5 - Aterros – Resíduos Sólidos Urbanos	31
4.6 - Curtumes	32
5 - Tecnologias de conversão energética	35
5.1 – Combustão	35
5.2 – Incineração	36
5.3 – Gaseificação	36
5.4 – Cogeração	37
6 - Potencial energético da biomassa florestal	39
6.1 - Fatores que influenciam o cálculo	42
6.2 - Avaliação do potencial máximo elétrico	42
6.3 - Estudo complementar	44
6.4 - Discussão dos resultados	46

7 – Biogás.....	49
7.1 - Processo de digestão anaeróbia	50
7.2 – Tipos de digestores.....	52
7.3 - Pecuária.....	53
7.3.1 - A exploração do biogás na pecuária	53
7.3.2 - Efluentes pecuários	53
7.3.3 - Quantificação do potencial de produção de biogás.....	54
7.3.4 - Levantamento do potencial energético do biogás	56
7.3.5 - Potencial energético do biogás	58
7.3.6 – Discussão de resultados.....	59
7.4 – Resíduos agrícolas	59
7.4.1 - Avaliação das culturas das sub-regiões	61
7.4.2 - Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis	63
7.4.3 – Culturas energéticas.....	65
7.4.4 – Discussão de resultados.....	67
7.5 – Indústria agroalimentar e piscícola-alimentar.....	67
7.5.1 – Indústria agroalimentar	67
7.5.1.1 – Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis	68
7.5.2 – Indústria piscícola-alimentar	70
7.5.2.1 – Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis	70
7.5.3 – Discussão de resultados.....	72
7.6 - Aterros (Resíduos Sólidos Urbanos)	72
7.6.1 – Digestão anaeróbia	74
7.6.2 – Gás produzido em aterro	75
7.6.3 – Discussão de resultados.....	77
8 – Curtumes	79
8.1 - Cálculo do potencial energético.....	80
8.1.1 – Gaseificação.....	80
8.1.2 - Digestão anaeróbia	80
8.2 - Discussão de resultados.....	81
9 - Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	83
9.1 - Relativamente à biomassa florestal	83
9.2 – Relativamente à produção de biogás.....	84
9.3 – O setor dos curtumes.....	86
9.4 – Considerações gerais	86
Referências e Bibliografia.....	87
ANEXO A: Efetivo animal por sub-região.....	93
ANEXO B: Tabelas de ocupação do solo por cada sub-região	95
ANEXO C: Operações de gestão de resíduos	97
ANEXO D: Resíduos para utilização no software Landgem	99
ANEXO E: Cálculos relativos aos resíduos dos curtumes	101

Índice de tabelas

Tabela 1 - Potência instalada e eletricidade produzida em função da tecnologia em 2011 (DGEG, 2012).	2
Tabela 2 - Caracterização geral por área e população.	9
Tabela 3 - Área de uso dos solos para as sub-regiões em análise (IFN, 2011).	9
Tabela 4 - Áreas dos tipos de ocupação florestal para as sub-regiões em análise (IFN, 2011).	10
Tabela 5 - Efetivo em milhares de unidades por espécie e sub-região (INE, 2012).	11
Tabela 6 - Percentagem de empresas por cada tipo de indústria (INE, 2012).	12
Tabela 7 - Potência instalada por recurso renovável no período 2008 a 2011 (DGEG, 2012).	16
Tabela 8 - Energia elétrica produzida no período 2008 a 2011 por fontes renováveis (DGEG, 2012).	16
Tabela 9 - Quota por tipo de produção de eletricidade em cada sub-região, no ano de 2009 (INE, 2012).	17
Tabela 10 - Tarifa média indicativa por tecnologia (PNAER, 2010).	18
Tabela 11 - Custo médio anual de eletricidade por tecnologia (€/MWh) (ERSE, 2012).	21
Tabela 12 - Fatores de potência e disponibilidade em horas, relativas à potência instalada no país e energia elétrica produzida.	22
Tabela 13 - Composição elementar da biomassa (Quaak et al., 1999).	25
Tabela 14 - Diferenças entre peletes e briquetes (Werther et al., 2000).	26
Tabela 15 - Valores aproximados da produção e percentagem de sólidos totais dos excrementos, produzidos por algumas espécies pecuárias (SPI, 2005).	27
Tabela 16 - Quantidades médias de material utilizado nas camas por animal estabulado no Reino Unido (SPI, 2005).	28
Tabela 17 - Estimativa das quantidades de águas de lavagem ou de outra proveniência que são recolhidas conjuntamente com os excrementos gerados por algumas espécies pecuárias (SPI, 2005).	28
Tabela 18 - Energia potencial contida em resíduos agrícolas (MADRP, 2005).	29
Tabela 19 - tipos de gaseificação e respetivos poderes caloríficos (Belgiorno, 2003).	37
Tabela 20 - Tecnologias e processos de conversão de biomassa, e os seus produtos (Sobral, 2011).	38

Tabela 21 - Espécies e respetivas áreas de ocupação (AFN, 2011).	41
Tabela 22 - Áreas de ocupação total por espécie e composição dos povoamentos (AFN, 2011), com exceção para: 1) (Fernandes & Costa, 2010); 2) Valor não disponível, e por isso admitido.	41
Tabela 23 - Estimativa da biomassa seca disponível para cada um dos cenários.	43
Tabela 24 - Avaliação das potencialidades energéticas da biomassa disponível para os cenários A e B.	44
Tabela 25 - Produção de produtos derivados da madeira (EA, 2010).	45
Tabela 26 - Produção de produtos derivados da madeira em m ³ entre 2007 e 2009.	45
Tabela 27 - Composição do biogás (AEBIOM, 2009).	49
Tabela 28 - Equivalências energéticas com outras fontes (Coelho, 2002).	50
Tabela 29 - tempo de semitransformação $t_{1/2}$ e biodegradabilidade (% de conversão máxima) de alguns substratos (Pereira & Matos, 2003).	52
Tabela 30 - Características de alguns substratos (CE, 2004).	54
Tabela 31 - Efetivo total por espécie (INE, 2012).	55
Tabela 32 - Características dos efluentes para diferentes espécies, por percentagem de massa de animal vivo (Sobral, 2011).	56
Tabela 33 - Características do substrato para diferentes espécies, incluindo a produção média de biogás (Sobral, 2011).	57
Tabela 34 - Potencial máximo de biogás diário produzido para a Sub-região em estudo.	57
Tabela 35 - Potência máxima de energia elétrica produzida através da produção anual de biogás e potência máxima a instalar.	58
Tabela 36 - Quantidade de resíduos agrícolas produzidos para as sub-regiões em análise.	64
Tabela 37 - Valores referência para as espécies agrícolas utilizadas (Lehtomäki, 2006). 1) Valor não fornecido portanto arbitrado.	65
Tabela 38 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência a instalar; (*) Potência a instalar para 3.781 h/ano.	65
Tabela 39 - Quantidade de resíduos agroalimentares por operação de gestão.	69
Tabela 40 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência máxima a instalar; (*) Potencia a instalar para 3.781 h/ano.	69
Tabela 41 - Operações de gestão dos resíduos do setor das pescas.	71
Tabela 42 - Valores típicos para as lamas de peixe (Carvalho <i>et al.</i> , 2010).	71
Tabela 43 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência máxima a instalar; (*) Potencia a instalar para 3.781 h/ano.	72
Tabela 44 - Explorações energéticas de RSU.	73
Tabela 45 - Distribuição dos RSU por região NUTS III (EAmb, 2010).	73
Tabela 46 - Distribuição dos resíduos por operação de gestão em função da sub-região no ano de 2010 (INE, 2012).	74

Tabela 47 - Resíduos destinados a aterro em cada ano, tabela construída com base no Anexo D....	76
Tabela 48 - Produção de biogás com base no metano produzido em aterro através de simulação em LandGEM.	76
Tabela 49 - Valores para a potência obtida em cada ano; 1) fator de carga de 8.760 h; 2) fator de carga de 3.781 h; 3) fator de carga de 5.477 h.	77
Tabela 50 - Comparação entre o processo de digestão anaeróbia e o gás captado em aterro, em função das potências a instalar para cada fator de carga.	78
Tabela 51 - Energia elétrica produzida e potência a instalar.	84
Tabela 52 - Compilação dos resultados obtidos para a produção de energia elétrica e potência a instalar em função de cada setor.	85
Tabela 53 - Efetivo animal por sub-região e espécie (INE, 2012).	93
Tabela 54 - Tipos e áreas de ocupação do solo por sub-região (IFN, 2011).	95
Tabela 55 - Resíduos recolhidos por localização e ano (INE, 2012).	99

Índice de figuras

Figura 1 - Utilização de cada tipo de energia entre 1850 e 2002 (WEC, 2003).	1
Figura 2 - Sub-região Minho-Lima, incluindo os seus 10 concelhos (INE, 2012).	6
Figura 3 - Sub-região do Cávado, incluindo os seus 6 concelhos (INE, 2012).	7
Figura 4 - Sub-região do Ave, incluindo os seus concelhos (INE, 2012).	7
Figura 5 - Sub-região do Grande Porto, incluindo os seus concelhos (INE, 2012).	8
Figura 6 - Emissões relativas a cada tipo de combustível em 2009 (IEA, 2011).	13
Figura 7 - Dependência energética no período 2005-2011 (DGEG, 2011).	14
Figura 8 - Fornecimento de total de energia em Portugal por tipo de combustível (IEA, 2011a).	15
Figura 9 - Energia elétrica anual entregue à rede por tecnologia (ERSE, 2012).	19
Figura 10 - Contribuição de cada componente para o preço da energia e composição dos CIEG (EDP, 2012).	20
Figura 11 - diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás de aterro.	32
Figura 12 - Adequação do local para remoção de resíduos florestais EEA (2006).	40
Figura 13 - Exportações Portuguesas nos anos de 2010 e 2011 (AICEP 2012)	46
Figura 14 - Carta de explorabilidade dos recursos florestais, verde são as zonas com grande potencial de explorabilidade, a laranja média explorabilidade e a vermelho baixa explorabilidade (FORESTIS, 2008).	47
Figura 15 - Processos bioquímicos de conversão presentes na Digestão Anaeróbia (CEPA, 2008). .	51
Figura 16 - Evolução do efetivo bovino e suíno entre 1999-2009 (INE, 2009).	55
Figura 17 - Produção de metano em função do tempo e da adição de matéria volátil (VS), de uma mistura de batata-doce com excreta de suíno (Fleming <i>et al.</i> , 2009).	60
Figura 18 - Produção cumulativa de metano em função do tempo e da adição de matéria volátil (VS), de uma mistura de batata-doce com excreta de suíno (Fleming <i>et al.</i> , 2009).	61
Figura 19 - Ocupação cultural predominante da SAU (2009) (RA, 2009).	61
Figura 20 - Culturas temporárias por região (RA, 2009).	62
Figura 21 - Área ocupada por cultura de cereais (RA, 2009).	62
Figura 22 - Resíduos da agricultura e floresta por tipo de operação de gestão (EAmb, 2010).	63

Figura 23 - Resíduos totais nacionais, a vermelho refere-se à indústria agroalimentar, e a verde à indústria piscícola-alimentar (EAmb, 2010).....	68
--	----

Nomenclatura

AMA – Acréscimos Médios Anuais
BTE – Baixa Tensão Especial
CHP – Combined Heat and Power
CIEG – Custos de Interesse Económico Geral
CUR – Comercializador de Último Recurso
EDM – Entre Douro e Minho
EDP – Energias de Portugal
ENE – Estratégia Nacional para a Energia
EPA – Environmental Protection Agency
ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EUA – Estados Unidos da América
FIPA – Federação das Indústrias Portuguesas Agroalimentares
FUE – Fração de Utilização de Energia
GEE – Gases de Efeito Estufa
INE – Instituto Nacional de Estatística
LTC – Low Temperature Conversion
MO – Matéria Orgânica
MOS – Matéria Orgânica Seca
MS – Matéria Seca
MT – Média Tensão
NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais
PIB – Produto Interno Bruto
PNAER – Programa Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PRE – Produção em Regime Especial
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SAU – Superfície Agrícola Utilizada

SV – Sólidos Voláteis

TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo

TS – Total de Sólidos

1 - Introdução

Com o aumento da população mundial, a recuperação e o crescimento económico, a melhoria dos padrões de vida, existe consequentemente o desafio de suprir as necessidades energéticas e ao mesmo tempo reduzir o impacto no meio ambiente. Segundo Exxon (2009), em 2030 a procura energética será quase 35 % maior que em 2005.

Nos EUA, em 1850 a madeira era tida como a maior fonte de energia, em 1900 passou a ser o carvão, até que por volta de 1950 o petróleo ganhou predominância devido ao desenvolvimento dos transportes. Nessa mesma altura começou a ser explorado o gás natural, e as primeiras energias de índole renovável apareceram, além da energia nuclear. De salientar que com o avançar dos anos os métodos de exploração e utilização da energia vão-se tornando mais eficientes e limpos (Exxon, 2009).

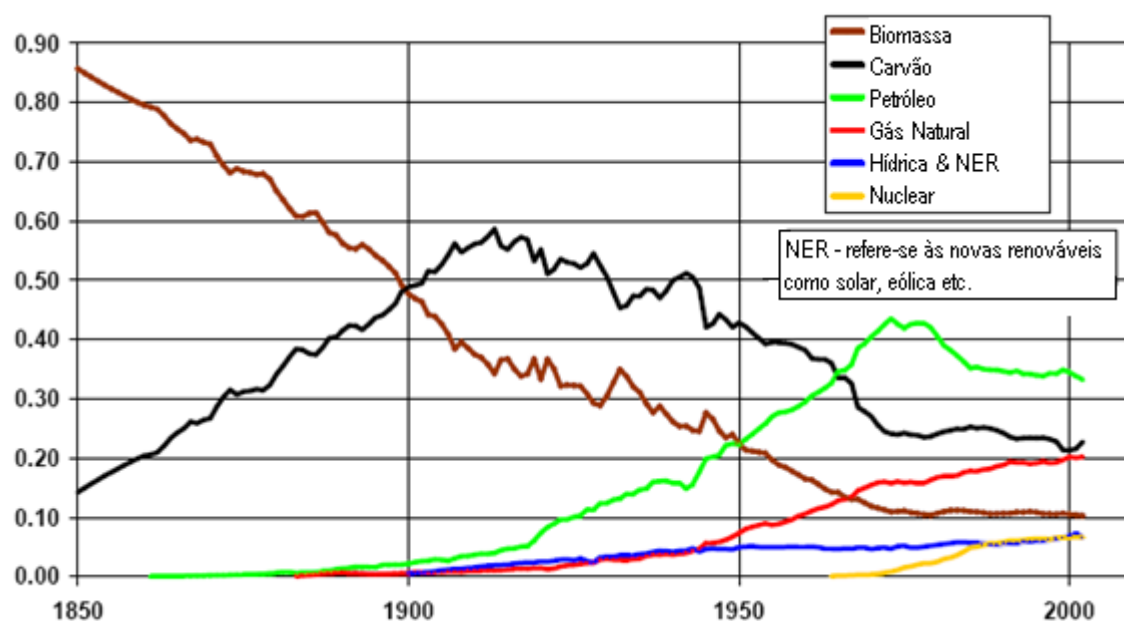


Figura 1 - Utilização de cada tipo de energia entre 1850 e 2002 (WEC, 2003).

Como é perceptível na Figura 1, e referido anteriormente, ao longo dos anos cada tipo de energia vai tendo o seu auge de utilização. Em 2009 cerca de 10 % da energia mundial provinha da biomassa, enquanto que só cerca de 3 % tinha origem nas outras fontes renováveis (IEA, 2011). Com estes dados pode-se concluir que as energias renováveis têm um peso significativo no total mundial, para além de que é no setor secundário que as bioenergias

têm um papel fundamental, pois dão a possibilidade de conversão em eletricidade, uma das formas energéticas mais consumidas a nível mundial.

No contexto nacional, as energias renováveis ocupam já um papel importante, tendo o governo definido um programa estratégico de aumento do contributo das renováveis para o panorama energético nacional. Ou seja, por deliberação do conselho de ministros foi definido um programa com o nome de Estratégia Nacional para a Energia (ENE), sendo os principais objetivos em traços simplistas os seguintes (DR, 2010):

- Reduzir a dependência energética do país face ao exterior;
- Garantir o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal, no contexto do combate às alterações climáticas;
- Reduzir em 25 % o saldo importador energético com a energia produzida;
- Criar riqueza e consolidar um *cluster* energético no setor das renováveis em Portugal;
- Desenvolver um *cluster* industrial associado à promoção da eficiência energética;
- Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas de redução das emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.

Em função da importância dada pelo estado ao setor das energias verdes, e do seu desenvolvimento, em finais de 2011 a contribuição das fontes de energia renovável para produção de energia elétrica atingiu os 43,7 %. Em Março de 2012 Portugal já apresentava uma potência instalada de 10.352 MW (DGEG, 2012), proveniente de fontes renováveis, sendo que o total instalado até 2011 era de 18.901 MW, o que evidencia mais uma vez a importância do setor (REN, 2011). Relativamente à biomassa, Portugal em finais de 2011 tinha uma potência instalada de 600,2 MW e produzira cerca de 2.995 GWh de eletricidade (DGEG, 2012). Em comparação com a potência elétrica instalada em Portugal a partir de fontes renováveis, o valor relativo à biomassa corresponde a 5,8 % do total. O tipo de produção mais pormenorizado relativo à biomassa pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Potência instalada e eletricidade produzida em função da tecnologia em 2011 (DGEG, 2012).

Tecnologias	Potência instalada total (MW)	Eletricidade produzida anual (GWh)
Biomassa c/ cogeração	367	1.669
Biomassa s/ cogeração	105	688
Biogás	40,2	152
Resíduos sólidos urbanos	88	486

O trabalho aqui apresentado tem como título “Avaliação do Potencial Energético da Biomassa nas Sub-regiões do Minho-lima, Ave, Cávado e Grande Porto”, e como o título indica, trata-se de um estudo dos mais variados tipos de biomassa. Entre os objetivos do estudo encontra-se a avaliação da biomassa florestal, dos resíduos da indústria agroalimentar e

piscícola-alimentar, dos resíduos do setor dos curtumes, dos resíduos da pecuária e agricultura e por fim uma avaliação dos resíduos sólidos urbanos (RSU), naquela associação de regiões do Norte de Portugal.

A biomassa florestal é motivo de estudo devido à sua larga ocupação da área em estudo, isto é, dos cerca de 5.715 km² que as sub-regiões no total ocupam, 1.830 km² são ocupados por floresta, o que corresponde a cerca de 32 % da área. Para além do referido anteriormente e de acordo com a ENE, a gestão dos recursos florestais pode ter um impacto determinante nas economias locais, como a fixação de população, a criação de emprego direto e indireto, além da componente ecológica, como a prevenção de incêndios.

No que diz respeito à pecuária salienta-se o potencial de valorização energética dos seus efluentes, ou seja na produção de biogás através da digestão anaeróbia. O mesmo processo é utilizado para valorizar os resíduos agrícolas, setor também analisado neste trabalho. Relativamente ao setor pecuário é de realçar que o efetivo bovino na zona em estudo equivale a aproximadamente 15 % do total nacional. A área agrícola utilizada a nível nacional corresponde a cerca de 32 %, sendo que na zona em causa desce ligeiramente para os 26 %, este valor é na mesma bastante considerável (INE, 2012), contudo comparativamente à área total nacional ocupada por agricultura, só 5,3 % se encontra na zona em estudo.

Relativamente à indústria agroalimentar, o interesse aparece devido à grande quantidade de resíduos gerados normalmente destinados a aterro, sem que exista a possibilidade de valorização. Será tida em conta a indústria alimentar e de bebidas para efeitos de cálculo. Nas sub-regiões em estudo, este setor equivale a 17 % do total nacional das empresas deste setor (INE, 2012), ou seja é uma indústria com importante relevo. A indústria piscícola-alimentar tem interesse devido às indústrias de transformação e conservas de peixe existentes na zona, sendo que os seus resíduos têm vindo a ser alvo de estudos com vista à valorização energética, apesar de esta não ser ainda muito difundida. Esta indústria representa cerca de 13 % do total nacional de empresas deste setor, englobando por exemplo as indústrias da pesca, conservas e secagem.

Em relação aos resíduos do setor dos curtumes, foram tidos em conta pois contam com uma elevada dificuldade em encontrar formas de tratamento viáveis, sendo que recentemente, se vê na conversão energética uma forma de tratamento. Com base em INE (2012), pode-se dizer que 20 % do total de indústrias ligadas ao couro e derivados se encontram na zona em estudo.

Para além da demonstração neste trabalho do potencial dos recursos endógenos das sub-regiões em causa, é também importante dar a conhecer as formas mais convenientes de tratamento e valorização dos resíduos das indústrias já referidas. Antes de se passar à valorização dos resíduos é importante pensar em políticas de redução, reutilização e reciclagem, estas políticas têm uma grande importância no comportamento e consciencialização da sociedade para o problema ambiental vivido atualmente.

As motivações para a execução deste trabalho são a grande preocupação com a dependência energética nacional de combustíveis fósseis, a preocupação com as questões ambientais, e as não menos importantes questões sociais e económicas que assolam o país e a zona em estudo. Para além da hipótese de criação de postos de trabalho, é objetivo principal quantificar a possibilidade de implementação de sistemas de valorização energética, que reduzam o impacto ambiental dos resíduos e possam dar uma ideia sobre como o produtor pode baixar os custos de operação do seu negócio.

Nos capítulos seguintes será feito o desenvolvimento do estudo, começando no Capítulo 2 por se apresentar as sub-regiões em estudo em termos geográficos, de ocupação do solo, da constituição agropecuária e do seu tecido empresarial. No Capítulo 3 faz-se uma breve apresentação da situação energética nacional e da integração das energias renováveis na produção de eletricidade. O Capítulo 4 faz uma breve descrição de cada tipo de resíduo que será mais à frente aprofundado. No Capítulo 5 são descritos os processos de conversão energéticos mais utilizados. O Capítulo 6 é sobre a biomassa florestal e a avaliação do seu potencial elétrico a instalar através da combustão. De seguida vem o maior capítulo deste trabalho, que se refere fundamentalmente ao biogás e à digestão anaeróbia. Aqui são tratados os resíduos da pecuária, da agricultura, da indústria agroalimentar e piscícola-alimentar e finalmente os resíduos depositados em aterro. No Capítulo 8, o aproveitamento energético dos resíduos do setor dos curtumes é avaliado através de dois tipos de processo, gaseificação e digestão anaeróbia. Por fim no Capítulo 9, são apresentadas as conclusões finais do trabalho e propostas de estudo futuras.

2 – Apresentação das Sub-regiões do Minho-Lima, Ave, Cávado e Grande Porto

2.1 – Caracterização geográfica

O estudo aqui realizado assenta em 4 sub-regiões NUTS III. Esta nomenclatura é utilizada de acordo com a Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos de nível 3. As sub-regiões a que se referem este trabalho são, Minho-Lima, Cávado, Ave e Grande Porto. A cada uma delas será dedicado um tópico para uma caracterização mais específica, reunindo os dados no final para uma caracterização geral.

2.1.1 – Minho-Lima

A sub-região Minho-Lima corresponde integralmente ao distrito de Viana do Castelo, é delimitada por 2 rios, a sul o rio Lima, com foz em Viana do Castelo e a norte o rio Minho com foz em Caminha, este rio faz também de fronteira entre Portugal e Espanha, a oeste existe o oceano Atlântico e a leste Espanha. A sub-região é composta por 10 concelhos, sendo eles:

- Viana do Castelo;
- Ponte de Lima;
- Ponte da Barca;
- Arcos de Valdevez;
- Melgaço;
- Monção;
- Valença;
- Paredes de Coura;
- Vila Nova de Cerveira;
- Caminha.



Figura 2 - Sub-região Minho-Lima, incluindo os seus 10 concelhos (INE, 2012).

A Figura 2 representa esta sub-região que tem uma população de 244.836 habitantes, ocupa uma área de 2.219 km², ou seja uma densidade populacional de 110,4 habitantes por km², sendo uma zona predominantemente rural (INE, 2012). Em termos percentuais, o Minho-Lima ocupa apenas 2,4 % do território nacional, e tem 2,3 % da população total do país.

2.1.2 – Cávado

A sub-região do Cávado, faz parte da região norte do país, e do distrito de Braga. Limitada a norte pelo Minho-Lima, a sul pelo Ave e Grande Porto, a leste pelo Alto Trás-os-Montes, e a oeste pelo oceano Atlântico. Fazem parte do Cávado os seguintes 6 concelhos:

- Amares;
- Barcelos;
- Braga;
- Esposende;
- Terras de Bouro;
- Vila Verde.

Esta sub-região representada na Figura 3 tem uma população de 410.149 habitantes ao longo dos seus 1.246 km² de área, portanto existe uma densidade populacional de 329,2 habitantes por km², sendo uma zona moderadamente urbana (INE, 2012). Relativamente a dados estatísticos, esta sub-região ocupa 1,4 % do território, e apresenta 3,8 % da população nacional.



Figura 3 - Sub-região do Cávado, incluindo os seus 6 concelhos (INE, 2012).

2.1.3 – Ave

Relativamente à sub-região do Ave, representada na Figura 4, pertence à região norte de Portugal, é limitada a norte pelo Cávado, a leste e sul pelo Tâmega, e a oeste pelo Grande Porto. Fazem parte da comunidade intermunicipal do Ave 8 concelhos, sendo eles:

- Fafe;
- Guimarães;
- Póvoa de Lanhoso;
- Santo Tirso
- Trofa
- Vieira do Minho;
- Vila Nova de Famalicão;
- Vizela.

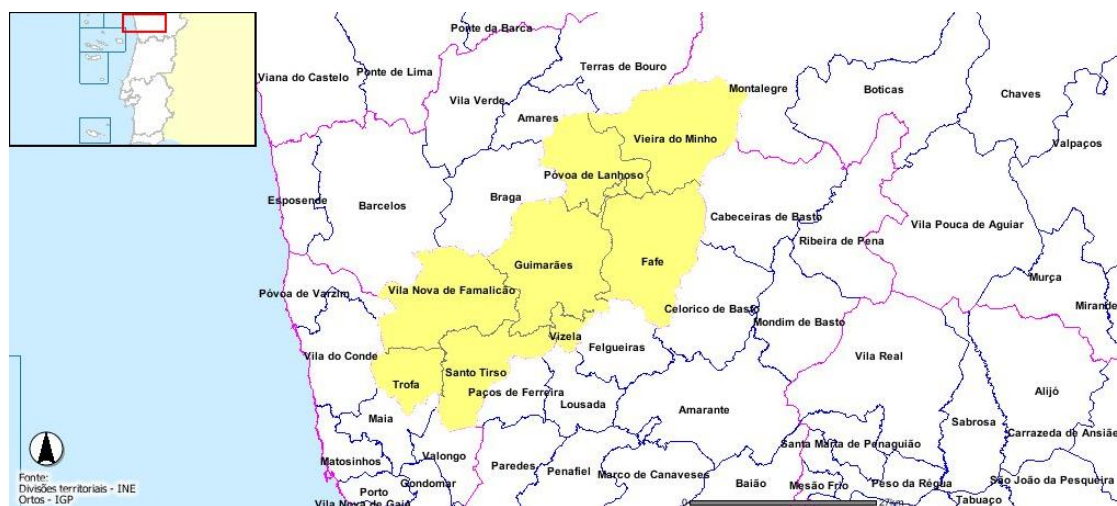


Figura 4 - Sub-região do Ave, incluindo os seus concelhos (INE, 2012).

Ocupa uma área de 1.245 km², com uma população total de 511.737 habitantes, o que perfaz uma densidade populacional de 410,7 habitantes por km² (INE, 2012). Em termos percentuais, o Ave ocupa 1,4 % do território nacional, apresentando 4,8 % da população nacional, sendo uma região perto do predominantemente urbana.

2.1.4 – Grande Porto

A sub-região do Grande Porto, representada na Figura 5, faz parte do norte de Portugal, mais especificamente da Área Metropolitana do Porto. Pode ser definido como o grande centro populacional do norte, desenvolvido a partir da cidade e concelho do Porto, para os seus concelhos vizinhos. Do Grande Porto, fazem parte 9 municípios:

- Espinho;
- Gondomar;
- Maia;
- Matosinhos;
- Porto;
- Póvoa de Varzim;
- Valongo;

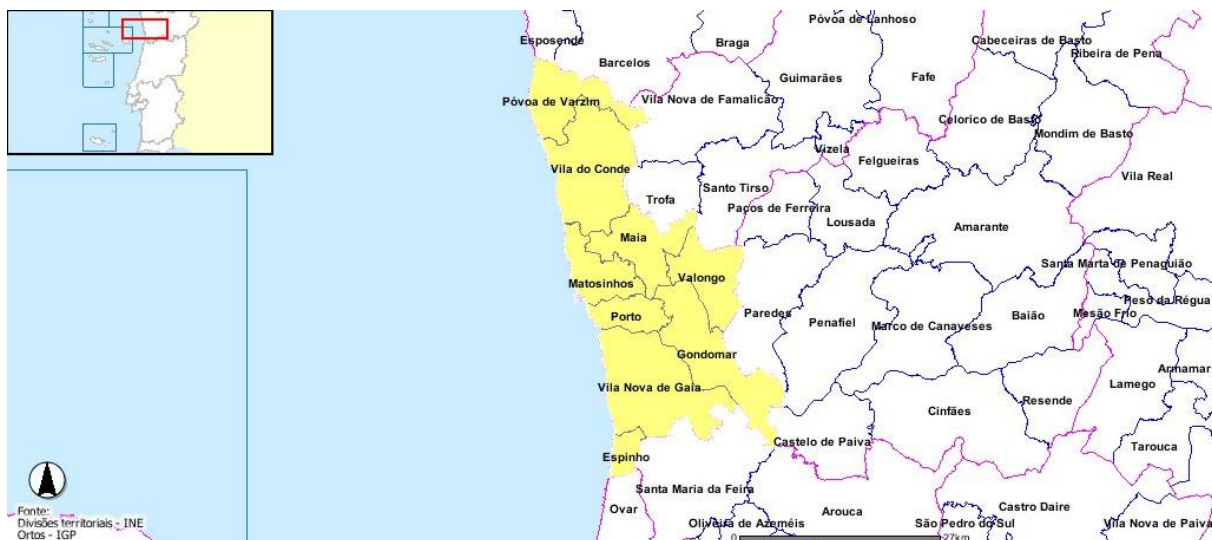


Figura 5 - Sub-região do Grande Porto, incluindo os seus concelhos (INE, 2012).

A área ocupada é de 815 km², sendo a mais pequena das 4 sub-regiões em análise, mas tem uma densidade populacional de 1.580 habitantes por km², o que significa uma população total de 1.287.276 habitantes (INE, 2012). Em termos percentuais o Grande Porto, nem ocupa 1 % do território nacional, mas apresenta 12,2 % da população total nacional, sendo uma área predominantemente urbana.

2.1.5 – Caracterização geral

Conjugando os valores relativos a todas as sub-regiões em análise, podem-se obter valores mais relevantes no panorama nacional.

Tabela 2 - Caraterização geral por área e população.

Sub-região	Área (km ²)	População (número de habitantes)
Minho-Lima	2.219	244.836
Cávado	1.246	410.149
Ave	1.245	511.737
Grande Porto	815	1.287.276
TOTAL	5.525	2.453.998

Com base nos valores da Tabela 2, pode-se aferir a importância de uma área tão pequena, cerca de 6 % do total do território nacional, mas que em termos populacionais tem uma importância avaliada em 23 % do total nacional. Constata-se também o contraste entre zonas marcadamente rurais e zonas predominantemente urbanas, o que por sua vez alia a zonas de floresta e agricultura, zonas industriais.

2.2 – Caracterização da ocupação do solo

A área total em estudo é de 5.525 km², o que equivale 552.500 ha, unidade adotada para efetuar os cálculos. Em função desta área, na Tabela 3 é feita a divisão consoante o uso do solo, já englobando todas as sub-regiões (valores específicos para cada sub-região no Anexo A).

Tabela 3 - Área de uso dos solos para as sub-regiões em análise (IFN, 2011).

Uso do solo	Área (ha)	Percentagem do total (%)
Floresta	183.029	30,8
Matos	174.185	29,3
Águas interiores	6.737	1,1
Agricultura	155.578	26,2
Outros usos	74.278	12,5
TOTAL	593.804	100

Como floresta entendem-se os terrenos ocupados com povoamentos florestais, áreas ardidas de floresta, áreas de corte raso ou outras formações lenhosas. Por matos entendem-se propriedades florestais pertencentes ou não ao estado, cobertas por plantas agrestes. As águas interiores são constituídas por estuários ou grandes cursos de água, lagoas albufeiras, sapais e salinas. A definição de solo agrícola passa por terrenos dedicados à produção agrícola, sendo incluídas as terras aráveis, culturas hortícolas e arvenses, pomares, prados ou pastagens permanentes. Por fim, os outros usos referem-se ao solo que agrupa as áreas sociais e os terrenos improdutivos (IFN, 2011). De realçar que existe uma diferença entre os valores da área total das sub-regiões, apresentados pelo INE (2012) e os de IFN (2011) para as áreas relativas à ocupação do solo, esse valor é de cerca de 41.000 ha, erro esse que não compromete este trabalho.

Analisando a área de uso do solo, pode-se dizer que o domínio é repartido por floresta, matos e agricultura, como se percebe da Tabela 3. A área relativa aos matos é bastante significativa, não se sabendo ao certo as culturas dominantes, nem os proprietários, sendo portanto uma zona com potencial de exploração, mas que não será tida em conta neste estudo. Relativamente à floresta as espécies mais representativas são o pinheiro-bravo, carvalho e o eucalipto. A área ocupada por 30,8 % relativa à floresta pode ser descrita na Tabela 4.

Tabela 4 - Áreas dos tipos de ocupação florestal para as sub-regiões em análise (IFN, 2011).

Ocupação florestal	Área (ha)
Povoamentos	170.304
Áreas ardidas	9.640
Cortes rasos	1.374
Outras formações lenhosas	1.709
TOTAL	183.027

De realçar que por povoamentos entendem-se extensões de terreno com um mínimo de 0,5 ha e largura não inferior a 20 metros, ocupadas com árvores florestais, que pelas suas características ou forma de exploração, tenham atingido, ou venham a atingir, porte arbóreo e uma percentagem de coberto no mínimo de 10 %. Por áreas ardidas entendem-se os terrenos de uso florestal, anteriormente ocupados por povoamentos florestais que devido à passagem de um incêndio estão atualmente ocupadas por vegetação queimada ou solo nu, com presença significativa de material morto ou carbonizado. Áreas de corte raso referem-se a terrenos de uso florestal, anteriormente ocupados por povoamentos florestais, e que devido ao corte das árvores está ocupado por cepos e/ou vegetação rasteira não significativa. As outras formações lenhosas referem-se a áreas onde se verifica a presença de espécies de árvores florestais cuja percentagem de coberto está entre 5 e 10 %, mas que na maturidade atingem porte arbóreo, ou cuja percentagem de coberto é igual ou superior a 10 % mas que, devido às condições em que vegetam, não conseguem atingir os 5 metros de altura na idade adulta, ou ainda as áreas onde vegetem espécies florestais de porte sub-arbóreo como por exemplo medronheiro e carrasco. Da análise da Tabela 4 constata-se que a área correspondente a povoamentos florestais é ligeiramente mais pequena que a área relativa à floresta. Recairão sobre este tipo de ocupação

florestal os cálculos que serão efetuados no Capítulo 6. Desta tabela é também possível concluir que as áreas ardidas correspondem a 5,3 % da ocupação florestal, o que por si só é mau, embora uma das vantagens da exploração e boa gestão florestal seja a diminuição dos fogos.

2.3 – Caracterização agropecuária

As espécies estudadas, com base em Mateus (2009), serão as referidas na Tabela 5, juntamente com o efetivo em milhares de unidades de cabeças de gado para cada sub-região em análise. Volta-se a referir a importância do setor bovino no âmbito nacional, com cerca de 15 % do total.

Tabela 5 - Efetivo em milhares de unidades por espécie e sub-região (INE, 2012).

Região	Espécie	Efetivo em milhares de unidades
Minho-Lima	Bovinos	28
	Suínos	5
	Aves	509
Cávado	Bovinos	73
	Suínos	9
	Aves	570
Ave	Bovinos	42
	Suínos	15
	Aves	821
Grande Porto	Bovinos	71
	Suínos	4
	Aves	190

2.4 – Caracterização do tecido empresarial

Com base nos dados já referidos sobre a ocupação do solo, pode-se afirmar que muita da atividade industrial se centra na pecuária e agricultura, além da floresta. Contudo não só destes 3 setores vivem as sub-regiões em causa, são quatro sub-regiões bastante industrializadas e com produção significativa. No cálculo do produto interno bruto nacional a região que mais contribui é a região de Lisboa, com cerca de 37 % do total, logo seguida pela região Norte com 28 %. Dentro da região Norte encontram-se as sub-regiões em estudo que contribuem com 72 % do total do PIB dessa região, tendo um peso esmagador, sendo que para o total nacional também têm um peso significativo cerca de 20 % do total do PIB (INE, 2012).

Relativamente às indústrias agroalimentar, piscícola-alimentar e dos curtumes, serão apresentadas as percentagens de empresas relativamente à região Norte e ao total Nacional.

Tabela 6 - Percentagem de empresas por cada tipo de indústria (INE, 2012).

Tipo de indústria	Percentagem relativa à zona Norte (%)	Percentagem relativa ao total Nacional (%)
Agroalimentar	55	17
Piscícola-alimentar	94	13
Curtumes	25	20

3 – A eletricidade e as energias de fonte renovável

Após a revolução industrial o mundo viu como nunca antes uma explosão no crescimento e na base desse desenvolvimento esteve o carvão. Utilizado como combustível nos transportes terrestres e marítimos, e para a produção de energia elétrica que assegurava a crescente industrialização. Depois da descoberta do petróleo e da sua capacidade energética, a preponderância vem sendo dividida até aos dias de hoje entre o carvão e o petróleo, sendo que para além destes combustíveis, o gás natural também começa a ter uma maior importância (BP, 2012). Este tipo de combustível foi sem dúvida o grande motor do desenvolvimento, sem a sua descoberta, muito ainda estaria por alcançar.

Neste momento e por os combustíveis fósseis terem uma duração limitada, estima-se que por volta de meados do presente século se esgotem as reservas petrolíferas (Campbell, 2002), procuram-se por essa razão fontes de energia alternativas e é aí que entram as energias de fontes renováveis, doravante referidas pela designação mais comum, se bem que incorreta, de energias renováveis. Além dos combustíveis fósseis serem não renováveis, existe a componente negativa para o ambiente que advém da libertação de gases de efeito estufa (GEE). Este tipo de gases, na sua maioria dióxido de carbono e metano, é libertado no processo de conversão energética dos combustíveis fósseis, contribuindo para o grave problema do efeito estufa. Este problema veio alertar a sociedade para aquilo que estava a acontecer ao planeta e culminou em 1997 com a assinatura do Protocolo de Quioto, que como medida fundamental instituiu a redução até 2012 em pelo menos 5 % das emissões de GEE em países desenvolvidos. As emissões percentuais de GEE a nível mundial podem ser encontradas na Figura 6.

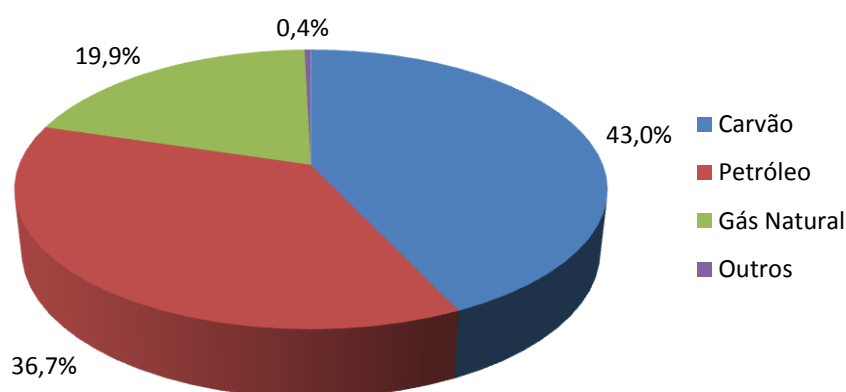


Figura 6 - Emissões relativas a cada tipo de combustível em 2009 (IEA, 2011).

3.1 – Cenário energético nacional

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005, a política energética é um importante pilar do crescimento económico português, isto porque possibilita às empresas condições de crescimento mais sustentadas, com a redução no preço dos fatores de produção. Deve-se ainda conjugar a política energética com a ambiental, de modo a conseguir um crescimento sustentável do país.

A energia elétrica é parte importante na cobertura das necessidades do desenvolvimento nacional, o seu consumo tem vindo a aumentar de forma consistente, sendo que com as metas impostas pelo estado para diminuição da dependência energética dos combustíveis fósseis e consequentemente do exterior, fazem com que a necessidade de explorar o potencial das energias renováveis aumente.

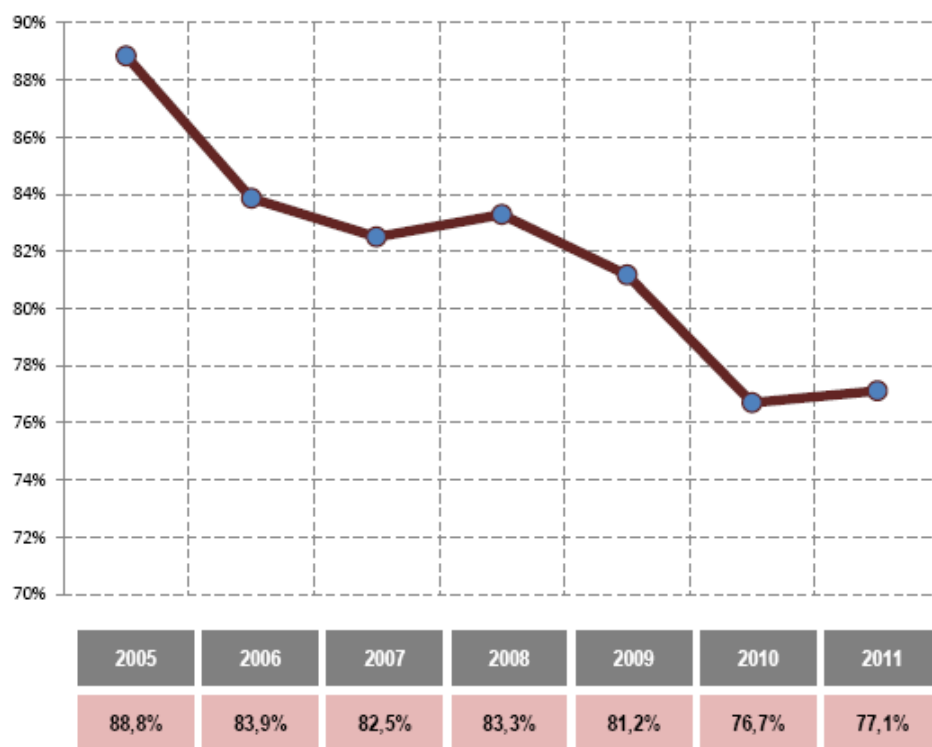


Figura 7 - Dependência energética no período 2005-2011 (DGEG, 2011).

A dependência energética mostra até que ponto uma economia está dependente das importações para satisfazer as suas necessidades, sendo esse valor em 2011 de 77,1 %. Analisando a Figura 7, pode-se constatar que ao longo dos anos a dependência do exterior tem diminuído, a subida de 2010 para 2011, deveu-se ao maior consumo de carvão para suprir a redução na produção hídrica. Na Figura 8 pode-se constatar que grande parte da energia fornecida em Portugal vem de combustíveis fósseis.

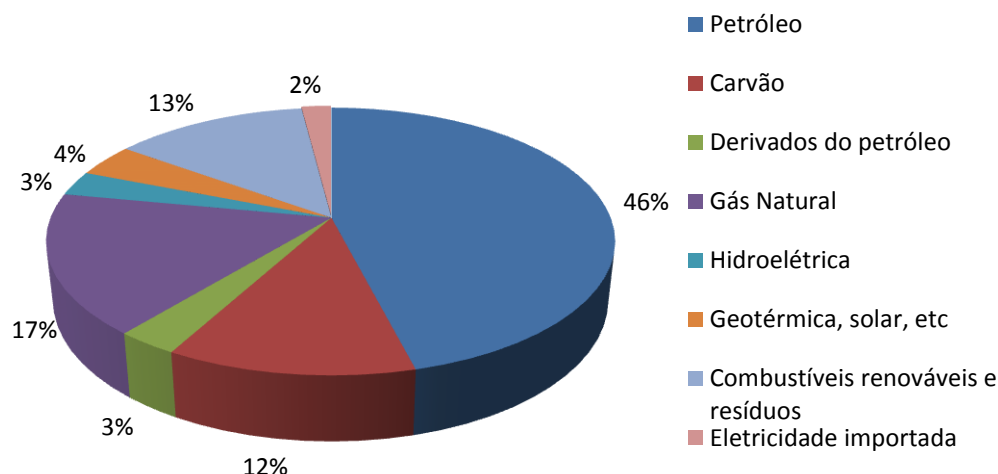


Figura 8 - Fornecimento de total de energia em Portugal por tipo de combustível (IEA, 2011a).

Como se pode ver na Figura 8 a eletricidade pode advir de diversas fontes, como da combustão de combustíveis fósseis e resíduos florestais entre outros, ou então da energia contida na água (potencial gravítica), no vento, no sol, no mar ou mesmo da energia nuclear. Os maiores produtores de energia elétrica a nível nacional são a EDP Produção, a Turbogás e a Tejo Energia.

3.2 – A eletricidade no contexto das energias renováveis

Em 2011 Portugal apresentava uma potência elétrica instalada de 18.901 MW (REN, 2011), destes, 10.336 MW (DGEG, 2012) eram de fontes renováveis, o que significa cerca de 55 % do total instalado no país. Nos últimos anos existiu uma evolução considerável na potência instalada em renováveis, sendo que a hídrica e a eólica têm preponderância, como se pode ver na Tabela 7.

Tabela 7 - Potência instalada por recurso renovável no período 2008 a 2011 (DGEG, 2012).

Fonte renovável	Potência instalada (MW)			
	2008	2009	2010	2011
Hídrica total	4.792	4.821	4.837	5.280
Eólica	3.037	3.519	3.863	4.301
Fotovoltaica	58,5	104,1	122,9	155,3
Biomassa s/ cogeração	24	101	106	105
Biomassa c/ cogeração	357	359	360	367
Biogás	12,4	20	28	40,2
Resíduos Sólidos Urbanos	88	88	88	88
TOTAL	8.368,9	9.012,1	9.404	10.336

As energias renováveis têm uma componente de imprevisibilidade, pois a produção de energia elétrica depende bastante de efeitos climáticos, ou seja uma maior potência instalada não significa mais energia produzida. A Tabela 8 representa a energia elétrica produzida no período 2008 a 2011.

Tabela 8 - Energia elétrica produzida no período 2008 a 2011 por fontes renováveis (DGEG, 2012).

Fonte renovável	Energia elétrica produzida (GWh)			
	2008	2009	2010	2011
Hídrica total	7.102	8.717	16.249	11.827
Eólica	5.720	7.506	9.078	9.003
Fotovoltaica	41	160	213	265
Biomassa s/ cogeração	146	311	612	688
Biomassa c/ cogeração	1.381	1.390	1.579	1.669
Biogás	67	80	97	152
Resíduos Sólidos Urbanos	441	458	455	486
TOTAL	14.898	18.622	28.282	24.090

Da análise da Tabela 8, pode-se concluir que a energia hídrica e eólica contribuem de forma completamente esmagadora para a produção de eletricidade a partir das renováveis. A explicação da descida na produção de energia elétrica de origem renovável entre 2010 e 2011 foi já feita no seguimento da Figura 7. As sub-regiões em estudo também usufruem de potência renovável instalada, segundo dados do INE, o tipo de produção elétrica e a respetiva parcela de produção podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9 - Quota por tipo de produção de eletricidade em cada sub-região, no ano de 2009 (INE, 2012).

Localização geográfica	Quota por tipo de produção de eletricidade (%)			Produção bruta de eletricidade (GWh)
	Hídrica	Eólica	Térmica	
Minho-Lima	41,62	36,09	22,29	1.951
Cávado	79,05	-	20,95	561
Ave	35,99	16,70	47,31	1.550
Grande Porto	4,80	-	95,20	5.762

Da análise da Tabela 9, constata-se que relativamente ao Minho-Lima, cerca de 78 % da eletricidade é de origem renovável, um valor acima da média nacional que é de cerca de 43,7 %. Em relação ao Cávado o valor é ainda superior e vem exclusivamente da energia hídrica, a sub-região do Ave apresenta uma percentagem de 53 %, sendo que o Grande Porto é aquela que tem menor contributo das renováveis com apenas 5 %, o que fica muito abaixo do valor nacional. É natural que existam outras fontes de produção renováveis nestas sub-regiões, mas por serem de expressão relativamente pequena comparativamente com as aqui referidas, não foram incluídas nesta estatística.

Conclui-se que uma parte importante da energia elétrica nestas sub-regiões provém de fontes renováveis. Portanto, para que este tipo de fontes de energia continue a aumentar a sua preponderância e para que o governo cumpra o programa ENE 2020, é necessário conceder incentivos. Nesse sentido o estado português definiu um conjunto de apoios de natureza financeira e fiscal, como por exemplo uma remuneração ao produtor, traduzida numa tarifa. Esta tarifa é convenientemente ajustada tendo em conta os custos de investimento e exploração de cada tecnologia, a inflação e o preço da energia, sendo que todas as condicionantes e o processo de cálculo desta remuneração estão definidos no Plano Nacional para as Energias Renováveis (PNAER). As tarifas para os tipos de energia analisados neste estudo encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Tarifa média indicativa por tecnologia (PNAER, 2010).

Tecnologia	Tarifa média indicativa (€/MWh)	Validade da tarifa
Eólica	74-75	33 GWh/MW ou 15 anos
Hídrica até 10 MW	75-77	52 GWh/MW ou 20 anos
Fotovoltaico > 5 kW	310-317	
Fotovoltaico ≤ 5 kW	450	21 GWh/MW ou 15 anos
Solar termoelétrico ≤ 10 MW	267-273	
Biomassa florestal	107-109	25 anos
Biomassa animal	102-104	
Biogás, digestão anaeróbia, RSU, ETAR e de efluentes e resíduos da agropecuária e agroalimentar	115-117	15 anos
Gás de aterro	102-104	

As tarifas aqui apresentadas são completamente suportadas pelo Comercializador de Último Recurso (CUR), que por sua vez as faz refletir na venda da eletricidade ao consumidor.

No seguimento dos apoios a explorações envolvendo energias endógenas, é possível criar um estatuto para produtores que beneficiem desses incentivos, considera-se portanto Produção em Regime Especial (PRE) quando a energia elétrica tem como origem (ERSE, 2008):

- Recursos hídricos para centrais até 10 MVA, ou 30 MVA em casos específicos;
- Qualquer fonte de energia renovável;
- Resíduos entre eles, urbanos, industriais e agrícolas;
- A produção em baixa tensão, até um máximo de 150 kW;
- Microprodução, com potência máxima instalada de 5,75 kW;
- Cogeração.

A PRE tem vindo a ganhar importância, sendo que no período 2000 – 2011, de cerca de 2.000 GWh de energia elétrica fornecida à rede aumentou para cerca de 18.000 GWh, o que reflete um aumento de 900 %. Na Figura 9, pode-se ver a contribuição de cada tipo de energia para o total fornecido.

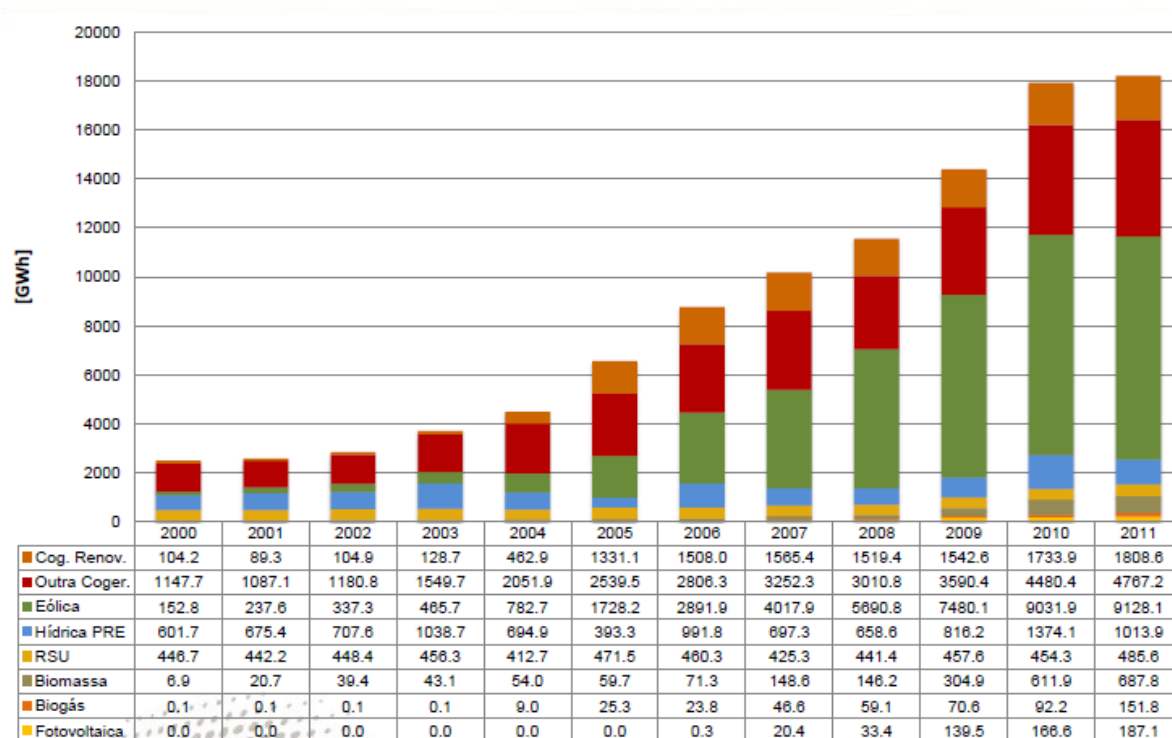


Figura 9 - Energia elétrica anual entregue à rede por tecnologia (ERSE, 2012).

Analisando o ano de 2011 é possível constatar um ligeiro abrandamento do crescimento face ao ano de 2010, sendo que todos os setores menos a hídrica PRE, aumentaram a sua produção com destino à rede. Constata-se que a produção a partir do vento é aquela com maior peso, seguida da cogeração. Em relação à biomassa, biogás e RSU, estes ocupam cerca de 7,3 % do total no ano 2011, enquanto em 2010 só ocupavam cerca 6,5 %, o que revela um crescimento ligeiro. O peso geral da PRE na potência instalada nacional é já bastante significativo, cerca de 34 % (ERSE, 2012).

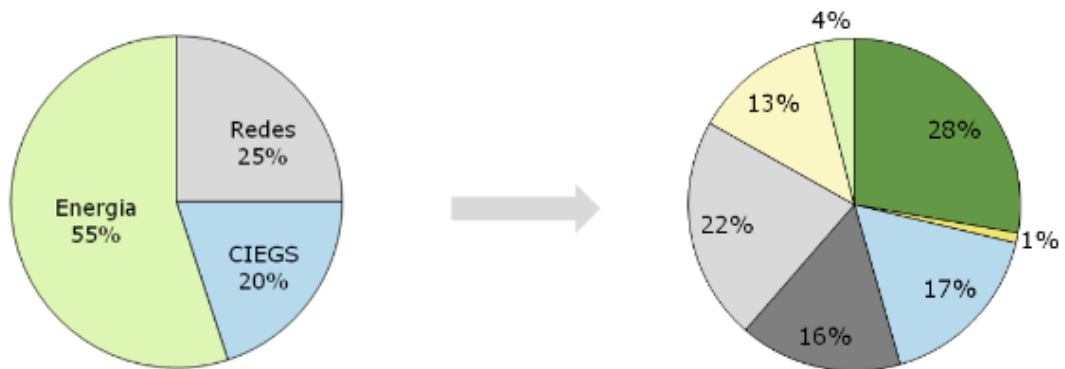
3.3 – Custo de produção de eletricidade

Para que a eletricidade possa ser consumida pelo utilizador, percorre um longo percurso começando na produção e passando pelo transporte, distribuição e por fim a comercialização. A estas etapas estão associados custos que se refletem na fatura apresentada ao consumidor final. Exemplificando, os preços da energia elétrica são definidos pela ERSE, e têm 3 componentes principais (EDP, 2012):

- A energia, que inclui os custos de produção e comercialização e resulta dos preços construídos no mercado elétrico;
- As redes, fulcrais no transporte e distribuição da energia, sendo que as tarifas de uso das redes são aprovadas pela ERSE, e englobadas nas tarifas de acesso às redes;
- Os CIEG, Custos de Interesse Económico Geral, suportados por todos os consumidores e dos quais faz parte o sobrecusto PRE.

A desagregação dos preços por cada uma das componentes referidas anteriormente depende do tipo de cliente. Na Figura 10 é possível observar as contribuições de cada componente por cada tipo de consumidor, em Baixa Tensão Especial (BTE) ou em Média Tensão (MT).

Cliente BTE



Composição dos CIEG:

- Rendas Pagas aos Municípios: 28%
- Sobrecusto de Produção em Regime Especial (essencialmente energias renováveis): 1%
- Sobrecusto Produção em Regime Especial (essencialmente energias não renováveis): 17%
- Sobrecusto das regiões Autónomas: 16%
- Sobrecusto da Produção em Regime Ordinário (centrais térmicas e hídricas): 22%
- Rendas de Défices de Tarifas: 13%
- Outros Custos: 4%

Cliente MT



Composição dos CIEG:

- Sobrecusto da Produção em Regime Especial (essencial/energias não renováveis): 25%
- Sobrecusto das Regiões Autónomas: 23%
- Sobrecusto da Produção em Regime Ordinário (centrais térmicas hídricas): 30%
- Rendas de Défices de Tarifas: 17%
- Outros Custos: 5%

Figura 10 - Contribuição de cada componente para o preço da energia e composição dos CIEG (EDP, 2012).

O sobrecusto da PRE é apenas a diferença entre as tarifas e o valor do mercado, sendo que a influência desse sobrecusto para a economia portuguesa ainda não está bem clarificada mas pode ser consultada em profundidade em FEUP (2012).

Na Tabela 11, apresentam-se os custos médios anuais de eletricidade produzida.

Tabela 11 - Custo médio anual de eletricidade por tecnologia (€/MWh) (ERSE, 2012).

Tecnologia	2007	2008	2009	2010	2011
Outra cogeração	100,1	121,6	97,8	104,2	118,9
Cogeração renovável	85,4	90,4	89,8	90,5	95,1
Biogás	105,7	109,0	106,4	107,2	110,5
Fotovoltaica	330,2	338,5	327,4	329,9	342,6
Hídrica PRE	88,6	88,7	87,5	88,6	91,4
Biomassa	109,9	111,9	110,1	108,1	112,9
RSU	78,2	80,9	80,3	80,8	84,0
Eólica	94,5	94,7	93,7	91,6	93,5

Da análise da Tabela 11, constata-se que todos os custos subiram no último ano em relação a 2010, sendo a energia mais económica a resultante dos RSU. É de salientar que o biogás e a biomassa se encontram entre as tecnologias mais caras, a par da outra cogeração, todavia a energia fotovoltaica é aquela que maior custo apresenta. Os custos de produção de energia dependem bastante dos investimentos iniciais, da qualidade da matéria-prima, das tecnologias de conversão, das condições climáticas entre outros, sendo que a eletricidade de origem na biomassa tem um preço mais elevado que a eletricidade de origem em combustíveis fósseis porque os custos associados à tecnologia e aos combustíveis são maiores (Gan, 2007).

3.4 – Fator de carga

O fator de carga é calculado com base na divisão entre a energia elétrica num determinado período de tempo e a potência instalada. Exemplificando, uma instalação que funcione 24 h por dia equivale a dizer que funciona a tempo inteiro 8.760 h anuais, se essa instalação produzir 100 GWh por ano, quer dizer que a potência instalada é de aproximadamente 11,4 MW, sendo que o cálculo pode ser feito no sentido contrário.

De acordo com Mateus (2009a), geradores a funcionar a biomassa florestal apresentam um fator de carga de 90 %, cerca de 7.884 horas anuais, e para geradores a biogás o fator de carga é de 44 % (Mateus, 2009), ou seja 3.850 horas anuais de funcionamento. Segundo Sobral (2011) a central de biomassa florestal de Mortágua funciona com um fator de carga de cerca de 76 %, pois tem uma potência instalada de 9 MWe e produz cerca de 60

GWh por ano. A Tabela 12 mostra os fatores de carga estimados a partir da produção energética e potência instalada indicados na Tabela 1.

Tabela 12 - Fatores de potência e disponibilidade em horas, relativas à potência instalada no país e energia elétrica produzida.

Tecnologia	Potência total instalada (MWe)	Eletricidade anual produzida (GWh)	Disponibilidade (horas anuais)	Fator de carga teórico (%)
Biomassa c/ cogeração	367	1.669	4.548	52
Biomassa s/ cogeração	105	688	6.552	75
Biogás	40,2	152	3.781	43
RSU	88	482	5.477	63

No que toca à biomassa florestal o fator de carga utilizado será o mesmo que na central de Mortágua por uma questão de comparação de resultados ou seja, 6.667 h. Relativamente à tecnologia de biogás, o fator de carga será o mais baixo encontrado, 43 % ou seja 3.781 h anuais, perto daquele referido em Mateus (2009).

4 - Biomassa

A biomassa consiste na “fração biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura, da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável de resíduos industriais e urbanos” de acordo com a Diretiva Europeia 2001/77/EC. Num aspeto mais específico a biomassa tem origem na fotossíntese, através da qual as plantas fixam o CO₂ da atmosfera, utilizando a radiação e energia fornecida pelo sol e transformam a água, o CO₂ e os minerais em oxigénio e açúcares. Uma das vantagens é que o CO₂, libertado na queima da biomassa é o mesmo que foi absorvido, tornando assim a biomassa neutra em emissões.

A biomassa é já tida como a terceira maior fonte de energia primária do mundo, logo depois do carvão e do petróleo. Fornece cerca de 14 % da energia consumida anualmente no planeta. Na Europa já contribui com 20 a 40 milhões de TEP (tonelada equivalente de petróleo) (Werther *et al.*, 2000).

Em termos simplistas a biomassa pode ser classificada em função dos seus estados físicos:

- Biomassa sólida, onde se podem incluir resíduos agrícolas, florestais e a razão biodegradável dos resíduos industriais e urbanos;
- Biogás, composto essencialmente por metano, resultante do processo de digestão anaeróbica de efluentes agropecuários, industriais, lamas;
- Biocombustíveis líquidos, designadamente o biodiesel e bioetanol, resultado da fermentação de resíduos naturais, ou óleos orgânicos.

Para efeitos de estudo, neste trabalho são tidos em conta os seguintes tipos de biomassa disponíveis para aproveitamento:

- Biomassa florestal;
- Resíduos da pecuária;
- Resíduos agrícolas;
- Resíduos da indústria agroalimentar e piscícola-alimentar;
- Aterros (Resíduos Sólidos Urbanos);
- Resíduos do setor dos curtumes.

4.1 - Biomassa florestal

De acordo com o plano Europeu para a biomassa, 35 % da madeira que cresce nas florestas europeias não é utilizada (CCE, 2005).

Atualmente cerca de 39 % (IFN, 2011) da área nacional é floresta e desde logo se nota um potencial elevado desta parte do território. O aproveitamento das florestas é uma prática milenar e que não pode ser descurada nos tempos que correm, dado ser um elemento vital para a sustentabilidade do planeta.

As grandes utilizações da indústria ligada à floresta são o aproveitamento da madeira para mobiliário e construção, e indústria da pasta e do papel. Ou seja, a biomassa florestal deve ser usada em primeiro caso como matéria-prima, sendo que a valorização energética vem apenas em função da viabilidade económica e ecológica da situação em causa.

Compreendida como biomassa florestal existem 2 tipos, a biomassa florestal primária, que por definição é a fração biodegradável dos produtos gerados na floresta e que são processados para fins energéticos, corresponde então aos materiais vegetais derivados de operações de corte e desflorestação. Existe ainda o outro tipo, definido como biomassa florestal secundária e que é caracterizada por ser a matéria orgânica residual obtida através dos processos de transformação ocorridos na indústria da madeira (Teixeira L., 2009).

As principais vantagens do aproveitamento dos recursos florestais são:

- Redução de incêndios;
- Desenvolvimento económico/ criação de emprego/ fixação de populações;
- Redução dos gases de efeito estufa (fonte energética neutra em termos de emissões, ciclo do CO₂);
- Redução da dependência dos combustíveis fósseis.

Mas nem tudo é elementar e direto, existem claro desvantagens que fazem com que este recurso não seja aproveitado ao máximo. Então como desvantagens do aproveitamento dos recursos florestais tem-se:

- Erosão do solo e posterior contaminação de águas;
- Perda de habitats selvagens;
- Produção de grandes quantidades de cinzas;
- Dispersão dos recursos;
- Qualidade da biomassa;
- Elevados custos na aquisição de equipamento.

4.1.1 – Características da biomassa florestal

A biomassa derivada da floresta tem como maior constituinte a madeira, e como tal deve ser alvo de uma análise mais aprofundada. Na Tabela 13, pode-se encontrar a composição típica da biomassa.

Tabela 13 - Composição elementar da biomassa (Quaak et al., 1999).

Elemento	Fração mássica (%) matéria seca e livre de cinzas
Carbono	44 – 51 %
Hidrogénio	5,5 – 6,7 %
Oxigénio	41 – 50 %
Azoto	0,12 – 0,6 %
Enxofre	0,0 – 0,2 %

Dentro da biomassa florestal existem 4 métodos de aproveitamento, os toros, a estilha, os peletes e os briquetes, e será destes tipos que se falará de seguida (ER, 2012a).

Os toros, também conhecidos por lenha, são a maneira mais comum de se apresentar a madeira extraída da árvore e sempre foi uma importante fonte de energia ao longo dos anos. Um bom toro tem uma humidade inferior a 20 %, logo é bastante apetecível para queima, apesar disso e devido há sua não uniformidade, normalmente não é utilizado na combustão automatizada, tendo para isso os produtores de adequar os fornos, ficando-se por sistemas manualmente alimentados (ER, 2012a).

A estilha é a matéria resultante de processos de trituração da madeira, tornando esta em menores dimensões, facilitando assim o seu transporte. Para a sua utilização na produção de energia tem de ter origem em madeira pura ou seja sem conter tintas, pregos ou plásticos, devido ao perigo de libertação de gases poluentes (ER, 2012a).

Os peletes são produzidos a partir de madeira moída e serrim, o seu processo de produção compreende a secagem da matéria-prima, limpeza, moagem, posterior peletização, refrigeração, separação e por fim o embalamento. Os peletes são comprimidos e transformam-se em elementos cilíndricos. A sua compactação aumenta a sua apetência para a combustão, e o seu potencial energético por unidade de volume. As suas maiores utilizações são em centrais de biomassa e aquecimento doméstico pelo tamanho pequeno que apresentam (ER, 2012a).

Por fim o processo de produção de briquetes consiste na alimentação manual ou automática de uma prensa, onde o material é enviado para a câmara de compressão, sendo este pressionado e criado um produto limpo. Existe portanto uma redução de volume significativa, o que permite um transporte e armazenamento mais simples, é adequado a utilizações em sistemas de combustão pequenos alimentados manualmente (ER, 2012a). No entanto as dimensões médias dos briquetes são mais elevadas do que as dos peletes, Tabela 14.

Tabela 14 - Diferenças entre peletes e briquetes (Werther *et al.*, 2000).

	Peletes	Briquetes
Humidade	10-20 %	10-15 %
Potência máxima da prensa	4-6 t/h	1-1,5 t/h
Energia consumida no corte e prensagem	80-90 kWh/t	40-50 kWh/t
Preparação da biomassa	Trituração em pequenas partículas (forma cilíndrica)	Trituração em partículas maiores (variadas formas)
Dimensões do produto final	6-12 mm de diâmetro	20-100 mm de largura
	10-30 mm de comprimento	30-300 mm de comprimento
Sistemas de combustão	Automatizados	Podem ser usados em instalações para toros

4.2 – Pecuária

Nos últimos anos, com o aumento da qualidade de vida, existiu também um aumento do consumo de carnes e produtos derivados, ou seja o setor da pecuária teve de se adaptar à procura. A indústria da pecuária refere-se a toda a exploração animal desde a criação, reprodução e venda dos animais até à comercialização dos produtos derivados. No dia-a-dia das explorações, a quantidade de dejetos criados é enorme sendo que estes podem ter diversas finalidades. Normalmente os dejetos são utilizados como adubo, embora exista a preocupação de não contaminar os solos e plantações.

Em Portugal, normalmente as explorações agrícolas não têm dimensão suficiente para utilizar todos os recursos nutrientes vindos dos estrumes e chorumes criados às custas dessas mesmas explorações, podendo originar problemas de saúde pública quando estes resíduos são lançados indevidamente para os solos ou cursos de água (SPI, 2005). Um aproveitamento adequado destes resíduos iria garantir, não só um controlo eficaz da poluição como possivelmente a sua valorização energética.

Na Tabela 15 são apresentados valores médios da produção e composição dos resíduos orgânicos gerados pela maioria das espécies pecuárias. Estes valores dizem respeito à análise dos excrementos, antes de qualquer outra operação, sendo que a composição dos excrementos está dependente da espécie do animal, idade, estágio no ciclo de vida (crescimento, engorda ou reprodução) e do tipo de alimentação, condições do clima, água ingerida, tipo de estabulação, entre outras. Para além dos parâmetros referidos anteriormente os excrementos podem conter outro tipo de material, como pelo, penas e poeiras.

Tabela 15 - Valores aproximados da produção e percentagem de sólidos totais dos excrementos, produzidos por algumas espécies pecuárias (SPI, 2005).

Espécies pecuárias	Peso (kg)	Prod. total de excrementos (por 500 kg de peso vivo)		Sólidos totais (ST) (% na matéria seca)
		kg/dia	dm ³ /dia	
Vaca leiteira	450	41,3	41,6	12,7
Bovino de engorda	450	30,2	31,5	11,6
Vitela	90	31,1	31,6	8,4
Leitão	15	33,3	36,6	9,2
	30	31,6	32,6	9,2
Porco de engorda	70	31,4	32,2	9,2
	110	33,6	35,5	9,2
Porca reprodutora	125	16	16,4	9,2
Varrasco	160	15,6	16,6	9,2
Ovelha	45	20	18,9	25
Galinha poedeira	1,8	26,4	28,3	25,2
Frango	0,9	35,6	37,8	25,2
Peru	6,8	23,7	23,4	25,5
Cavalo	450	22,7	23,4	20,5

Da Tabela 15 pode-se aferir que os excrementos de bovinos e suínos contêm antes de qualquer tratamento, teores de matéria seca inferiores a 12 %, sendo a sua apresentação feita sob a forma de matéria líquida ou pastosa, designando-se por chorume bruto. A excreta pode ser ou não recolhida com as águas de lavagem e armazenada em tanques ou fossas. A excreta da ave apresenta-se na fase sólida, misturada com o material das camas, sendo recomendável a sua substituição após cada série de criação.

Nas explorações pecuárias existe ainda mais uma fonte de interesse relacionada com a energia, que são as camas dos animais, normalmente constituídas por palha de milho, serradura entre outras. Na Tabela 16 é possível observar os materiais utilizados para alguns animais. Os valores em causa são relativos ao Reino Unido, calculando-se que em Portugal não sejam muito díspares, apesar disso o estudo não recairá diretamente sobre as camas dos animais.

Como já anteriormente referido existe também a possibilidade de misturar a excreta animal com as águas de lavagem. De salientar que devido às condições climáticas em Portugal a lavagem terá de ser feita mais regularmente, para controlar odores e proliferação de micro-organismos perigosos para a saúde pública.

Tabela 16 - Quantidades médias de material utilizado nas camas por animal estabulado no Reino Unido (SPI, 2005).

Animal	Sistema de estabulação	Material utilizado	Quantidades médias
Vaca leiteira	Pesebres	Palha, serradura	120 kg/180 dias
			150 kg/180 dias
Bovino de carne	Livre	Palha	530 kg/180 dias
	Livre	Palha	530 kg/180 dias
Suíno	Pocilgas com cama	Palha	102 kg/ano
Galinha poedeira	Criação no solo, em camas	Palha ou aparas de madeira	1 kg/ano
Frangos	Criação no solo, em camas	Palha ou aparas de madeira	0,5 kg/frango por série

Como referido anteriormente o material residual não terá uma avaliação direta neste trabalho assim como a quantidade de água gasta nas lavagens, que se pode ver na Tabela 17.

Tabela 17 - Estimativa das quantidades de águas de lavagem ou de outra proveniência que são recolhidas conjuntamente com os excrementos gerados por algumas espécies pecuárias (SPI, 2005).

Espécies pecuárias	Quantidade de água de lavagem (m ³ /ano)
Vaca leiteira com cerca de 600 kg	7
Bovino de engorda de 320 a 520 kg	3,1
Bovino de engorda de 120 a menos de 320 kg	2,8
Vitela ou bezerro até um ano de idade	1,7
Porca reprodutora com mais de 120 kg, incluindo leitões	5,4
Varrasco	2,8
Porco de engorda de 65 a 110 kg	2,4
40 galinhas poedeiras ou 100 frangos de engorda	0,5

Relativamente às características dos excrementos, pode afirmar-se que contêm níveis altos de matéria orgânica. Nos excrementos dos galináceos e suínos o azoto apresenta-se sob

forma orgânica e em compostos de amónia. Devido a estes compostos e a compostos de enxofre a excreta inicia rapidamente a sua decomposição nos sistemas de armazenamento.

De referir que das explorações pecuárias o que resulta para um aproveitamento posterior são os estrumes, chorumes (estrume misturado com água) e material das camas dos animais.

Como possibilidade mais difundida de tratamento e aproveitamento energético dos resíduos da pecuária existe a digestão anaeróbia.

4.3 - Resíduos agrícolas

Relativamente aos resíduos agrícolas, estes dizem respeito aos resíduos deixados no campo após a colheita, tais como a matéria resultante de podas de árvores, colheitas e limpezas. A produção de palha a partir dos cereais, cascas de arroz e café, são tidos mundialmente como os resíduos mais abundantes. Para efeitos de quantificação, em 1997, 43 % dos resíduos totais mundiais eram cascas de arroz e palhas (Werther *et al.*, 2000). Os excedentes da cana-de-açúcar são outro dos resíduos a ter em conta, tal é o seu potencial energético.

Na Tabela 18 é possível observar uma estimativa de valores obtidos com o aproveitamento de alguns tipos de resíduos para Portugal.

Tabela 18 - Energia potencial contida em resíduos agrícolas (MADRP, 2005).

Tipo	Estimativa para Portugal	
	Energia (peta joules)	Álcool equivalente (milhões de litros)
Palha de cereal	5,4	227.270
Bagaço de azeitona	0,6	25.250
Resíduos de podas de vinha, frutícolas e olivícolas	8,5	357.740
Resíduos da amêndoa e da vinificação	11,8	75.760
TOTAL	16,3	686.020

Em termos económicos, o custo do transporte dos resíduos para centrais de grandes dimensões é elevado, pois normalmente estas centrais não se localizam perto da zona das explorações rurais. A solução seria a construção de centrais mais pequenas e mais perto da matéria-prima, o que acarretaria um investimento em tecnologia e mão-de-obra elevado. Portanto o aproveitamento deste tipo de resíduo torna-se irrealista, ou seja, os agricultores ao ficarem com os resíduos, têm por hábito enterrá-los, ou queimá-los, sendo estas práticas proibidas. Ou seja as práticas adequadas para os resíduos agrícolas seriam, terminar com a

dispersão de resíduos pela exploração, concentrando os mesmos num local apropriado com o possível objetivo de compostagem. Para além da compostagem, outra solução seria a digestão anaeróbia dos resíduos, com a conotação de valorização energética, e possibilidade de obtenção de bons fertilizantes (DRAPC, 2012).

4.4 - Resíduos da indústria agroalimentar e piscícola-alimentar

4.4.1 - Indústria agroalimentar

As indústrias com mais relevo na exploração do potencial energético dos seus resíduos são, as indústrias dos lacticínios, os matadouros, os lagares de azeite e vinícolas e as indústrias de transformação de frutos secos. Na área alimentar os óleos alimentares usados são também uma fonte possível de energia, uma estimativa feita em 2005 apontava para que a capacidade de produção de energia a partir de óleos alimentares usados fosse de 10 % das necessidades estimadas de biodiesel (MADRP, 2005).

Na indústria láctea, os resíduos que podem ser aproveitados para geração de energia são o soro, e o leiteiro. Dos componentes presentes no soro, aquele que tem mais importância a nível energético é a lactose, sendo que a partir da sua fermentação pode ser obtido álcool, que posteriormente misturado com gasolina, pode ser usado como combustível (Domingues *et al.*, 1999).

Em relação à indústria que tem nos lagares um método de processamento, o bagaço resultante da azeitona ou uva, é usado para a produção de calor, tal como as cascas de frutos secos (SPI, 2005).

4.4.2 - Indústria piscícola-alimentar

O setor das pescas é dentro do ramo alimentar um dos que mais cresce no mundo sendo que maioritariamente o peixe é destinado ao consumo direto humano. Mas ligado ao setor das pescas estão outras indústrias como as conservas, ou a secagem do peixe. Este tipo de indústria acarreta algumas indefinições ligadas ao destino a dar aos seus efluentes, pois estes podem originar problemas relacionados com as emissões para a atmosfera, devido ao caráter perigoso de alguns dos seus resíduos.

Como possibilidade de tratamento e valorização dos resíduos deste setor tem-se estudado a digestão anaeróbia, focalizada nas lamas e nos inóculos, apesar de existir ainda pouco trabalho feito, os resultados são bastante promissores (Carvalho *et al.*, 2010).

No caso português existe uma empresa que controla o pescado descarregado nos portos de pesca e o seu processamento, logo será essa empresa a quem cabe a divisão dos resíduos e natural aproveitamento energético, caso exista essa possibilidade e seja um processo viável.

4.5 - Aterros – Resíduos Sólidos Urbanos

Neste ponto do trabalho serão tratados preferencialmente os resíduos sólidos urbanos (RSU), apesar de existirem diferentes categorias de resíduo com destino a aterro, são eles:

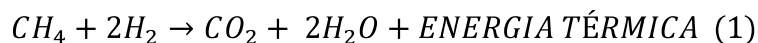
- Urbanos: provenientes de residências, atividades comerciais, limpeza de ruas, e podas de árvores;
- Industriais: produzidos nos processos de transformação;
- Agrícolas: derivados da produção desta atividade.

Antes da opção aterro, os resíduos devem ser devidamente separados e analisado o seu destino apropriado, ou seja:

- Reciclagem;
- Compostagem;
- Aproveitamento energético;
- Aterro sanitário.

Para tratamento dos resíduos deve-se seguir a ordem demonstrada em cima, devido a questões ambientais.

Apesar dos diferentes tipos de resíduos destinado a aterro, serão tidos como RSU todos os que tiverem esse destino, sendo os métodos de aproveitamento energético dos RSU a incineração ou o processamento biológico, sendo a incineração um processo pouco consensual mas utilizado. Após todos os passos referidos anteriormente os resíduos depositados em aterro são menores que os produzidos no total, mas mesmo assim com potencial de valorização energética. A tecnologia aplicada nos aterros é uma tecnologia simples que aproveita os gases de aterro (dióxido de carbono e metano). Sendo o teor em metano elevado as aplicações de índole energética aumentam, sendo a principal a aplicação como combustível num motor de combustão interna. Para além disso os gases formados têm efeitos nocivos para a camada de ozono se forem libertados para o ambiente, portanto é imperativo que na construção de um aterro seja perspectivada a captação desses gases, sendo tão ou mais importante que as aplicações do biogás, o sistema de extração. Ou seja, captando o biogás é possível operar a sua destruição pela sua queima, como apresentado na equação abaixo:



Portanto é uma reação exotérmica que liberta energia na forma de calor. Para além da sua aplicação calorífica é também possível, através da cogeração a produção de energia elétrica, ou a venda direta do gás à rede. De seguida será apresentado um organograma exemplificativo do aproveitamento energético de um aterro (Figura 11).

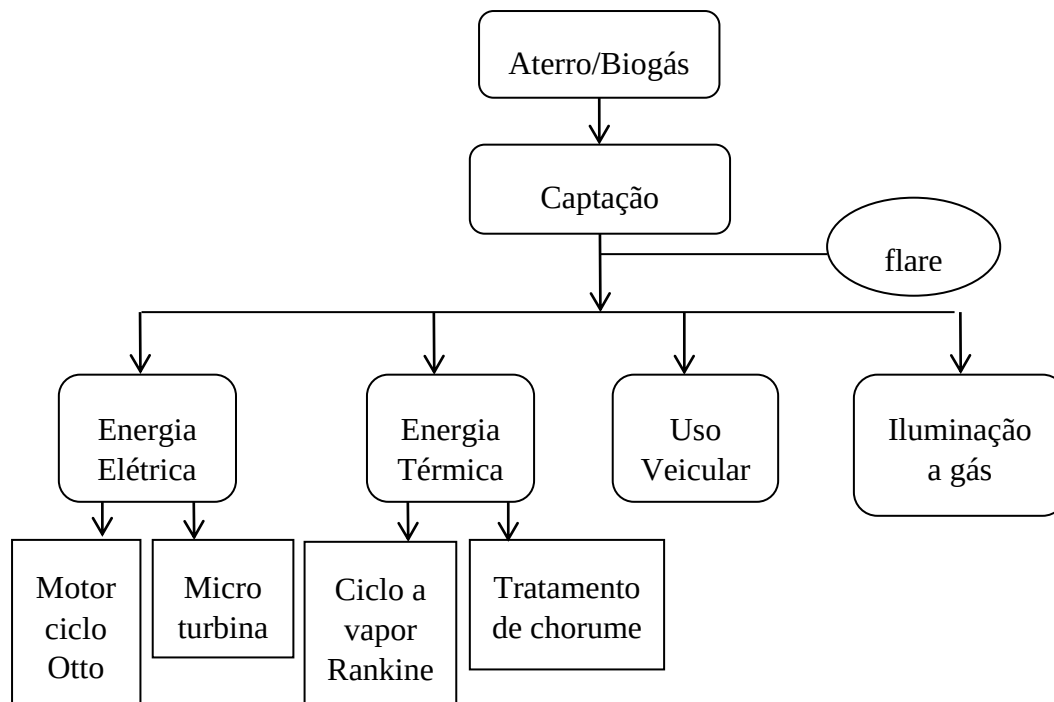


Figura 11 - diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás de aterro

4.6 - Curtumes

A indústria dos curtumes é direcionada para a produção de couro (pele curtida e acabada), a partir de peles animais. Esta indústria presta um serviço ao meio ambiente na medida em que praticamente todas as peles residuárias de matadouros são convertidas em couro, o que faz com que as peles, altamente poluentes, não sejam consideradas resíduos. Apesar de ajudar o meio ambiente, desta indústria também são originários resíduos que necessitam de ser tratados, para além das emissões de gases poluentes. Como resíduos destas indústrias podem-se referir as águas utilizadas em todo o processo de produção, para além de elevadas quantidades de resíduos sólidos como carnes (tecidos adiposos), aparas, raspas e poeiras. Como estimativa, para cada tonelada de pele salgada alimentada, são produzidos 600 a 700 kg de resíduos. Ou seja, apenas 20 a 25 % do peso bruto da pele é realmente aproveitado (INETI, 2000).

Para tratamento dos efluentes e resíduos dos curtumes existem diversas tecnologias como o processo de gaseificação, a produção de biodiesel, o tratamento anaeróbio e uma recente tecnologia de patente Australiana, de seu nome conversão a baixas temperaturas (Ananias *et al.*, 2009).

A gaseificação dos resíduos consiste na sua gaseificação e posterior utilização como combustível, tendo como consequência uma diminuição dos resíduos com destino a aterros, e consequente diminuição dos gases libertados.

Para produção de biodiesel utiliza-se o sebo do animal, para além de se poder utilizar a glicerina para produção de biogás através da biodigestão.

O tratamento dos efluentes processa-se através de digestão anaeróbia, apresentando vantagens na redução na quantidade do lodo, e posterior produção de biogás.

A nova técnica de conversão a baixas temperaturas, é tida como uma tecnologia promissora, segundo testes realizados é possível reduzir até 90 % os resíduos sólidos resultantes, gerando carvão, óleo, gás e água. Por ser ainda uma tecnologia recente, é mais viável aproveitar o gás obtido para reintroduzir no sistema, baixando assim o custo de exploração (CETESB, 2005).

5 - Tecnologias de conversão energética

5.1 – Combustão

A combustão é um processo de queima, com alguma complexidade pois envolve bastantes reações físicas e químicas com posterior libertação de luz e calor, exigindo portanto tecnologia de elevada valência. Uma vez iniciada é uma reação difícil de parar antes de completa. O processo baseia-se na queima de um combustível na fornalha de uma caldeira e subsequente produção de vapor de água. O vapor sobreaquecido gerado expande-se numa turbina que aciona um gerador elétrico. Um dos grandes problemas da combustão direta é o baixo rendimento obtido no caso da queima de resíduos ou de biomassa, nomeadamente madeira, atendendo à necessidade de se evitarem temperaturas muito elevadas nos gases da combustão. Esta limitação ocorre porque este tipo de combustíveis tem frequentemente na sua composição, elementos ou compostos passíveis de formar produtos de combustão problemáticos, principalmente a altas temperaturas. Outro problema é o alto teor de humidade da madeira quando é utilizada como combustível e a sua baixa densidade (Coelho, 2002).

Existem diversos tipos de sistemas de combustão, estes normalmente são constituídos por um sistema de armazenamento, um sistema de alimentação, uma fornalha, um sistema de remoção de cinzas, um recuperador ou permutador de calor e por fim um sistema de limpeza dos gases de combustão, sendo que a fornalha é a parte mais importante deste sistema (Teixeira, 2011).

Apesar de neste estudo ser utilizada a combustão em leito fixo, existem 3 tipos de processos tecnológicos de combustão disseminados a nível industrial, sendo eles (Vos, 2005):

- Leito Fixo;
- Leito Fluidizado;
- Suspensões.

Os gases quentes provenientes da combustão podem ter diversas utilizações tais como, aquecimento direto em pequenas unidades de combustão, aquecimento de águas em caldeiras para aquecimento central, ou para aquecimento de águas para geração de eletricidade (Vos, 2005).

A eficiência do processo de combustão em termos teóricos é elevada, embora raramente se consiga atingir. Atualmente a eficiência energética ronda os 40 % (OECD, 2010). Uma das variantes da combustão é a co-combustão, esta é utilizada porque torna o processo relativamente mais barato e simples, apesar de originar também gases corrosivos,

que por sua vez causam uma diminuição do rendimento e não permitem a combustão completa. A co-combustão consiste na queima de biomassa sólida misturada com outro tipo de combustível, por exemplo o carvão (OECD, 2010).

5.2 – Incineração

A incineração é um processo igual à combustão, apenas se designa de maneira diferente pois consiste exclusivamente na destruição dos resíduos através da sua queima a altas temperaturas. As maiores vantagens deste processo são a redução do volume até 90 % e peso dos resíduos em cerca de 70 %. É um método que não deve, nem pode ser utilizado com todo o tipo de resíduos, mas sim integrado num processo de redução de resíduos. Apesar do desenvolvimento da tecnologia ligada a incineração, existem ainda problemas relacionados com a libertação de substâncias nocivas ao ambiente e ser humano, além deste problema o custo de instalação de uma incineradora é bastante elevado (IO, 2012).

O processo de incineração tem início na secagem, onde é reduzido o teor de humidade dos resíduos, para fazer com que a combustão dos mesmos seja mais rápida e eficiente. Entretanto estes passam para uma fase de combustão a temperaturas entre os 400 °C e os 500 °C, sendo que a combustão completa só acontece entre os 800 °C e os 1000 °C (IO, 2012). Apesar de no estado atual desta tecnologia, a queima não dever ser feita a temperaturas superiores a 450 °C, de modo a evitar a corrosão nos fornos. Os produtos que resultam desta operação são gases, águas residuais, cinzas e escórias, tendo todos que receber tratamento adicional (EPE, 2008).

As águas residuais e as escórias são consideradas resíduos perigosos. Relativamente aos gases, estes contêm substâncias perigosas e necessitam de tratamento para que essas substâncias sejam retiradas, como o caso do chumbo, mercúrio entre outras. Para além disso os gases gerados podem ser aproveitados para pôr em funcionamento sistemas de conversão baseados no ciclo de Rankine. Devido há agressividade dos gases produzidos, a temperatura do vapor na caldeira não deve ultrapassar os 200 °C, tendo o efeito de baixar o rendimento de conversão elétrica para valores de aproximadamente 20 %. Apesar disso uma incineradora pode apresentar entre 450 a 600 kWh por tonelada de RSU (EPE, 2008).

5.3 – Gaseificação

A mais conhecida forma de conversão energética da biomassa é a combustão embora existam outras, a gaseificação é uma delas, esta origina um gás combustível ou um gás de síntese com diversas utilizações, através da oxidação parcial da biomassa a altas temperaturas (Belgiorno *et al.*, 2003).

Designa-se pelo termo gás de síntese quando este é aproveitado para produção de amónia, ou metanol, enquanto se designa por gás combustível quando este é utilizado para produção de energia em turbinas a gás, motores ou ainda caldeiras (Godinho, 2006).

Como agentes na gaseificação pode-se encontrar o ar, o vapor de água, ou o oxigénio. Para além disso a gaseificação pode ocorrer por três métodos, direta, indireta e através da

pirólise. A gaseificação direta ocorre sempre que o agente é utilizado para oxidar parcialmente o material, fornecendo energia para manter a temperatura do processo. Ocorre indiretamente quando os agentes são isentos de oxigénio, necessitando este processo de uma fonte de calor externa. Por fim a pirólise é um tipo de gaseificação indireta, conduzido em atmosfera inerte (Godinho, 2006).

Para efeitos de comparação na tabela seguinte são apresentados os tipos de gaseificação em função dos agentes, e o seu poder calorífico a 0 °C e 1 atm.

Tabela 19 - tipos de gaseificação e respetivos poderes caloríficos (Belgiorno, 2003).

Tipos de Gaseificação	Agente	Poder Calorífico (MJ/m ³)
Direta	Ar	4-7
Com oxigénio puro	Oxigénio	10-12
Indireta	Vapor de água	15-20

Com base em OECD (2010), este processo em comparação com a combustão tem lugar numa atmosfera com menos oxigénio, tendo também em conta que a sua tecnologia não está tão desenvolvida com a da combustão, em termos teóricos, pode atingir eficiências da ordem dos 60 %, sendo que na realidade só se conseguem atingir os 50 %.

5.4 – Cogeração

O processo de cogeração, ou seja produção combinada de calor e eletricidade (Combined Heat and Power – CHP), teve como grande impulsionadora a crise energética dos anos 70 (Pinho, 2011). Isto porque a geração convencional de eletricidade produz calor que não é aproveitado, sendo então que aparece a cogeração e faz a utilização desse calor, para simples aquecimento ou aplicações industriais (ODOE, 2010).

As tecnologias para aproveitamento da energia primária, com maior utilização em instalações de cogeração são (Pinho, 2011):

- Turbina de vapor em contra pressão;
- Turbina de vapor de condensação com extração de vapor;
- Turbina a gás;
- Motor alternativo de combustão interna.

Como vantagens deste processo, à escala nacional pode-se referir que em relação a um sistema convencional, este gasta bastante menos energia primária, existindo a possibilidade de aproveitamento dos calores residuais e combustíveis derivados do processo de conversão. Para além disso existe ainda diminuição da poluição gerada, devido a diminuição da energia utilizada, e por consequência existirá também uma poupança a nível económico (Pinho, 2011).

A análise de um sistema deste tipo é feita com base na maximização da conversão da energia química de um combustível em energia térmica útil e em energia mecânica (Pinho, 2011). Este tipo de sistema dedicado a biomassa tem tendência a ser de pequenas dimensões e ter baixo rendimento elétrico em comparação com centrais a carvão. Atingindo cerca de 30 % a 34 % quando utiliza biomassa seca, e 22 % com resíduos sólidos urbanos. No entanto o processo de cogeração pode atingir rendimentos globais, o termo termodinamicamente mais correto seria Fração de Utilização de Energia FUE, da ordem dos 85 % a 90 % (OECD/IEA, 2007).

Na Tabela 20 estão presentes algumas das tecnologias aqui tratadas, as principais matérias-primas, e os tipos de energia ou combustível.

Tabela 20 - Tecnologias e processos de conversão de biomassa, e os seus produtos (Sobral, 2011).

Tecnologia	Tipo de processo de conversão	Matérias-primas	Energia/combustível produzido
Combustão direta	Termoquímico	Madeira Resíduos florestais Resíduos sólidos urbanos Combustíveis residenciais	Calor Vapor Eletricidade
Gaseificação	Termoquímico	Madeira Resíduos florestais Resíduos sólidos urbanos	Gás de baixo ou médio poder calorífico
Pirólise	Termoquímico	Madeira Resíduos florestais Resíduos sólidos urbanos	Combustível sintético Carvão vegetal
Digestão anaeróbia	Bioquímico (anaeróbio)	Resíduo animal Resíduos agrícolas Aterros ETAR	Metano
Produção de etanol	Bioquímico (aeróbio)	Cana-de-açúcar Culturas de amido Resíduos de madeira Lodo, sedimentos Palha	Etanol
Produção de biodiesel	Químico	Colza Feijão de soja Resíduos de óleo vegetal Gordura animal	Biodiesel
Produção de metanol	Termoquímico	Madeira Resíduos florestais Resíduos sólidos urbanos	Metanol

6 - Potencial energético da biomassa florestal

Para o cálculo do potencial energético da biomassa é necessário primeiramente fazer um levantamento da biomassa possível de utilizar num contexto energético, ou seja neste estudo serão apenas tidos em conta os resíduos florestais e não as culturas energéticas dedicadas. Para isso e como se refere anteriormente, existem entraves a fazer um total aproveitamento dos resíduos florestais. Além disso é necessário enumerar uma série de critérios estabelecidos em EEA (2006) para evitar um excesso de exploração florestal, ou seja pressões ambientais excessivas.

Como tal os critérios são:

- Controlo no uso de áreas florestais protegidas, sendo que existem bastantes zonas sensíveis e sob proteção da rede NATURA 2000;
- Folhagem e raízes são sempre deixadas no local, isto para o enriquecimento do solo através dos nutrientes presentes nas folhas. Os resíduos deixados protegem o solo da exposição direta à água, vento, e sol diminuindo a erosão. Para além disso, filtram a água, aumentando a qualidade e fazendo a captura necessária aos solos. Portanto 20 % dos resíduos devem ficar no solo;
- A extração de resíduos deve ser adaptada ao local, tendo em conta a qualidade do solo, o clima e as questões de inclinação.

Para abates complementares, com o objetivo bioenergia considerado, são adicionados mais dois critérios:

- Uma redução na área de abate em 5 % para aumentar as áreas protegidas;
- Necessário o corte em 5 % de árvores jovens e de baixo volume, para que árvores mais antigas fiquem no terreno.

Ainda com base em EEA (2006), refere-se que o potencial máximo de extração é de 75 % para locais altamente adequados, 50 % e 15 % respetivamente para locais moderadamente e marginalmente adequados. O valor de 100 % não foi sequer tido em conta para os altamente adequados devido a alguns fatores que englobam a preservação ambiental do local.

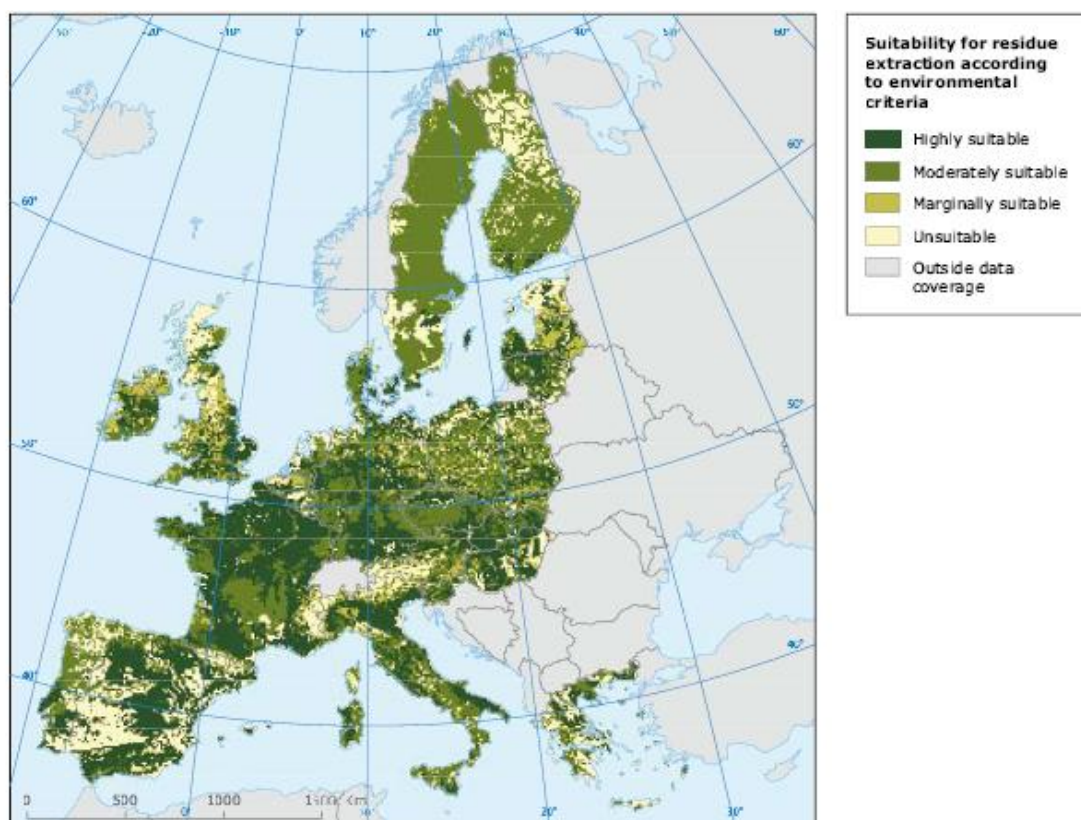


Figura 12 - Adequação do local para remoção de resíduos florestais EEA (2006).

Em função da Figura 12, e sabendo que a região em estudo (Grande Porto, Minho-Lima, Ave e Cávado) se situa a norte de Portugal, estão incluídos numa zona moderadamente adequada para extração de resíduos, o que indica que os cálculos serão afetados por um coeficiente de 0,5.

Na Tabela 21 é possível saber quais as espécies mais representativas e a sua área de ocupação territorial. Foi para isso tido como critério de seleção das espécies, ocupar mais de 1.000 ha. Ou seja, este trabalho incidirá sobre o Pinheiro-bravo, o Eucalipto e o Carvalho. Na área apresentada além dos fatores já enunciados, existe outra condicionante que é a presença da rede NATURA 2000 em vários concelhos abrangidos. Mas devido às áreas envolvidas serem de bastante complexidade, e não existindo um conhecimento profundo do tipo de ocupação, não foi tida em conta a rede NATURA 2000, para os cálculos.

Para além das restrições ecológicas existe ainda um desfasamento temporal, visto que os dados apresentados nas tabelas seguintes dizem respeito aos anos de 2005 e 2006, prevendo-se então um erro de atualização nas estimativas feitas, sendo que a quantificação desse erro só seria possível com uma nova avaliação da floresta nacional.

Tabela 21 - Espécies e respetivas áreas de ocupação (AFN, 2011).

Sub-região	Espécie	Composição	Área (ha)
Minho-Lima	Pinheiro-bravo		27.378
	Eucalipto		18.523
	Carvalho		12.128
Cávado	Pinheiro-bravo		21.785
	Eucalipto		11.813
	Carvalho	Puro e dominante	3.431
Ave	Pinheiro-bravo		20.156
	Eucalipto		11.879
	Carvalho		4.248
Grande Porto	Pinheiro-bravo		7.199
	Eucalipto		17.324

Não existem métodos diretos de avaliação da biomassa de uma árvore, uma vez que as únicas variáveis que se podem avaliar são o peso das diversas componentes. Apesar desta grande dificuldade é possível fazer-se uma estimativa com base em equações alométricas que não serão tidas em conta para efeitos de cálculo, mas são referidas a título ilustrativo (IRF, 2007).

Na Tabela 22 observam-se para cada espécie dominante, a área de ocupação e a composição dos povoamentos.

Tabela 22 - Áreas de ocupação total por espécie e composição dos povoamentos (AFN, 2011), com exceção para: 1) (Fernandes & Costa, 2010); 2) Valor não disponível, e por isso admitido.

Espécie	Composição	Área (ha)	AMA (t/(ha.ano))	Rendimento de produção (t/(ha.ano)) ¹
Pinheiro-bravo	Puro	53.458	2,4	1
	Dominante	23.060	1,9	
Eucalipto	Puro	39.336	3,5	0,88
	Dominante	20.203	2,9	
Carvalho	Puro	8.883	1,8	0,5
	Dominante	10.924	1,3 ²	

Os Acréscimos Médios Anuais (AMA) dizem respeito ao crescimento anual médio das espécies. Este valor depende de diversos fatores como o clima, a densidade do povoamento e a idade da árvore entre outros. Portanto neste caso será assumido um valor constante (IFN, 2011).

Para a avaliação do potencial máximo elétrico foi adotado o mesmo tipo de cenários que em Sobral (2011), por uma questão de igualdade e possibilidade de comparação de resultados.

Para tal é necessário definir os cenários em estudo, sendo eles os seguintes:

- Cenário A – biomassa seca disponível anualmente a partir dos Acréscimos Médios Anuais (AMA) do Pinheiro-bravo, Eucalipto e Carvalho (t/ano), à qual é descontada 50 % por critérios ambientais;
- Cenário B – biomassa residual seca disponível anualmente a partir do rendimento de produção do Pinheiro-bravo, Eucalipto e Carvalho (t/ano) à qual é descontada 20 % relativamente às folhagens.

6.1 - Fatores que influenciam o cálculo

Para efeitos de cálculo de cada cenário é necessário ainda fazer a avaliação da quantidade de biomassa disponível, e para isso são diversos os fatores que afetam o cálculo.

Relativamente ao tipo de povoamento, é definido em IFN (2011) que um povoamento florestal puro é composto por uma ou mais espécies em que uma delas ocupa mais de 75 % da área, sendo que para efeitos de cálculo se utiliza um valor de 80 %. O povoamento florestal dominante é composto por uma ou mais espécies em que uma delas ocupa a maior parte da área nunca ultrapassando 75 %, para efeitos de cálculo utilizar-se-á 50 %.

Como é referido em EEA (2006), existe a necessidade de para o cálculo ser necessário descontar 50 % do valor total de biomassa devido a critérios ambientais, valor que será utilizado para o cenário A. Para o cenário B, é descontado um valor de 20 %, devido à necessidade de deixar nas florestas ramos e folhagem.

Em relação propriamente às árvores em estudo, é necessário dizer que estas têm uma elevada percentagem de humidade, que também terá de ser tida em conta para efeitos de cálculo, pois o objetivo é o cálculo da biomassa seca. De referir porventura que os valores apresentados variam bastante consoante o período do ano (Nuñez-Regueira *et al.*, 2001). Portanto com base em Mateus (2009a), a humidade no Eucalipto é de 52,6 %, e no Pinheiro-bravo é de 57,6 %. Para o Carvalho o valor de 54,6 % é retirado de Nuñez-Regueira *et al.* (2001).

6.2 - Avaliação do potencial máximo elétrico

Primeiramente é necessário definir o potencial de biomassa disponível, ou seja através dos fatores anteriores descritos, apresentam-se na Tabela 23 os valores obtidos para cada

cenário. Ou seja, o processo de cálculo tem os seguintes intervenientes, aos quais se optou por atribuir letras:

$$E = C \times H \times Tp \times A \times P \quad (2)$$

Sendo, que para efetuar o cálculo correto é necessário articular convenientemente todos estes fatores:

- E – Estimativa da biomassa seca disponível (t/ano);
- C – Valor relativo ao tipo de cenário (%), explicito na definição dos cenários;
- H – Humidade de cada espécie (%);
- Tp – Tipo de povoamento (%), valor discriminado ao longo do texto;
- A – Área ocupada (ha);
- P – Produção (t/ha/ano).

Tabela 23 - Estimativa da biomassa seca disponível para cada um dos cenários.

	Cenário A (t/ano)	Cenário B (t/ano)
Pinheiro-bravo	26.404	18.417
Eucalipto	33.046	13.872
Carvalho	4.516	2.282

Depois de obtida uma estimativa para a biomassa disponível, é possível através desse valor fazer o cálculo da energia elétrica disponível, e da potência máxima elétrica a instalar (Sobral, 2011).

$$Pot_e = \frac{m_{comb} \times PCI \times (2,78 \times 10^{-4})}{disp} \times \eta_e \quad (3)$$

$$E_e = m_{comb} \times PCI \times 2,78 \times 10^{-7} \times \eta_e \quad (4)$$

Sendo:

- m_{comb} : representa a quantidade de combustível, ou seja, a quantidade disponível de biomassa florestal em kg/ha, (Tabela 23);
- Pot_e : representa a potência elétrica em MWe;
- E_e : representa a energia elétrica em GWh;

- *PCI*: representa o poder calorífico inferior, sendo o valor atribuído de 15 MJ/kg;
- *disp*: Representa a disponibilidade em horas, sendo admitido um valor de 6.667 horas (Setor 3.4);
- η_e : rendimento elétrico, sendo admitido o valor de 25 %;
- $2,78 \times 10^{-11}$: Fator de conversão joule (J) para Wh ou GWh.

Os resultados obtidos através dos cálculos efetuados a partir das equações 3 e 4 podem ser observados na Tabela 24.

Tabela 24 - Avaliação das potencialidades energéticas da biomassa disponível para os cenários A e B.

	Energia elétrica anual (GWh)	Potência a instalar (MWe)
Cenário A	67	10
Cenário B	36	5

6.3 - Estudo complementar

Este estudo complementar tem como objetivo estimar o possível aumento de área florestal com destino ao seu aproveitamento energético. Ou seja, os maiores destinos dos recursos florestais são a indústria da pasta e do papel, a construção civil e o mobiliário. O primeiro passo neste estudo seria encontrar dados sobre a percentagem que cada indústria ocupa no sector da madeira. Após a obtenção desses dados estatísticos o segundo passo seria encontrar dados sobre o volume de negócios da indústria da construção civil e mobiliário, para que com isso se pudesse porventura avaliar se o aproveitamento da floresta para essa indústria estaria em queda, e portanto ser possível ou não aproveitar essa parcela para produção de madeira destinada a biomassa.

Efetuuou-se a pesquisa e o que se pode dizer em concreto é que com base na Tabela 25 a produção de produtos derivados da madeira não variou muito entre 2007 e 2009.

Tabela 25 - Produção de produtos derivados da madeira (EA, 2010).

Produtos derivados	Unidade	Anos		
		2007	2008	2009
Carvão	1.000 t	20	21	19
Aparas e estilhas de madeira	1.000 m ³	740	351	198
Madeira serrada	1.000 m ³	1.011	1.010	1.093
Painéis de madeira	1.000 m ³	1.302	1.303	1.351
Pastas químicas	1.000 t	2.092	2.022	2.182
Papéis e cartão	1.000 t	1.644	1.662	1.634

Por uma questão de comparação na mesma medida passará a ser usado o m³ sendo que para a conversão se empregará uma massa volúmica média da madeira de 750 kg/m³.

Tabela 26 - Produção de produtos derivados da madeira em m³ entre 2007 e 2009.

Produtos derivados	Unidade	2007	2008	2009	TOTAL
Carvão		27	28	25	80
Aparas e estilhas de madeira		740	351	198	1.289
Madeira serrada	1.000 m ³	1.011	1.010	1.093	3.114
Painéis de madeira		1.302	1.303	1.351	3.956
Pastas químicas		2.789	2.696	2.909	8.395
Papéis e cartão		2.192	2.216	2.179	6.587
TOTAL		8.061	7.604	7.755	23.420

Com base na Tabela 26 constata-se, que a madeira em Portugal é na sua maioria utilizada na indústria da pasta e do papel. Entre os anos de 2007/2009 a variação de produção de produtos derivados da madeira não é significativa ou seja, a atual crise no ramo da construção civil não se traduz na redução da produção de painéis de madeira, a qual até aumentou ligeiramente. Constata-se portanto que não existe uma quebra significativa em Portugal do aproveitamento da floresta, ou seja, a possibilidade de desviar produção florestal para a bioenergia é inexistente.

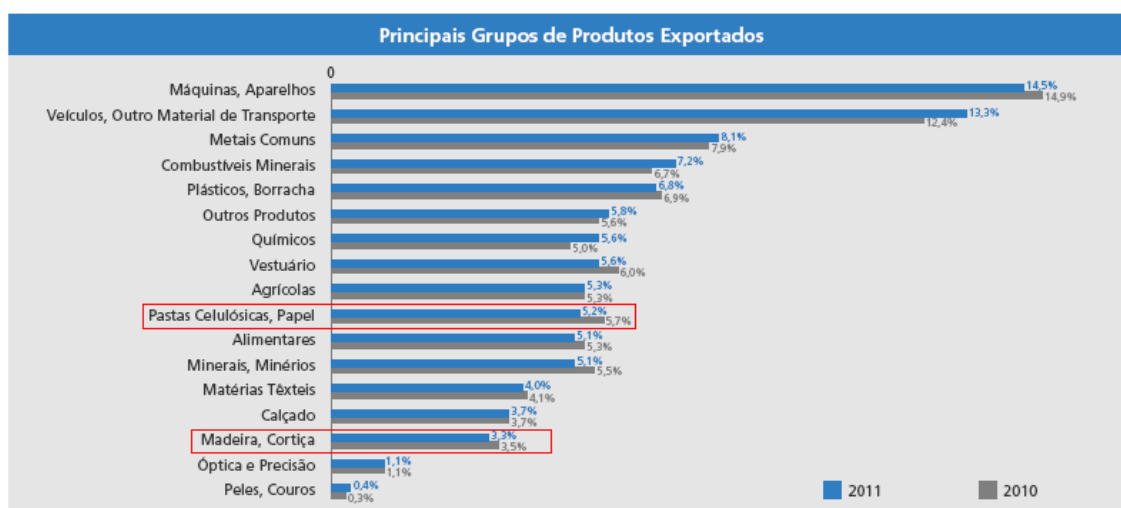


Figura 13 - Exportações Portuguesas nos anos de 2010 e 2011 (AICEP 2012)

Para além do referido anteriormente é também possível, analisando a Figura 13, perceber que nos dois últimos anos as exportações de pastas celulósicas, papel, madeira e cortiça, decresceu ligeiramente. Contudo não é possível tirar conclusões objetivas, para além de que neste momento ainda não existem valores sobre a produção de produtos derivados da madeira para os anos de 2010 e 2011.

Apesar do que anteriormente foi afirmado, e se se mantiver uma queda nas exportações deste tipo de produtos, pode ser feito um aproveitamento desses recursos para fins energéticos, desde que devidamente enquadrado com as necessidades dos atuais destinatários dessa matéria florestal.

Ou seja, e para concluir, a realização deste tipo de estudo é bastante importante tanto a nível das sub-regiões em análise como a nível nacional, onde o impacto seria bastante maior. Apesar de inconclusivo devia ser uma base para a realização de estudo mais aprofundado num futuro breve.

6.4 - Discussão dos resultados

Antes de mais é necessário dizer que para efeitos de cálculo não foram tidas em conta as áreas florestais englobadas na rede NATURA 2000, devido à complexidade dos dados daí resultantes. Não foram também considerados no estudo os custos de transporte e recolha da biomassa florestal, logo não se poderão fazer considerações económicas. Não foi também contabilizada para efeitos de cálculo a biomassa morta ou queimada nas zonas em estudo.

Seguindo as mesmas características do estudo de Sobral (2011), pode-se afirmar que o Cenário B é o mais realista devido a ter em conta apenas a biomassa residual obtida através das operações de gestão florestal, neste cenário foram ainda descontados 20 % relativos às folhagens que necessitam de ficar no solo. Para além do dito anteriormente o Cenário B é o que apresenta valores de potência máxima elétrica a instalar e de energia elétrica produzível, mais baixos, ou seja que mais salvaguardam a natureza, e por serem os mais baixos acarretam um erro inferior relativamente aos valores reais.

O conjunto das sub-regiões em estudo perfaz uma área total de 552.500 ha. Ora segundo Viana *et al.* (2009) o raio económico de recolha será de 35 km, o que se traduz numa área de interesse de 384.800 ha, o que quer dizer que a área em estudo é superior ao raio económico em 167.700 ha. Para instalação de uma central de biomassa seria portanto pertinente fazer um estudo prévio do local que pudesse abranger o máximo de área florestal.

Existem em projeto no conjunto das sub-regiões em análise duas centrais destinadas ao aproveitamento energético da biomassa, uma em Gondomar com a potência de 13,5 MW, e outra em Cabeceiras de Basto com a potência de 10,2 MW. Segundo os valores obtidos para o cenário B, cerca de 5 MW, constata-se portanto que estas centrais não deverão ter matéria suficiente para trabalhar à carga máxima, ou então a utilização vai além dos resíduos florestais. Para comprovar esta afirmação a Figura 13, pode ser elucidativa da área florestal que tem possibilidade de aproveitamento, mas que está ainda sujeita a todas as condicionantes enumeradas durante este capítulo.

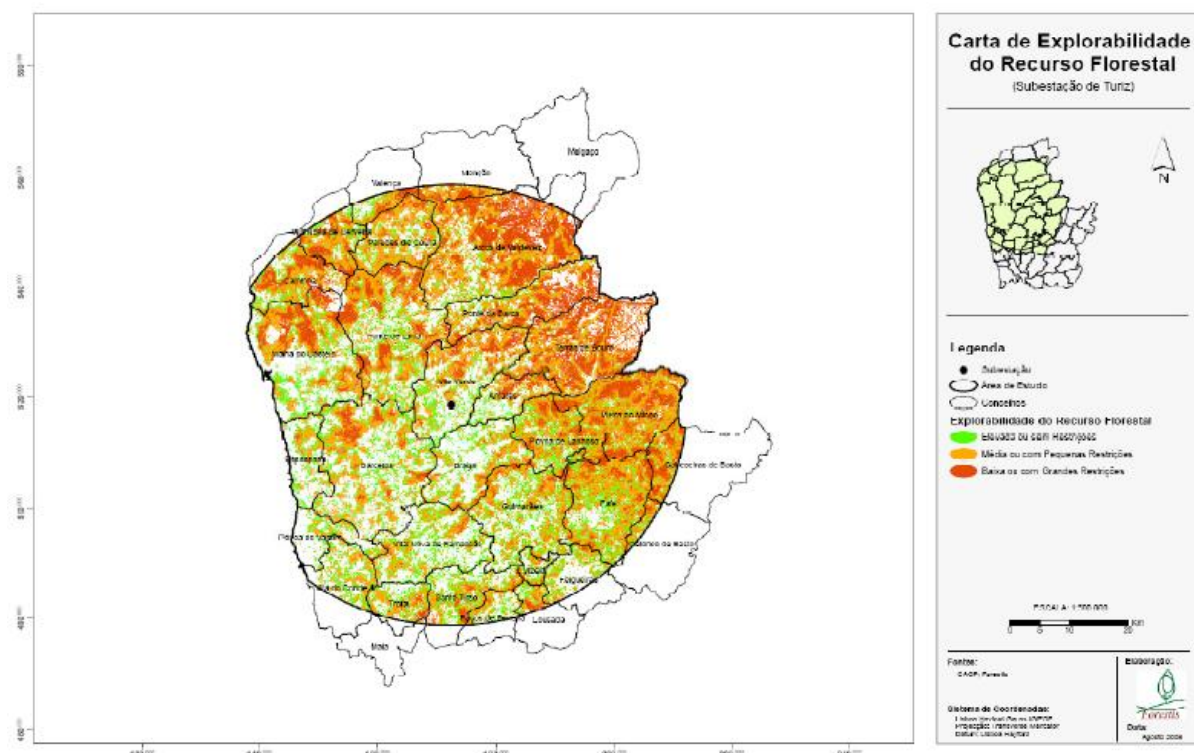


Figura 14 - Carta de explorabilidade dos recursos florestais, verde são as zonas com grande potencial de explorabilidade, a laranja média explorabilidade e a vermelho baixa explorabilidade (FORESTIS, 2008).

A figura reporta a um local no concelho de Vila Verde, Turiz e é um exemplo de que existe pouca possibilidade de exploração dos recursos florestais. Como referido na legenda da Figura 14, as áreas a verde correspondem a um grande potencial de explorabilidade, a laranja média explorabilidade e a vermelho baixa explorabilidade, ou seja, nota-se uma predominância de zonas a vermelho e a laranja, sendo as zonas verdes mais pequenas, sem contar que existem zonas a branco, que correspondem a outro tipo ocupação do solo.

Segundo dados do INE em 2009, cada habitante destas sub-regiões consumia em média anualmente cerca de 4.240,7 kWh, sendo que no conjunto existem cerca de 2.453.998

habitantes, o consumo anual de eletricidade será de 10.407 GWh. Para o cenário escolhido, a produção anual de energia elétrica ronda os 36 GWh, o que nem sequer corresponde a 1 % da energia necessária e só cobriria as necessidades de 8.489 habitantes.

7 – Biogás

O biogás é uma mistura gasosa composta maioritariamente por metano e dióxido de carbono, resultante do processo de digestão anaeróbia de matéria orgânica. Esta matéria orgânica poderá ter diversas proveniências, derivada de resíduos com destino a aterro, resíduos da indústria agroalimentar e piscícola-alimentar, resíduos agrícolas, resíduos do sector dos curtumes e por fim efluentes da pecuária. São estes os tipos de resíduos tratados neste trabalho com objetivo de se tentar quantificar a possível produção de biogás.

Com a crise do petróleo em 1973, foram iniciados processos de desenvolvimento da exploração deste gás. Com isto seria de esperar uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis, a não emissão direta de biogás para a atmosfera que se verifica sempre que há uma digestão anaeróbia descontrolada de resíduos orgânicos enterrados no solo, e o tratamento de vários tipos de resíduos, o que teria um impacto fundamental no ambiente (Deleo e Oliveira, 2009). A composição química deste gás pode ser vista na Tabela 27.

Tabela 27 - Composição do biogás (AEBIOM, 2009).

Matéria	Volume (%)
Metano, CH ₄	50 – 75
Dióxido de carbono, CO ₂	25 – 45
Vapor de água, H ₂ O	1 – 2
Monóxido de carbono, CO	0 – 0,3
Azoto, N ₂	1 – 5
Hidrogénio, H ₂	0 – 3
Sulfureto de hidrogénio, H ₂ S	0,1 – 0,5
Oxigénio, O ₂	Vestígios

Utilizando sistemas de cogeração, a energia térmica gerada a partir da queima do biogás é utilizada para aquecimento do próprio biodigestor, e a energia elétrica pode ser consumida pelo produtor, ou disponibilizada na rede. Para além dos usos referidos pode ser utilizado como combustível automóvel e na iluminação pública.

Como origem do biogás está a digestão anaeróbia como referido anteriormente, que consiste num processo de conversão de matéria orgânica em dióxido de carbono e metano, num ambiente pobre em oxigénio. É um processo que ocorre por ação de bactérias metanogénicas na ausência de oxigénio, como no caso de aterros sanitários.

O biogás é um gás com pouca densidade e leve, até mais que o ar, o seu risco de explosão é reduzido. Um dos benefícios da exploração do biogás, é não ser um gás tóxico devido ao seu baixo teor em monóxido de carbono (Coelho, 2002). Para além disso devido ao seu alto teor metano o biogás é recomendado para produzir energia térmica (Oliveira, 2005).

Comparando o poder calorífico deste gás com outros combustíveis pode-se obter a relação entre 1 m³ de biogás com outras fontes caloríficas, Tabela 28.

Tabela 28 - Equivalências energéticas com outras fontes (Coelho, 2002).

Nome	Unidade
Gasolina	0,8 l
Álcool	1,3 l
Carboneto de cálcio	2 kg
Gasóleo	0,7 l
Eletricidade	7 kWh
Madeira	2,4 kg
Carvão	1,4 kg
Butano	0,2 m ³
Propano	0,25 m ³

7.1 - Processo de digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é um processo que consiste na valorização energética dos efluentes da agropecuária preferencialmente, que resulta na transformação de matéria orgânica biodegradável, na ausência de oxigénio, maioritariamente em metano e dióxido de carbono. De acordo com EPE (2008), este processo pode ser dividido em 4 fases, pré-tratamento, digestão, recuperação do gás gerado e tratamento de resíduo.

O pré-tratamento refere-se à separação dos resíduos não digeríveis dos digeríveis, ou seja materiais recicláveis ou indesejados são removidos. Dentro do digestor os resíduos são mantidos a uma temperatura constante, durante um tempo predeterminado. Para que exista a diluição da carga pode ser utilizada água limpa, ou então o efluente líquido que é assim aproveitado e também tratado. Depois com a libertação do gás é necessário purificá-lo ao máximo, para satisfazer as exigências da posterior aplicação. A quantidade de biogás produzido está relacionada com o nível da tecnologia empregue e qualidade da matéria residual (EPE, 2008).

De acordo com Fernandes (2012), o processo de digestão pode ser descrito por quatro etapas, são eles a hidrólise, acidogénese, acetogénese e a metanogénese descritos na Figura 15.

A hidrólise passa pela transformação da matéria orgânica em compostos dissolvidos com menor peso molecular. A acidogénese refere-se à absorção dos compostos dissolvidos pelas células das bactérias fermentativas, originando ácidos voláteis e lácticos, álcoois e dióxido de carbono, hidrogénio entre outros. A acetogénese é a passagem dos produtos da acidogénese para compostos que formam os substratos base para produção do metano (acetato, hidrogénio e dióxido de carbono). A metanogénese é a etapa que tem por função limitar a velocidade do processo de digestão, embora com temperaturas abaixo dos 20 °C a hidrólise também se torne limitante do processo. O produto por fim gerado é o metano.

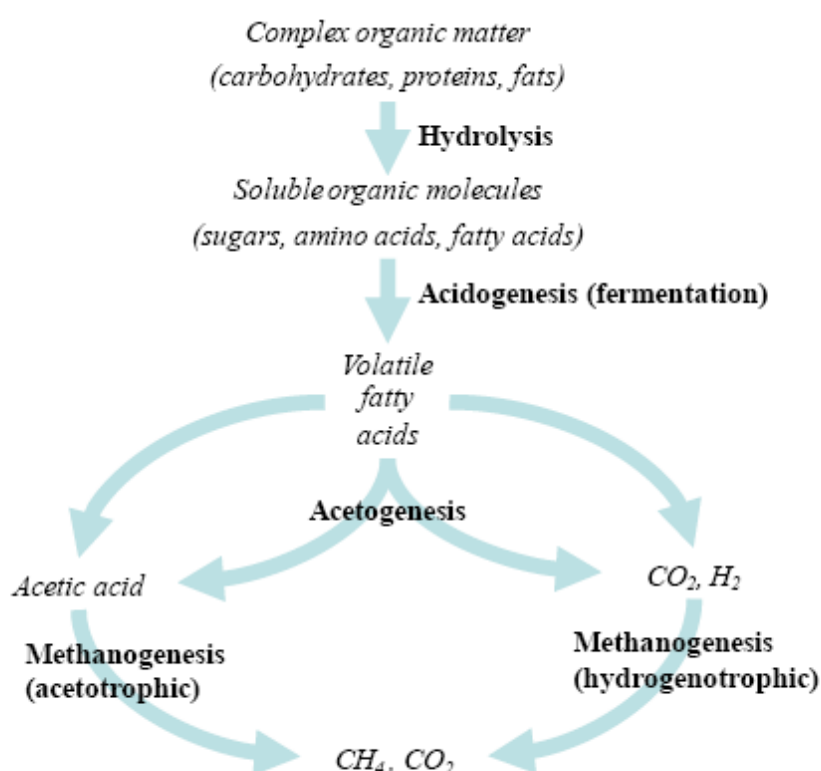


Figura 15 - Processos bioquímicos de conversão presentes na Digestão Anaeróbia (CEPA, 2008).

O processo de digestão anaeróbia está bastante dependente da biodegradabilidade da matéria orgânica, ou seja, muito poucas vezes a conversão completa é atingida. De acordo com Pereira & Matos (2003), Tabela 29, os tempos de transformação da matéria orgânica são os seguintes.

Tabela 29 - tempo de semitransformação $t_{1/2}$ e biodegradabilidade (% de conversão máxima) de alguns substratos (Pereira & Matos, 2003).

Substrato	$t_{1/2}$ (ano)	Conversão (%)
Facilmente biodegradáveis (papel, resíduos de alimentação, etc., essencialmente celulose)	1 a 5	Aproximadamente 100
Moderadamente biodegradáveis (vegetais, cartão, etc.)	5 a 25	Aproximadamente 90
Difícilmente biodegradáveis (madeira, vegetação arbórea, etc., contendo mais de 30 – 40 % lenhina)	20 a 100	Aproximadamente 50

Para além da biodegradabilidade existem ainda outros fatores que influenciam o processo, tais como: temperatura, pH, humidade, granulometria, densidade e qualidade dos resíduos, disponibilidade de nutrientes e presença de xenobióticos (Pereira & Matos, 2003).

7.2 – Tipos de digestores

A primeira instalação deste tipo foi feita na Índia em 1857, com o objetivo de produzir gás para um hospital. A partir daí só por volta dos anos 1970, é que se deu o maior crescimento deste tipo de instalações com a China a instalar cerca 7 milhões de digestores. Na altura da 2ª Guerra Mundial, a Alemanha viu-se obrigada a descentralizar a sua produção energética e a apostar na produção de biogás para uso nos tratores.

Segundo Coelho (2002), o tipo de digestor que comumente é visto nas casas, tem o nome de biodigestor rural, e o objetivo de produzir biogás e fertilizante para as culturas. Alguns dos benefícios da utilização de um biodigestor são:

- Produção de energia e fertilizante;
- Eliminação de resíduos poluentes;
- Possibilidade de utilizar vários tipos de resíduos;

Para além do biodigestor existem três tipos de digestores mais utilizados, a lagoa anaeróbia coberta, o digestor de escoamento em pistão (*plug flow*) ou em regime permanente e o digestor por cargas. Em relação à lagoa, esta é fechada com uma cobertura flexível e o metano é recuperado e canalizado para os dispositivos de combustão. O sistema de digestão em regime permanente é composto por um tanque com uma cobertura rígida, normalmente usado para coleta de esterco animal devido a uma produção contínua de dejetos. Por último, o digestor de cargas, é um tanque fechado e aquecido, funciona melhor quando existe alguma diluição da excreta depositada (EPA, 2011).

7.3 - Pecuária

7.3.1 - A exploração do biogás na pecuária

Acima de tudo é necessário um processo de tratamento dos resíduos da pecuária porque os dejetos dos animais possuem bastantes bactérias prejudiciais tanto à própria saúde animal como humana, quando transmitidos às pastagens.

Assim a adoção de métodos adequados no tratamento destes resíduos terá uma grande importância no controlo da disseminação de doenças. Para isso com a digestão anaeróbia além de se confinar e reduzir o potencial poluidor dos resíduos, é possível obter uma valorização energética desses resíduos, promovendo a produção de biogás. Além da energia gerada, é ainda possível criar fertilizante, o efluente líquido obtido no final do processo digestivo (Amaral *et al.*, 2004).

Em termos mundiais o uso de digestores está amplamente difundido sendo que a China e Índia representam os maiores exemplos com 8 milhões e 3,4 milhões de unidades respetivamente. Na Europa o país com mais representatividade desta tecnologia é a Alemanha com cerca de 2 mil unidades (Zanette, 2009).

Portugal por seu turno possui cerca de 100 instalações de digestão anaeróbia, sendo que a maioria se refere a centrais ligadas à pecuária (AD Nett, 2005). No sector da agropecuária estima-se que exista uma potência elétrica instalada de 59 MW, com uma produção de energia elétrica anual de 226 GWh (ER, 2012).

Para além dos benefícios já referidos anteriormente, a exploração das centrais de biogás acarretam mais vantagens, tais como (CE, 2004):

- Investimento económico atrativo;
- Facilidade de operação e segurança da instalação;
- Produção de eletricidade e calor resultante numa redução das emissões de CO₂;
- Redução das emissões de CH₄ provenientes do armazenamento dos efluentes agropecuários;
- Melhoria da qualidade do resíduo orgânico enquanto fertilizante.

Todas as vantagens já foram aqui referidas e sucintamente explicadas, exceto a componente económica do investimento. Segundo a AD Nett (2005), o investimento feito no sistema de digestão anaeróbia pode ser recuperado entre 3 a 7 anos. Com base em Mateus (2009), a dimensão mínima para que uma central de biogás seja viável, tem de ter por base uma exploração suinícola de 200 cabeças ou bovinícola de 50 cabeças.

7.3.2 - Efluentes pecuários

Como efluentes entende-se os excrementos resultantes da atividade pecuária, a estes porventura podem ser adicionados co-substratos para aumentar o rendimento do processo de digestão anaeróbia.

A composição do efluente varia muito conforme o tipo de animal. Por exemplo, CE (2004) defende que a produção de biogás por tonelada de matéria orgânica seca é inferior nos bovinos comparativamente aos suínos ou às aves, enquanto Zanette (2009) apresenta valores superiores da espécie bovina em relação aos suínos, de realçar portanto que estes valores variam bastante com o autor.

Como foi dito a adição, de co-substratos aumenta o rendimento da produção de biogás. Normalmente esses co-substratos são desperdícios da própria exploração pecuária. Na Tabela 30 podem observar-se alguns tipos de desperdícios.

Tabela 30 - Características de alguns substratos (CE, 2004).

Tipos de co substratos	Matéria Seca MS (%)	Matéria Orgânica MO (%)	Produção de Biogás (m ³ /tonelada MOS)	Produção de Biogás (m ³ /tonelada húmida)	Produção média de biogás (m ³ /tonelada húmida)
Desperdício vegetal	10-20	65-85	400-700	25-120	75
Beterraba sacarina	10-20	80-95	800-1200	65-230	145
Armazenamento de cereal	15-40	75-95	500-900	55-340	200
Armazenamento de erva	30-50	80-90	500-700	120-315	220
Desperdícios de gordura e sobrenadante	8-50	70-90	600-1300	30-585	310

Ainda sobre a adição de co-substratos, segundo Demirbas (2008), misturas de estrumes com palha têm sido amplamente investigadas. Dados apontam que num processo de digestão para uma mistura de estrume e palha, nos primeiros 3 dias, a percentagem produzida de metano seja de 0 % e a de dióxido de carbono de 100%, ao 11º dia obtém-se 50 % de cada constituinte. Ao 20º dia, a digestão entra numa fase estacionária, e a composição do biogás em metano atinge 73 a 79 %. Num período de digestão normal de 30 dias, cerca de 80 a 85 % do biogás foi produzido entre os dias 15 e 18, ou seja este seria o tempo aconselhável de deposição num digestor.

7.3.3 - Quantificação do potencial de produção de biogás

Relativamente ao sector da pecuária existem diversas espécies que são alvo de exploração, mas só algumas têm interesse no âmbito da valorização energética. As espécies com maior relevo, devido à composição química dos seus efluentes, são os bovinos, suínos e galinhas poedeiras (Mateus, 2009).

Em 2009 foi realizado um recenseamento agrícola que, em comparação com o anterior realizado em 1999, constatou um decréscimo do efetivo animal em praticamente todas as

zonas do país. São diversos os fatores que influenciam esta queda, como o envelhecimento dos produtores e os valores pagos ao produtor pelos seus produtos o que desincentiva a continuidade do negócio.

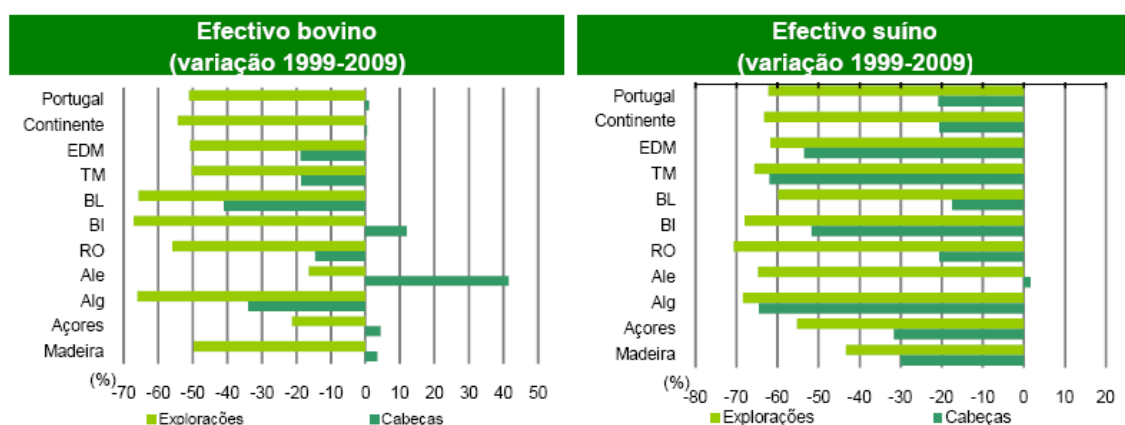


Figura 16 - Evolução do efetivo bovino e suíno entre 1999-2009 (INE, 2009).

Com base na Figura 16 o efetivo bovino baixou cerca de 18 %, e o suíno 54 %, em 10 anos na região de EDM. Para as aves não existem gráficos comparativos mas pode ser alvo de uma análise através do número de efetivos total no EDM, que em 1999 era de 3.665.758 (INE, 1999) e em 2009 era de 2.731.795 (INE, 2009). Após efetuados os cálculos constata-se que a redução é de aproximadamente 25 %. Em seguida serão apresentados os valores de efetivos para a zona em estudo.

Com base no Anexo A, onde se pode ver o efetivo animal em função da espécie e da sub-região, é possível construir a tabela seguinte com o efetivo total por espécie. Em função da Tabela 31 percebe-se que os valores relativos aos suínos são baixos, mas serão na mesma tidos em conta pois apresentam um valor de produção média de biogás relativamente alto (Tabela 33).

Tabela 31 - Efetivo total por espécie (INE, 2012).

Espécie	Efetivo total (milhares de unidades)
Bovinos	215
Suínos	33
Aves	2.090

Os valores do efetivo atual, referidos na Tabela 31, serão então os valores utilizados para o cálculo do potencial energético do biogás na sub-região em estudo.

Como efetivo entendem-se os animais adultos e não adultos, isto tem importante influência nos cálculos da quantidade de excrementos produzidos por animal, pois dependendo da sua idade produzem mais ou menos quantidade, apesar de para efeitos de

cálculo ser considerado um valor médio. Por conseguinte será importante definir as características dos efluentes para estas espécies, Tabela 32.

Tabela 32 - Características dos efluentes para diferentes espécies, por percentagem de massa de animal vivo (Sobral, 2011).

Tipo de efluentes	Massa do animal vivo (kg)	Massa média do efetivo (kg/animal)	Produção de esterco diário por % de massa de animal vivo	Conteúdo total de sólidos (ST) ou matéria seca (MS) (%)	Conteúdo de sólidos voláteis (SV) ou matéria orgânica (MO) (%)
Bovinicultura	135 – 800	200	5	7 – 15	65 – 85
Suinicultura	30 – 75	50	2	3 - 13	65 – 85
Avicultura	1,5 – 2	1,5	4,5	10 - 20	70 – 80

Para efeitos de comparação assumiram-se os pressupostos de Sobral (2011) como base de análise, ou seja:

- Todos os animais estão estabulados o tempo inteiro, com a captação total dos excrementos;
- Não entram para os cálculos os resíduos provenientes dos alimentos, ração, palha e urina;
- Não existe diferença entre aves para abate (frango) e galinhas poedeiras, sendo o valor apresentado na Tabela 32 de 1,5 kg por cabeça, um valor de referência;
- Não se faz distinção entre gado para abate e vacas leiteiras, sendo o valor apresentado na Tabela 32 de 200 kg, um valor de referência;
- Não é tido em consideração o tipo de alimentação dos animais (isto pode prejudicar a qualidade do substrato, que por sua vez prejudica a qualidade do biogás);

7.3.4 - Levantamento do potencial energético do biogás

A produção de biogás a partir dos efluentes da agropecuária, será calculada com base no trabalho de Sobral (2011), ou seja, a produção de biogás tem como base as características do substrato. Sendo elas:

- Matéria seca (MS): quantidade de matéria seca no substrato (%);
- Matéria orgânica (MO): quantidade de matéria orgânica da matéria seca (%);
- Matéria orgânica seca (MOS): quantidade orgânica do substrato ($= MS \times MO$) (%);
- Produção máxima específica de biogás (m^3/t MOS).

Tabela 33 - Características do substrato para diferentes espécies, incluindo a produção média de biogás (Sobral, 2011).

Efluente por espécie	Número de efetivos (em milhares)	Produção de substrato diário (kg/animal)	Produção de substrato diário total (t)	MS (%)	MO (%)	Produção média de biogás (m ³ /t MOS)
Bovinos	215	10	2.150	11	75	300
Suínos	33	1	33	8	75	450
Aves	2.090	0,07	146,3	15	75	450

Para ser possível efetuar o cálculo da produção total de biogás, é necessário conjugar os valores da Tabela 33 com a equação seguinte.

$$m_{biogás} = m_{substrato} \times MS \times MO \times m_{biogás\ MOS} \quad (5)$$

Sendo:

- $m_{biogás}$ – Produção total de biogás (m³/dia);
- $m_{substrato}$ – Quantidade de substrato (t);
- MS – Fração de matéria seca (%);
- MO – Fração orgânica de matéria seca (%);
- $m_{biogás\ MOS}$ – Produção média de biogás (m³/t MOS).

Com os cálculos completos chegam-se aos valores finais da produção de biogás para sub-região do Minho-Lima, Cávado, Ave e Grande Porto, apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Potencial máximo de biogás diário produzido para a Sub-região em estudo.

Efluente por espécie	Produção total de biogás (m ³ /dia)
Bovinos	53.212
Suínos	891
Aves	7.406
TOTAL	61.262

7.3.5 - Potencial energético do biogás

Em função do trabalho de Mateus (2009), será usada para cálculo da energia elétrica produzida a seguinte equação.

$$E_e = m_{biogás} \times PCI_{biogás} \times \eta_{biodigestor} \times (1 - f_{orgânico}) \times \eta_{elétrico} \quad (6)$$

Sendo:

- E_e – Energia elétrica em GWh;
- $m_{biogás}$ – Produção total de biogás (m³/ano);
- $PCI_{biogás}$ – Poder calorífico inferior do biogás, este valor varia com a concentração de metano no biogás, com a temperatura e com a pressão (Mitzlatf, 1988). Segundo ES (2007), para uma composição de 65 % em metano o PCI situa-se em 23 MJ/m³, valor utilizado nos cálculos (0 °C e 1 atm);
- $\eta_{biodigestor}$ – Rendimento do biodigestor, sendo igual a 85 % (Mateus, 1999);
- $f_{orgânico}$ – Fração da matéria orgânica utilizada pela bactéria para o seu desenvolvimento de 5 % (Mateus, 1999);
- $\eta_{elétrico}$ – Rendimento elétrico de 25 % para conjunto motor de combustão interna a biogás.

Para efetuar o cálculo da energia elétrica utilizam-se a equação anterior e os valores da Tabela 34 adaptados para produção de biogás anual. Como fator de carga consideram-se 3.781 horas anuais, conforme referido na Seção 3.5 de modo a se ter uma ideia da potência que pode ser instalada.

Tabela 35 - Potência máxima de energia elétrica produzida através da produção anual de biogás e potência máxima a instalar.

Espécie animal	Produção de biogás anual (m ³ /ano)	Energia elétrica anual (GWh)	Potência a instalar (MWe)
Bovinos	19.422.380	25,1	6,6
Suínos	325.215	0,4	0,1
Aves	2.703.190	3,5	0,93
TOTAL	22.450.785	29	7,63

7.3.6 – Discussão de resultados

Para avaliar o potencial elétrico teve-se como condições base, a exploração intensiva e permanência nos estábulos 24 h/dia. Devido a estas condições está inerente um erro, pois nem todas as explorações pecuárias preenchem estes requisitos.

Como é de fácil constatação na Tabela 35, o efetivo bovino é aquele que contribui com maior parte da energia elétrica anual com um total de 25,1 GWh, sendo que o efetivo suíno contribui com um valor muito pequeno, possivelmente desprezável.

Se fosse possível aproveitar todo o potencial energético do biogás poder-se-ia obter 29 GWh de energia elétrica anual o que se traduz na instalação de 7,63 MWe de potência, no pressuposto desta funcionar 3.781 horas anuais. Como no conjunto das sub-regiões em análise a energia elétrica anualmente consumida por habitante em média é de 4.240,7 kWh, só seria possível abastecer 6.838 habitantes, o que se revela um valor bastante baixo.

7.4 – Resíduos agrícolas

Normalmente os produtores agrícolas vivem das receitas obtidas com a venda dos seus produtos. Com a crise vivida no setor, é necessário obter fontes de rendimento alternativas a partir dos produtos gerados. Uma larga percentagem desses produtos nunca chega ao consumidor no seu estado original, é em muitos casos direcionado para a indústria do processamento de alimentos. Por exemplo, 40 % da colheita de batata-doce pode ser inadequada para venda direta ao consumidor, pelo seu aspeto visual ou tamanho (Fleming *et al.*, 2009). Para além da indústria de processamento de alimentos para animais, outro dos métodos de valorização dos produtos inadequados pode ser a valorização energética. Para efeitos de valorização energética, para além da batata-doce, qualquer matéria vegetal estragada ou de baixa qualidade pode servir, embora existam culturas mais apropriadas, como milho, tomate, resíduos de tabaco entre outras. Os resíduos como folhagens normalmente são enterrados no solo como técnica de adubação e controlo de pragas.

No caso da Finlândia, que produz cerca de 4 milhões de toneladas de palha, destes 2,2 milhões podiam ser aproveitados para geração de eletricidade, mas apenas 15 % a 20 % são utilizados, sendo que a maioria é para alimentação animal, ou em último caso como combustível sendo que existe portanto um potencial a explorar (Werther *et al.*, 2000).

Os estudos realizados centram-se em dois processos de conversão energética, combustão e digestão anaeróbia. Para tal existem culturas específicas que aumentam o rendimento das reações. No caso da combustão as propriedades físicas e químicas inerentes à reação podem complicar o seu desenvolvimento. Devido às baixas densidades da maior parte dos resíduos, a densificação poderia ser uma opção a ponderar, embora o objetivo seja manter os combustíveis a baixo preço, a opção só seria tomada se o processo obtivesse ganhos evidentes, pois tornaria todo o processo mais caro. A palha e a casca de arroz têm massas volúmicas de 32 – 64 kg/m³ e 122 kg/m³ respetivamente, são tidas como biomassas de baixo rendimento comparativamente a cascas de café ou de coco que têm massas volúmicas relativamente maiores, da ordem de 180 kg/m³. Neste trabalho porém não se quantificará o potencial energético a partir da combustão dos resíduos, por se considerar que este processo

apresenta limitações de ordem tecnológica, originando problemas ambientais e económicos, sendo que mais pormenores podem ser encontrados na obra de Werther *et al.*, (2000) e de Khan *et al.*, (2008).

Como dito anteriormente a digestão anaeróbia é também um método de valorização energética dos resíduos da agricultura, apesar deste processo como o decorrer dos anos ter sido mais direccionado para os efluentes animais. A solução, que apresenta melhores rendimentos e menos problemas, é a codigestão, de resíduos agrícolas associados a excreta animal.

Na Figura 17 é possível observar a produção diária de metano ao longo do tempo, para uma mistura de batatas-doces e excreta de suíno.

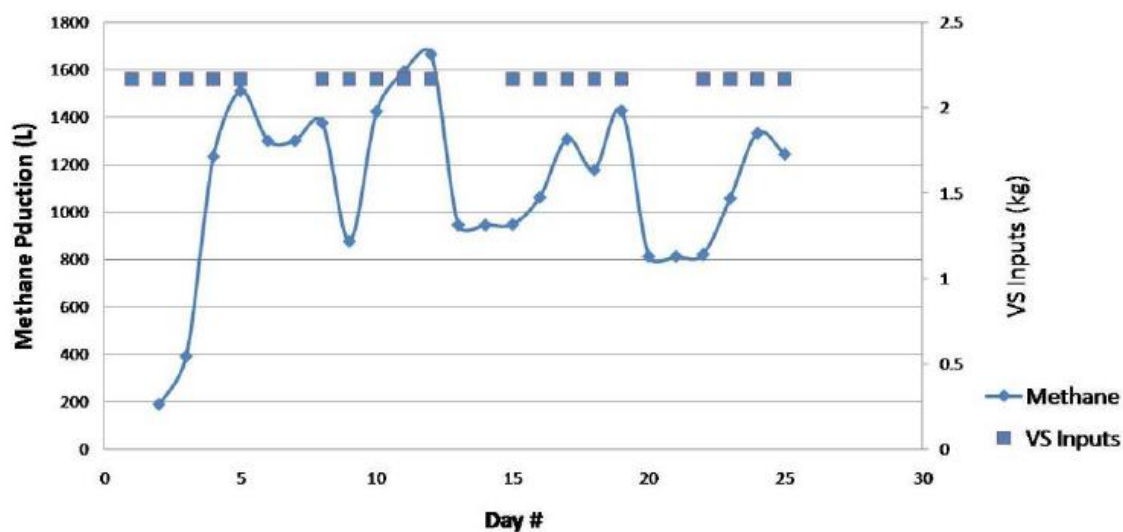


Figura 17 - Produção de metano em função do tempo e da adição de matéria volátil (VS), de uma mistura de batata-doce com excreta de suíno (Fleming *et al.*, 2009).

O gráfico da Figura 17 mostra que a produção de metano variou com a adição de matéria volátil (VS), essa variação ocorre nos fins de semana quando não existe entrada de matéria no sistema. Na Figura 18 o gráfico diz respeito a entradas de matéria fresca diariamente, sendo que a linha a cheio diz respeito à produção cumulativa de metano.

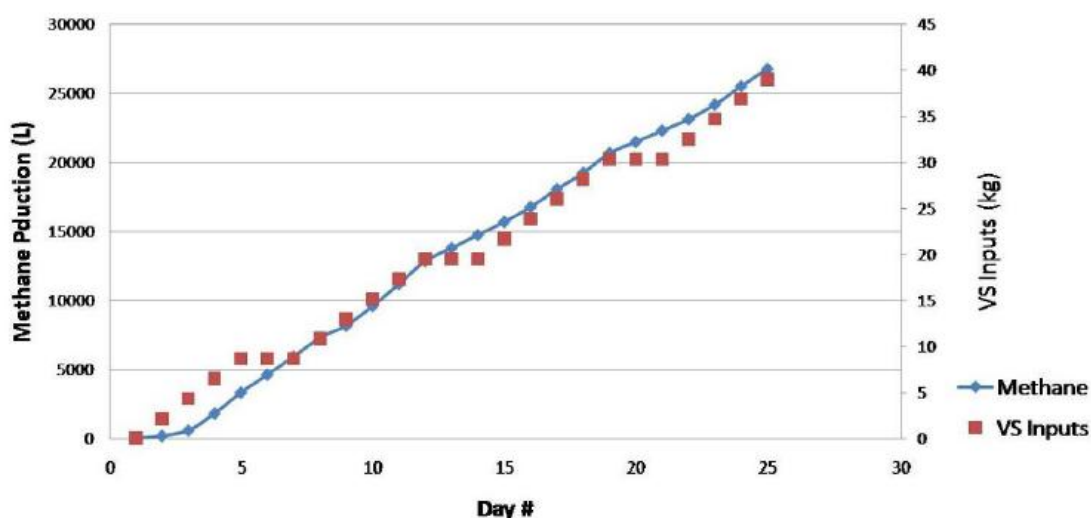


Figura 18 - Produção cumulativa de metano em função do tempo e da adição de matéria volátil (VS), de uma mistura de batata-doce com excreta de suíno (Fleming *et al.*, 2009).

7.4.1 - Avaliação das culturas das sub-regiões

Segundo RA (2009), nas sub-regiões em estudo predominam culturas temporárias, existindo porém área com prados e pastagens permanentes. Como é perceptível na Figura 19, o território nacional está dividido por áreas NUTS II, mas é bastante visível a predominância de culturas temporárias na zona estudada.

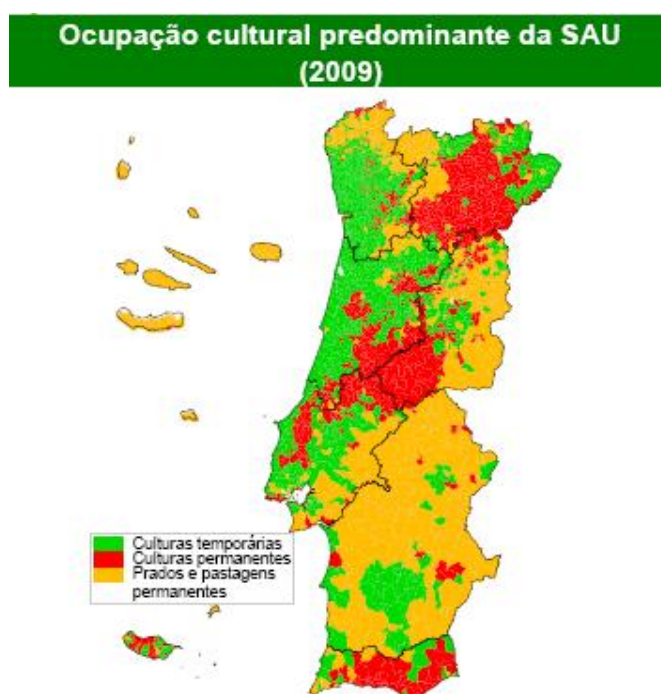


Figura 19 - Ocupação cultural predominante da SAU (2009) (RA, 2009).

Como culturas temporárias designam-se aquelas cujo ciclo vegetativo não excede um ano, e aquelas que não sendo anuais são ressemeadas com intervalos que não excedem os 5

anos. É portanto possível ver na Figura 20, as culturas temporárias com mais expressão na região de Entre Douro e Minho, tomando-se como exemplo para a zona em causa, devido há inexistência de dados específicos.

Culturas temporárias, por região (2009)													
Regiões	Cereais para grão		Leguminosas secas		Prados temp. e cult. forrageiras		Batata		Culturas industriais		Horticultura e floricultura		Total¹
	Total	Cultura principal	Total	Cultura principal	Total	Cultura principal	Total	Cultura principal	Total	Cultura principal	Total	Cultura principal	
Portugal	345 941	340 256	13 239	12 678	494 364	386 514	18 745	17 722	24 923	24 872	49 700	48 189	948 470
Continente	345 556	339 910	13 152	12 608	473 972	376 035	17 331	16 716	24 764	24 713	47 892	46 547	923 537
EDM	28 895	27 356	1 228	1 101	104 064	48 805	2 059	1 919	22	21	2 859	2 624	139 237
TM	29 404	29 300	442	439	31 542	25 942	4 927	4 898	26	26	469	407	66 830
BL	34 150	32 902	1 674	1 458	43 600	25 021	2 923	2 665	110	109	2 891	2 537	85 425
BI	16 630	15 921	659	591	72 866	62 446	1 321	1 267	383	382	316	305	92 269
RO	57 035	55 994	944	875	43 437	39 546	5 592	5 467	1 098	1 098	31 556	31 049	139 840
ALE	177 223	176 244	8 131	8 073	174 016	169 970	347	345	23 119	23 070	8 628	8 487	391 742
ALG	2 219	2 193	73	70	4 447	4 305	162	155	6	6	1 172	1 139	8 193
Açores	297	285	87	69	20 241	10 400	507	463	41	41	599	577	22 032
Madeira	88	61	//	//	151	79	907	542	118	118	1 209	1 064	2 901

¹O total inclui outras culturas temporárias não discriminadas pelo que não corresponde à soma das parcelas

Figura 20 - Culturas temporárias por região (RA, 2009).

Na Figura 20 encontram-se os valores por hectare para as culturas temporárias, dentro do retângulo a vermelho são os valores relativos à região de EDM, constatando-se que os prados temporários e culturas forrageiras têm a maior predominância, seguindo-se os cereais para grão. Como culturas forrageiras entende-se culturas destinadas ao corte para alimentar o gado e que são colhidas antes de completarem o seu ciclo vegetativo, para serem melhor digeridas. A maior parte dessas culturas são também culturas de cereais, apenas com destinos diferentes. Como se pode ver na Figura 21, nas sub-regiões em estudo predomina a área ocupada por cereais.

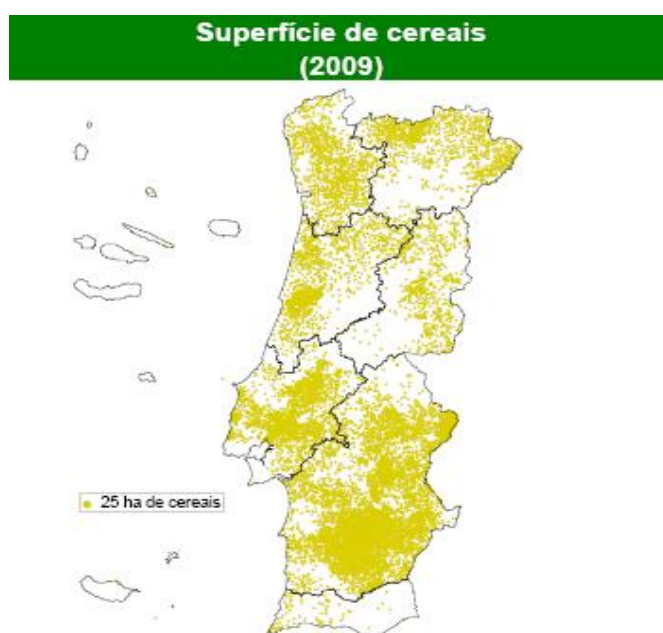


Figura 21 - Área ocupada por cultura de cereais (RA, 2009).

7.4.2 - Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis

Com base na Figura 22 o total de resíduos nacionais da agricultura e floresta é de 186.062 t, sendo que o que nesta secção realmente importa são os resíduos da agricultura, serão descontados os resíduos da floresta com base na percentagem de ocupação do território.

2010 Unidade: t

Atividade económica	Agrupamentos de operações de gestão de resíduos								
	Total	Artigo 1	Artigo 2	Artigo 3a	Artigo 4	Artigo 5	Artigo 6	Artigo 7	Artigo 8
		Valorização energética	Eliminação por incineração	Operações de valorização com exclusão da valorização energética	Eliminação por deposição no solo	Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água	Operações preparatórias de eliminação	Outras operações de eliminação	Outras operações de valorização
Total geral	32 883 760	1 293 305	418 633	6 442 310	6 474 556	22 527	887 637	7 696 474	9 648 320
{01+02} Agricultura e floresta	186 062	118	94	162 681	1 847	212	253	548	20 309
{03} Pescas	6 940	0	50	2 058	1 706	0	19	3	3 105
{05 a 09} Indústrias extrativas	1 205 899	23	0	184 573	996 586	0	567	501	23 649
{10 a 12} Alimentação, bebidas e tabaco	807 928	67 931	10 443	241 860	52 293	11 108	12 323	27 589	384 382
{13 a 15} Têxteis e peles	1 691 424	383	76	414 973	951 530	208	13 229	70 971	240 053
{16} Madeira e cortiça	462 029	170 137	14	226 366	5 168	2 201	1 122	1 937	55 085
{17+18} Pasta, papel, cartão, impressão e suportes gravados	2 757 664	987 610	1 396	726 486	324 895	10	107 141	45 787	564 338

Figura 22 - Resíduos da agricultura e floresta por tipo de operação de gestão (EAmb, 2010).

Isto é, entre floresta e agricultura, 54 % do solo é ocupado com o uso florestal (valor calculado com base no Anexo B), o que quer dizer que para efeitos de cálculo será retirada essa percentagem aos resíduos gerados. Para além disso, a área agrícola a nível das sub-regiões em estudo corresponde a apenas 5,3 % do total nacional. Utilizando estes valores construiu-se a Tabela 36 com os valores correspondentes para as sub-regiões em causa.

Tabela 36 - Quantidade de resíduos agrícolas produzidos para as sub-regiões em análise.

Agrupamentos de operações de gestão de resíduos	Quantidade de resíduos em toneladas
Valorização energética	2,9
Eliminação por incineração	2,3
Operações de valorização com exclusão da valorização energética	3.966,2
Eliminação por deposição no solo	45
Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água	5,2
Operações preparatórias de eliminação	6,2
Outras operações de eliminação	13,4
Outras operações de valorização	495,1
TOTAL	4.536,3

Cada operação de gestão de resíduos diz respeito a um artigo como perçetível na Figura 21, esses artigos estão discriminados no Anexo C. Com base nesses artigos, só poderão ser tidos em conta para efeitos de cálculo algumas das operações de gestão, ou seja, em vez de se dar um destino menos ecológico aos resíduos, esses serão aproveitados para a valorização energética. Contudo é de estimar que nem todos os resíduos produzidos sejam digeríveis e optou-se neste trabalho por considerar que só metade dos resíduos totais, que poderiam ser utilizados, serão tidos em conta para efeitos de cálculo. Esta opção foi tomada com base em RA (2009), onde os resíduos agrícolas, por exemplo, compreendem óleos e embalagens de produtos fitofarmacêuticos, produtos esses que não devem ter como destino a digestão anaeróbia. Como tal a remoção de 50 % será tida também em conta no setor agroalimentar e piscícola-alimentar por uma questão de coerência. Portanto das 72 t de resíduos com sombreado azul na Tabela 36, só cerca de 36 t é que serão objeto de valorização energética.

Com base em Lehtomäki (2006), retiraram-se os valores médios para as espécies agrícolas tidas como predominantes, sendo elas a palha, resíduos de frutas e vegetais, e batata. Para além disso, como não existem dados sobre a quantidade de resíduos de cada espécie, é feita uma mistura na mesma proporção das 3 espécies. Como tal apresentam-se na Tabela 37 os valores de referência.

Tabela 37 - Valores referência para as espécies agrícolas utilizadas (Lehtomäki, 2006). 1) Valor não fornecido portanto arbitrado.

Espécie	Conteúdo Total de Sólidos (TS) ou Matéria Seca (MS) (%)	Conteúdo Sólidos Voláteis (SV) ou Matéria Orgânica (MO) (%)	Produção de Metano (m ³ /kg SV)
Frutas/vegetais	5,7	68	0,33
Batata	19	80 ¹	0,39
Palha	92	67	0,165
Valores médios	39	72	0,3

Para além da percentagem da matéria orgânica da batata ter sido arbitrada, foi também considerado que a percentagem de metano no biogás produzido é 65 % isto por uma questão de coerência com o valor utilizado no biogás obtido na pecuária. Este valor será também utilizado no setor agroalimentar e piscícola-alimentar. Ou seja, atendendo aos valores da Tabela 37, foi estimada uma produção de biogás por Matéria Orgânica Seca de 0,462 m³/kg ou 462 m³/t. Utilizando a Equação 5, obtém-se uma produção de biogás de 4.670 m³/ano, que aplicado na Equação 6 possibilita a obtenção dos valores da energia elétrica produzida e da potência elétrica a instalar, para um fator de carga de 3.781 h, valores patentes na Tabela 38.

Tabela 38 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência a instalar; (*) Potência a instalar para 3.781 h/ano.

	Energia elétrica anual (MWh)	Potência a instalar (*) (kWe)
Resíduos agrícolas	6	1,59

Com possível interesse para o estudo seria avaliar o potencial energético da mistura dos resíduos agrícolas com chorumes, contudo essa possibilidade foi posta de parte devido ao baixo potencial gerado pelos resíduos agrícolas.

7.4.3 – Culturas energéticas

As culturas energéticas poderão ser uma aposta de futuro na produção de energia. Com a atual aposta nas energias renováveis e por seu turno na biomassa, as atuais fontes de energia, vão se esgotar sendo necessário inovar, e apostar em espécies mais vantajosas e culturas exclusivamente energéticas. Estas podem ser divididas em 3 tipos de culturas, as glucídicas, as lenhocelulósicas e as oleaginosas, sendo que neste estudo far-se-á uma breve apresentação de algumas das espécies lenhocelulósicas. Segundo Lourenço *et al.*, (2012), dentro deste tipo de culturas encontram-se espécies gramíneas como o miscanto (*Miscanthus*

sp.), switchgrass (*Panicum virgatum* L.) e reedcanarygrass (*Phalaris aundinaceae* L.), e existe ainda o estudo de vários tipos de espécies arbóreas como o eucalipto (*Eucalyptus* sp.), o salgueiro (*Salix viminalis* L.), o choupo (*Populus* sp.). Segundo Nieva *et al.*, (2010), existem ainda outras espécies arbóreas que podem ser exploradas como a acácia (*Acacia* spp.), a robínia (*Robinia* spp) e o olmo de siberia (*Ulmus pumila*) que são tipos de acácias e por fim a paulownia (*Paulownia* spp.).

Pela mesma ordem do parágrafo anterior far-se-á uma breve apresentação de cada cultura.

- Miscanto: é normalmente plantada na primavera e colhida no outono, tem uma vida útil entre os 15 e 20 anos. No primeiro ano o seu crescimento é insuficiente para ser colhida, a partir dos 3 anos iniciais a produção pode chegar às 16 t/ha/ano (NE, 2007).
- Switchgrass: esta espécie é normalmente cultivada para controlar a erosão do solo, mas o seu rápido crescimento, e resistência ao inverno têm feito com que se torne interessante para conversão em energia. Muito semelhante à miscanto, só ao fim de 3 anos de cultivo é que atinge a maior produção e quando devidamente implementada esta cultura pode gerar entre 8 a 12 t/ha/ano (REAP, 2007).
- Reedcanarygrass: esta espécie é tida como invasora, mas que pode ser fruto de cultivo, com durações entre 8 a 10 anos, é comumente colhida na primavera. Atinge uma produção média de 5 t/ha/ano, dependendo do local, condições do solo e clima (TSEC, 2012).
- Eucalipto: esta espécie tem um elevado grau de crescimento e está habituada a viver em grandes densidades de povoamento, tendo portanto um vasto potencial energético. Plantado em solos agrícolas férteis pode atingir produções de 25,5 t/ha/ano num ciclo de corte de 2 anos (Nieva *et al.*, 2010);
- Salgueiro: a melhoria genética desta espécie começou há cerca de 20 anos na Suécia, sendo que agora é a cultura energética mais utilizada no Reino Unido, Suécia, Bélgica entre outros. É uma árvore que deve ser plantada na primavera e utilizada em cultivos de curta duração, mantendo-se produtiva de 25 a 30 anos, o que equivale a rotações em ciclos de 3 a 5 anos. Pode atingir cerca de 5 a 7 m de altura, e numa primeira colheita, dependendo das condições de exploração e do local, pode atingir uma produção de 7 a 15 t/ha/ano (Nieva *et al.*, 2010);
- Choupo: existem diversos tipos de choupo, apesar de este poder alcançar um crescimento da ordem de 100 m³ em 4 anos, tudo depende da espécie escolhida, do local, clima entre outros fatores (Nieva *et al.*, 2010);
- Acácia: existem diversos tipos de acácias, todos com as suas características distintas, mas no global é uma espécie que apresenta os índices de crescimento mais elevados comparativamente ao eucalipto e choupo (Nieva *et al.*, 2010);
- Paulownia: é uma espécie originária da China, com melhoramentos feitos nos EUA., necessita de rega nos 2 primeiros anos, esperando que entre os 3 a 4 anos esta atinja 18 a 20 m de altura, com uma produção estimada em 35 a 40 t/ha/ano. O grande inconveniente desta espécie é a sua baixa massa volúmica cerca de 290 kg/m³ (Nieva *et al.*, 2010).

Em Portugal este tipo de culturas ainda não tem expressão, sendo que o interesse está instalado na produção de biodiesel a partir das culturas oleaginosas como colza ou girassol. Para a produção de bioetanol em Portugal as culturas utilizadas são os cereais, ou então a beterraba sacarina e a batata.

7.4.4 – Discussão de resultados

Relativamente aos resíduos das explorações agrícolas, estes podem ser usados para diminuir os custos de manutenção da exploração, tanto pela utilização da energia produzida na própria instalação como com a obtenção de adubos a partir da digestão anaeróbia.

Os resultados obtidos foram de 6 MWh para a energia elétrica produzida anualmente, e de 1,59 kWe para a potência máxima a instalar. Segundo dados do INE, nas sub-regiões em estudo o consumo de eletricidade na agricultura por consumidor é em média de 3.535 kWh por ano, isto quer dizer que a energia elétrica produzida é só capaz de abastecer 2 consumidores deste tipo. Por tal razão a utilização destes resíduos para a produção de energia elétrica não tem interesse prático.

7.5 – Indústria agroalimentar e piscícola-alimentar

Neste capítulo o objetivo será quantificar os resíduos passíveis de valorização energética, embora se saiba que a sua grande maioria tem como destino os aterros, o que interferiria com os valores de deposição em aterro. Contudo o objetivo passa apenas por quantificar o potencial de produção de biogás a partir dos resíduos gerados por estas indústrias através da digestão anaeróbia.

7.5.1 – Indústria agroalimentar

A indústria agroalimentar gera anualmente enormes quantidades de subprodutos e resíduos. Existe portanto a necessidade de clarificar as diferenças entre estes, pois muitos países da União Europeia classificam subprodutos como resíduos erradamente. Segundo FIPA (2007), um subproduto deve ser considerado como tal quando é resultado de um processo produtivo sendo que o objetivo principal não era a sua produção. Para além disso, é necessário existir uma utilização futura para este objeto, poder ser utilizado diretamente sem sofrer alterações e fazer parte de um processo de produção contínuo, tudo o resto que não preencher estes requisitos é considerado resíduo. Portanto considera-se que em Portugal esteja a ser feita uma divisão correta entre resíduos e subprodutos.

7.5.1.1 – Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis

Considera-se neste estudo que a indústria agroalimentar engloba as indústrias do tabaco, bebidas e alimentação. Apesar disso só alguns tipos de resíduos agroalimentares têm propensão para a valorização energética, como por exemplo o bagaço de uva, o bagaço de azeitona, as borras de café e os resíduos da indústria cervejeira, de carnes e de frutas e legumes (SPI, 2005).

Portanto, a partir da Figura 23 é possível ter uma ideia dos resíduos gerados por este setor a nível nacional. Contudo só 17 % do total nacional de empresas do setor se encontra nas sub-regiões em estudo (INE, 2012). Será esse então o valor referência para utilizar como base no cálculo dos resíduos disponíveis para esta zona.

2010 Unidade: t

Atividade económica	Agrupamentos de operações de gestão de resíduos								
	Total	Artigo 1	Artigo 2	Artigo 3a	Artigo 4	Artigo 5	Artigo 6	Artigo 7	Artigo 8
		Valorização energética	Eliminação por incineração	Operações de valorização com exclusão da valorização energética	Eliminação por deposição no solo	Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água	Operações preparatórias de eliminação	Outras operações de eliminação	Outras operações de valorização
Total geral	32 883 760	1 293 305	418 633	6 442 310	6 474 556	22 527	887 637	7 696 474	9 648 320
{01+02} Agricultura e floresta	186 062	118	94	162 681	1 847	212	253	548	20 309
{03} Pescas	6 940	0	50	2 058	1 706	0	19	3	3 105
{05 a 09} Indústrias extrativas	1 205 899	23	0	184 573	996 586	0	567	501	23 649
{10 a 12} Alimentação, bebidas e tabaco	807 928	67 931	10 443	241 860	52 293	11 108	12 323	27 589	384 382
{13 a 15} Têxteis e peles	1 691 424	383	76	414 973	951 530	208	13 229	70 971	240 053
{16} Madeira e cortiça	462 029	170 137	14	226 366	5 168	2 201	1 122	1 937	55 085

Figura 23 - Resíduos totais nacionais, a vermelho refere-se à indústria agroalimentar, e a verde à indústria piscícola-alimentar (EAmb, 2010).

Ou seja, a partir do valor referência de 17 % é possível criar a Tabela 39.

Tabela 39 - Quantidade de resíduos agroalimentares por operação de gestão.

Agrupamentos de operações de gestão de resíduos	Quantidade de resíduos em toneladas
Valorização energética	11.548
Eliminação por incineração	1.775
Operações de valorização com exclusão da valorização energética	41.116
Eliminação por deposição no solo	8.890
Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água	1.888
Operações preparatórias de eliminação	2.095
Outras operações de eliminação	4.690
Outras operações de valorização	65.344
TOTAL	137.346

Interpretando a Tabela 39 pode-se afirmar que uma grande percentagem dos resíduos já tem como destino a valorização, cerca de 86 %, sendo que a valorização energética apresenta um valor de 8,4 %. Restam portanto 14 % dos resíduos, identificados pelo sombreado, totalizando 19.338 t. A escolha das operações de gestão prende-se com os artigos enunciados no Anexo C.

Do valor em sobra das operações de valorização, é de esperar que nem todos os resíduos sejam passíveis de digestão, de modo que se procede à exclusão de 50 % do valor total, obtendo-se assim 9.669 t. Esta remoção de metade dos resíduos foi explicada na Secção 7.4.2.

De acordo com EPA (2012), a digestão de resíduos relacionados com a indústria agroalimentar, gera cerca de 243,5 m³/t de metano. Considerando que o biogás produzido contém 65 % de metano, a produção de biogás é de cerca de 374,6 m³/t. O valor de 65 % foi adotado por questões de coerência com aquele usado na pecuária. Com um total de resíduos anuais de 9.669 t, poder-se-á produzir cerca de 3.622.007 m³/ano. Utilizando a equação 6, pode-se obter a energia elétrica produzida e a partir da divisão deste valor pelo fator de carga de 3.781 h, obtém-se a potência a instalar.

Tabela 40 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência máxima a instalar; (*) Potencia a instalar para 3.781 h/ano.

	Energia elétrica anual (GWh)	Potência a instalar (*) (MWe)
Resíduos Agroalimentares	4,7	1,24

7.5.2 – Indústria piscícola-alimentar

O objetivo deste capítulo é avaliar o potencial energético dos resíduos do setor das pescas. Em Portugal todas as indústrias relacionadas com peixe enviam os seus resíduos para aterro, não existindo nenhum sistema de digestão anaeróbia.

O setor das pescas é um dos que mais cresceu nos últimos anos, atingindo uma produção anual de 142 milhões de toneladas em 2008, sendo que cerca de 81 % dessa produção é para consumo direto humano, e 15 % a ser utilizado pela indústria conserveira. As utilizações não alimentares, são o fabrico de farinhas animais e óleo para conservas. Apesar da literatura existente ser ainda pouca, o interesse neste setor é grande devido aos resultados promissores que têm sido encontrados (Carvalho *et al.*, 2010).

7.5.2.1 – Produção de biogás a partir dos resíduos disponíveis

Na Figura 23, dentro do retângulo verde, podem-se ver os resíduos nacionais do setor da pesca. Relativamente à agricultura e floresta e ao setor agroalimentar, é perceptível que a quantidade de resíduos produzidos é bastante inferior, o que por si só coloca um entrave no aproveitamento destes resíduos. Não sendo exceção o destino mais provável deste tipo de resíduos seria o aterro, mas o objetivo aqui é quantificar o potencial dos resíduos que de momento não são alvos de processos de valorização.

O setor das pescas nas sub-regiões tem um peso de 13 % no total nacional (INE, 2012), como consequência disso só será tida em conta essa percentagem de resíduos nacionais. Assim sendo, a Tabela 41 apresenta os valores relativos aos resíduos para as sub-regiões em estudo.

Tabela 41 - Operações de gestão dos resíduos do setor das pescas.

Agrupamentos de operações de gestão de resíduos	Quantidade de resíduos em toneladas
Valorização energética	0
Eliminação por incineração	6,5
Operações de valorização com exclusão da valorização energética	267,5
Eliminação por deposição no solo	222
Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água	0
Operações preparatórias de eliminação	2,5
Outras operações de eliminação	0,4
Outras operações de valorização	403,7
TOTAL	902,6

Da análise da Tabela 41, pode-se concluir que apesar de 74 % se destinarem a operações de valorização, nenhuma quantidade é destinada à valorização energética, ou seja é uma tecnologia ainda por aplicar no setor. O total de resíduos para eliminação é de 231,4 t, mas como já referido em anteriores capítulos, neste estudo só será tido em conta metade desses resíduos, pois nem todos poderão ser passíveis de digestão, ou seja só se trabalhará com 115,7 t, novamente esta remoção de 50 % é explicada na Secção 7.4.2.

De acordo com Carvalho *et al.*, (2010), serão utilizados para os cálculos os valores referentes às lamas de peixe.

Tabela 42 - Valores típicos para as lamas de peixe (Carvalho *et al.*, 2010).

	Conteúdo Total de Sólidos (TS) ou Matéria Seca (MS) (%)	Conteúdo de Sólidos Voláteis (SV) ou Matéria Orgânica (MO) (%)	Potencial de produção de metano por SV (m ³ /t)	Potencial de produção de biogás por SV (m ³ /t)
Lamas de peixe	34,6	32,4	712	1069

Da conjugação dos valores da Tabela 42 com a Equação 5, obtém-se o valor de produção de biogás anual, cerca de 13.865 m³/t. Utilizando este valor na Equação 6, e posteriormente utilizando um fator de carga de 3.781 h, os valores da produção elétrica anual e da potência máxima a instalar podem ser vistos na Tabela 43. O biogás aqui obtido tem uma

composição de aproximadamente 65 %, como o produzido anteriormente na pecuária e nos resíduos da indústria agroalimentar.

Tabela 43 - Potencial máximo de energia elétrica produzida a partir do biogás disponível e potência máxima a instalar; (*) Potencia a instalar para 3.781 h/ano.

	Energia elétrica anual (MWh)	Potência a instalar (kWe)
Piscícola-alimentar	17,9	4,73

Novamente se constata valores muito baixos para serem técnica e economicamente interessantes.

7.5.3 – Discussão de resultados

Relativamente ao biogás produzido a partir dos resíduos da indústria agroalimentar, pode-se obter um valor de 4,7 GWh para a energia elétrica produzida anualmente, e a potência máxima a instalar será de 1,24 MWe. Em relação ao setor piscícola alimentar a eletricidade produzida anualmente atinge os 17,9 MWh, e uma potência a instalar de 4,73 kWe. A diferença entre estes valores deve-se em grande parte às baixas quantidades de resíduos do setor das pescas, apesar destes apresentarem um bom potencial de produção de biogás.

Os valores obtidos são bastante baixos relativamente ao consumo elétrico nas sub-regiões em estudo, sendo que os resíduos da indústria agroalimentar, dariam para alimentar o consumo de uma pequena povoação de 1.108 habitantes. Já a eletricidade vinda do setor piscícola seria muito reduzida.

7.6 - Aterros (Resíduos Sólidos Urbanos)

Nesta seção o objetivo é quantificar se possível, o potencial não aproveitado de resíduos para valorização energética, através da digestão anaeróbia dos resíduos destinados a aterros.

Segundo as EAmb (2010), existem quatro tipos de destino dos resíduos urbanos, sendo eles o aterro, a valorização energética, a valorização orgânica e a valorização multimaterial. Os aterros serão aqui tratados preferencialmente, mas sem descurar que com a incineração dos resíduos, também é possível obter energia, embora com as condicionantes ambientais que o processo tem. Em relação aos aterros, é feito o aproveitamento do gás produzido que é captado por uma rede de drenagem criteriosamente instalada no aterro.

Em Portugal continental existem 23 sistemas de gestão de resíduos sólidos, cobrindo a totalidade do território. Estão divididos em 12 sistemas multimunicipais, e 11 intermunicipais.

Na sub-região em estudo e segundo INEGI/APREN (2012), existem 6 aterros ou centrais a biogás com uma potência instalada de 10,92 MW.

Existe ainda uma central de queima dos RSU com uma potência instalada de 26 MW. A Lipor II, como é denominada, tem capacidade para 400.000 t de resíduos anuais fazendo a valorização energética de cerca de 1.200 t/dia (Lipor, 2012), porém é uma central de incineração, que tem como principal objetivo a diminuição do volume de RSU. Os resíduos não processados nesta central são posteriormente depositados no aterro de Ermesinde. Existem 5 concelhos abrangidos pela sub-região em estudo que não fazem deslocar os seus resíduos para nenhum destes aterros, devido a empresa contratada ser outra, contudo os valores aqui tratados não terão esse fator em conta.

Tabela 44 - Explorações energéticas de RSU.

Designação	Potência instalada (MW)
Aterro Sanitário de Ermesinde	3,23
Aterro Sanitário de Sermonde	3,68
Central a biogás do Aterro Sanitário de Matosinhos	0,5
Aterro Sanitário de Valença	0,49
Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado	2,02
Aterro Sanitário do Braval	1
Lipor II	26

De acordo com dados de EAmb (2010), em Portugal foram produzidas 5.319.477 t de resíduos sólidos, sendo que na zona em estudo 1.161.678 t, distribuídos respetivamente por sub-região na Tabela 45.

Tabela 45 - Distribuição dos RSU por região NUTS III (EAmb, 2010).

Região	Quantidade de Resíduos Sólidos (t)
Minho-Lima	106.701
Cávado	178.348
Ave	201.317
Grande Porto	675.312
TOTAL	1.161.678

Em função dos destinos que os resíduos têm por operação de gestão em cada sub-região é possível apresentar a Tabela 46.

Tabela 46 - Distribuição dos resíduos por operação de gestão em função da sub-região no ano de 2010 (INE, 2012).

		Aterro	Valorização energética	Valorização orgânica	Reciclagem
Regiões	Minho-Lima	96.158	0	175	10.367
	Cávado	158.374	0	335	19.639
	Ave	98.796	0	81.645	20.875
	Grande Porto	198.842	366.090	44.082	66.299
	TOTAL	552.170	366.090	126.237	117.180

Analisando a Tabela 46, constata-se que só existe valorização energética no Grande Porto, sendo que equivale a 32 % do total de resíduos, uma parcela considerável. Relativamente às outras sub-regiões, o Ave tem uma forte componente de valorização orgânica dos resíduos, enquanto o Cávado e o Minho-Lima, para além de não explorarem a valorização energética, a sua componente de valorização orgânica também é muito reduzida, o que evidencia que os resíduos podem estar a ser mal encaminhados.

7.6.1 – Digestão anaeróbia

Contudo, o objetivo principal é quantificar o potencial energético dos resíduos depositados em aterro, comparativamente a introduzir um sistema de digestão anaeróbia antes do destino final aterro. Ou seja, no ano de 2010 foram destinados a aterro 552.170 t de resíduos. Considerando que cada tonelada de resíduos dará origem a aproximadamente 100 m³ de biogás (Pereira & Matos, 2003), verifica-se que anualmente serão produzidos cerca de 55 milhões de m³ de biogás.

Para os cálculos futuros serão tidos só em conta os resíduos destinados a aterro, embora dentro da valorização orgânica também possa existir digestão anaeróbia.

Admitindo que o biogás gerado tem uma composição de 55 % em metano, logo um poder calorífico de 20,76 MJ/m³ (0 °C, 1 atm), e considerando 1 TEP (tonelada equivalente de petróleo) igual a 41.860 MJ, tem-se que 1 m³ de biogás será igual a $4,96 \times 10^{-4}$ TEP. Admitindo-se uma densidade de 0,9 para o petróleo, e sendo que $4,96 \times 10^{-4}$ TEP é igual a 0,496 kg equivalentes de petróleo, pode-se afirmar que tal volume de biogás corresponde a um volume de 0,551 l de petróleo (Pereira & Matos, 2003).

Nas condições referidas no parágrafo anterior e segundo White *et al.*, (1996), a taxa de conversão em energia elétrica para o processo de digestão anaeróbia é de 173 kWh/t de RSU, em sistemas de cogeração onde o rendimento é de 87 %, dos quais 30 % corresponde à conversão em eletricidade, este valor é confirmado por medições em digestores à escala comercial.

Portanto das 552.170 t de resíduos destinados a aterro, se estas fossem alvo de digestão anaeróbia e em função do biogás gerado, poder-se-iam retirar 95,5 GWh anuais de energia elétrica aproximadamente, sendo que a potência a instalar varia consoante o fator de carga a considerar.

$$552.170 \text{ t/ano} \times 173 \text{ kWh} / \text{t} = 95.525.410 \text{ kWh/ano}$$

Para um fator de carga de 8.760 h por ano:

$$95.525.410 \text{ kWh ano} \div 8.760 \text{ h} = 10,9 \text{ MWe}$$

Para um fator de carga de 3.781 h por ano:

$$95.525.410 \text{ kWh ano} \div 3.781 \text{ h} = 25,3 \text{ MWe}$$

Para um fator de carga de 5.477 h por ano:

$$95.525.410 \text{ kWh ano} \div 5.477 \text{ h} = 17,4 \text{ MWe}$$

Não existindo a informação dos fatores de carga dos aterros presentes na Tabela 44, foi considerado para efeitos do estudo, três fatores de carga. As 8.760 h correspondem a 24 h diárias de funcionamento, e por uma questão de coerência foi utilizado também o fator carga de 3.781 h para o biogás, e o de 5.477 h para os RSU, fatores definidos na Secção 3.4.

7.6.2 – Gás produzido em aterro

Este subtema foi criado com o intuito de contabilizar o gás produzido em aterro. Como já referido anteriormente os aterros têm sistemas de captação do gás bastante sofisticados, mas que têm perdas inerentes ao seu modo muito particular de operação. Para quantificar o biogás produzido num aterro, utilizou-se o programa cedido pela EPA, de seu nome LandGEM.

O modelo de emissões de gás de aterro (LandGEM) é um instrumento que utiliza o Microsoft Excel, para uma estimativa automatizada das taxas de emissão de biogás, metano, dióxido de carbono, compostos orgânicos entre outros. O programa é de interação bastante simples e o seu modelo é baseado em dados empíricos dos aterros norte americanos. Como dados de entrada, podem ser identificados o nome do aterro, o ano de abertura e encerramento, ou uma opção para cálculo do ano de encerramento e capacidade do aterro (EPA, 2005).

Portanto para utilizar o programa referido é necessário definir o ano de abertura e de fecho do aterro, sendo estas as variáveis chave. Nas sub-regiões em estudo existem cerca de 7 aterros, e o método mais correto seria analisar cada um dos aterros, com as respetivas datas de abertura e fecho do aterro, e os resíduos relativos a cada ano. Contudo por uma questão de simplificação do processo, optou-se por reunir os resíduos destinados a aterro das 4 sub-regiões num só caso. Considerou-se a abertura do aterro em 2002 e o fecho em 2010. Na Tabela 47, é possível ver os resíduos destinados a aterro em cada ano.

Tabela 47 - Resíduos destinados a aterro em cada ano, tabela construída com base no Anexo D.

Período de referência	Resíduos destinados a aterro em toneladas
2010	552.170
2009	483.965
2008	517.343
2007	457.995
2006	501.299
2005	420.975
2004	436.217
2003	455.027
2002	536.607

Portanto serão os dados presentes na Tabela 47 que darão entrada no LandGEM. Correndo o programa pode-se constatar que a produção de biogás começa necessariamente no fim do primeiro ano, e vai aumentando consequentemente com o aumento de resíduos depositados até ao máximo identificado no ano após o fecho do aterro. Por definição neste programa, a percentagem de metano no biogás é de 50 %, mas para efeitos de comparação com o processo de digestão anaeróbia, considera-se uma percentagem de 55 %. Portanto na Tabela 48 será possível ver a quantidade de metano produzido até 2011, e o biogás produzido para quantidades 50 % e 55 % de metano.

Tabela 48 - Produção de biogás com base no metano produzido em aterro através de simulação em LandGEM.

Período de referência	Metano (m ³ /ano)	Biogás produzido para 50 % em metano (m ³ /ano)	Biogás produzido para 55 % em metano (m ³ /ano)
2002	0	0	0
2003	2.108.000	4.217.000	3.833.000
2004	3.813.000	7.627.000	6.933.000
2005	5.378.000	10.760.000	9.778.000
2006	6.821.000	13.640.000	12.402.000
2007	8.523.000	17.050.000	15.496.000
2008	9.988.000	19.980.000	18.160.000
2009	11.630.000	23.260.000	21.145.000
2010	13.070.000	26.150.000	23.764.000
2011	14.730.000	29.460.000	26.782.000

Com base em White *et al.*, (1996), para um rendimento elétrico de 30 %, cada m³ de biogás com 55 % em metano permite uma recuperação energética de 1,5 kWh. Portanto a partir da Tabela 48, é possível elaborar a Tabela 49, onde se podem ver as potências a instalar para cada fator de carga, e a energia anualmente produzida.

Tabela 49 - Valores para a potência obtida em cada ano; 1) fator de carga de 8.760 h; 2) fator de carga de 3.781 h; 3) fator de carga de 5.477 h.

Período de referência	Biogás produzido para 55 % em metano (m ³ /ano)	Potência disponível (MWe) ¹	Potência disponível (MWe) ²	Potência disponível (MWe) ³	Energia elétrica anual (GWh)
2002	0	0	0	0	0
2003	3.833.000	0,7	1,5	1	5,7
2004	6.933.000	1,2	2,8	1,9	10,4
2005	9.778.000	1,7	3,9	2,7	14,7
2006	12.402.000	2,1	4,9	3,4	18,6
2007	15.496.000	2,6	6,1	4,2	23,2
2008	18.160.000	3,1	7,2	5	27,2
2009	21.145.000	3,6	8,4	5,8	31,7
2010	23.764.000	4,1	9,4	6,5	35,6
2011	26.782.000	4,6	10,6	7,3	40,1

7.6.3 – Discussão de resultados

A primeira conclusão a tirar é que só a central Lipor II que utiliza a incineração como processo de conversão energético, segundo a Tabela 46, só fez a valorização de 366.090, sendo que apresenta uma capacidade de 400.000 t, seria possível ainda queimar 33.910 t.

Para a quantificação do biogás que poderá ser produzido em aterro fez-se uso do programa LangGEM, que necessita de dados de vários anos consecutivos, o que leva há produção contínua e acumulada de metano e que leva em consideração a deposição dos resíduos ao longo desses anos.

Tabela 50 - Comparação entre o processo de digestão anaeróbia e o gás captado em aterro, em função das potências a instalar para cada fator de carga.

Processo	Potência máxima disponível para 8.760 h (MWe)	Potência máxima disponível para 3.781 h (MWe)	Potência máxima disponível para 5.477 h (MWe)
Digestão anaeróbia	10,9	25,3	17,4
Gás captado em aterro	4,6	10,6	7,3

O objetivo do trabalho era comparar o processo de digestão anaeróbia com o gás captado em aterro diretamente, e como se pode constatar pelos resultados o processo de digestão anaeróbia é bastante mais promissor. Comparativamente, através da digestão anaeróbia das 552.170 t pode ser obtido 95,5 GWh de eletricidade anual enquanto que através do gás captado em aterro só é possível a produção de 40,1 GWh, o que corresponde apenas a 42 %, do valor obtido através de digestão anaeróbia.

Da análise dos resultados pode-se afirmar que o processo de digestão anaeróbia consegue obter valores mais promissores, sendo que este tipo de instalação nos últimos anos tem vindo a aumentar na Europa (Reichert, 2005).

8 – Curtumes

Já foi anteriormente feita uma introdução ao sector dos curtumes, contudo neste capítulo além de se voltar a falar em processos produtivos, fala-se dos possíveis aproveitamentos de resíduos desta indústria.

Segundo INE (2012) a grande maioria das empresas do setor encontram-se na região de Santarém, sendo que apenas 20 % se localizam nas sub-regiões em estudo.

Com base em INETI (2000), pode-se afirmar que este setor gera bastantes resíduos e de diversos tipos, se bem que muitas empresas com a otimização dos seus processos têm vindo a reduzir os consumos de água e resíduos gerados. Para o tratamento das águas residuais e deposição dos resíduos, em Portugal, existe um único centro situado em Alcanena, para onde vão os resíduos da zona de Santarém. Portanto para as restantes zonas, e neste caso para as sub-regiões em estudo, fica a faltar um local para onde possam ser enviados os resíduos, já que os custos de transporte para Alcanena, ou para o exterior do país são bastante elevados. Para tal as empresas ou constroem as suas próprias instalações de tratamento, ou descarregam diretamente os efluentes sem qualquer tratamento em terrenos ou no sistema de saneamento. Devido a esta situação, muitas empresas do setor estão a optar por alimentar o processo apenas com peles já curtidas, evitando assim o exagerado consumo de água e os elevados resíduos formados.

Como utilizações dos resíduos identificam-se os fertilizantes. Os resíduos ricos em gordura (carnazes e aparas) são usados no fabrico de gelatinas, colas, gel, pomadas, produtos farmacêuticos e rações, sendo que em Portugal não existem indústrias a explorar estes produtos. Em Portugal ainda só existe uma empresa ligada à recuperação destes resíduos, que recupera algumas raspas com crómio, transformando-as num aglomerado utilizado em palmilhas.

Para além dos destinos possíveis a dar aos resíduos referidos anteriormente, dever-se-á ter ainda em consideração a valorização energética. Uma das técnicas a usar nesta valorização energética seria a incineração que não é praticada em Portugal, e a outra é denominada conversão a baixas temperaturas (LTC) (CETESB, 2005).

Dados nacionais, referentes a 1996 (INETI, 2000), indicam um total de resíduos de 75.000 t/ano, dos quais apenas 11 t são resíduos perigosos. Daquele montante a quantidade anual gerada de resíduos sólidos orgânicos atinge cerca de 41.000 t/ano, das quais 21.000 t são resíduos sólidos orgânicos sem crómio e 20.000 t são resíduos sólidos orgânicos com crómio. Relativamente às sub-regiões em estudo e como referido anteriormente, apenas 20 % da indústria é tida em conta nos cálculos. O que dá um total de 15.000 t/ano de resíduos,

sendo desses 8.200 t/ano de resíduos sólidos orgânicos. Tendo em atenção que a nível nacional, só existe uma estação de tratamento específica para estes resíduos e essa estação não contemplar a zona aqui em estudo e para além disso não existirem indústrias com expressão na recuperação destes resíduos, pode-se dizer que todos eles podem ser direcionados para a valorização energética.

Contudo neste trabalho só serão tido em conta para avaliação do respetivo potencial energético os resíduos sólidos orgânicos sem crómio, por questões relativas ao seu teor poluente. O crómio pode provocar no ser humano vários problemas, como alergias ou até cancro (FFUP, 2012). Portanto só serão tidos em conta cerca de 4.200 t/ano de resíduos.

8.1 - Cálculo do potencial energético

8.1.1 – Gaseificação

Estudos indicam que através da gaseificação de resíduos do setor dos curtumes, num gaseificador de leito fixo, processando 50 kg/h pode-se obter cerca de 120 m³/h de gás combustível (0 °C e 1 atm). Esse gás obtido tem um poder calorífico de 5 MJ/m³ (Godinho, 2006).

Seguindo então o método de Godinho (2006), para as 4.200 t/ano e com um fator de carga de 8.760 h/ano, correspondendo a 24 h diárias, a potência a instalar com um rendimento de conversão de 25 %, é de 0,4 MWe (cálculos no Anexo E). Portanto a produção anual de energia elétrica é de cerca de 3,5 GWh. Por uma questão de coerência foi também usado um fator de carga de 3.781 h, o que resulta numa potência a instalar de 0,93 MWe.

8.1.2 - Digestão anaeróbia

Com base em Zupancic (2010), cada tipo de resíduo do setor dos curtumes é suscetível de gerar diferentes quantidades de metano. Portanto para as lamas residuais, o potencial é de 0,535 m³/kg, 0,308 m³/kg para as aparas e 0,649 m³/kg para restos de resíduos de carne. Para o desenvolvimento do estudo também foi tido em conta a proporção de cada tipo de resíduos na carga do digestor, ou seja, 50 % eram lamas residuais, 40 % resíduos de carne e 10 % aparas.

Como tal a potência a instalar é de 0,42 MWe para um fator de carga de 8.760 h anuais, sendo o rendimento de conversão elétrico de 25 %, os cálculos estão indicados no Anexo E, o que equivale a dizer que a energia elétrica produzida é de 3,7 GWh. Como referido na gaseificação foi utilizado outro fator de carga, o de 3.781 h, o que resulta numa potência a instalar de 0,97 MWe.

8.2 - Discussão de resultados

Relativamente aos resultados do setor dos curtumes, pode-se concluir que o processo de digestão anaeróbia revelou resultados ligeiramente mais promissores, mas nada de muito significativo. Em termos de abastecimento da população, só seria possível abastecer cerca 873 pessoas, o que indica que o processo deveria ser adaptado a uma empresa do setor, obtendo assim um método de tratamento dos resíduos, de produção de energia elétrica para consumo próprio e possivelmente para venda à rede do excedente.

9 - Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Os objetivos governamentais de aumentar a contribuição de energias endógenas para o balanço energético nacional, e a diminuição da dependência energética exterior estão a ser reconhecidamente cumpridos. Ao longo dos últimos anos Portugal tem-se afirmado como um país na vanguarda das energias renováveis, com o desenvolvimento de grandes parques eólicos, e centrais hidroelétricas. Para comprovar isso, no período 2005 a 2011 a dependência energética do exterior desceu mais de 10 %, em finais de 2011 Portugal já apresentava um contributo de 43,7 % de produção elétrica com fonte em energias renováveis. Mas o crescimento não pode parar, e se existem setores onde já se esgotou praticamente o potencial de aproveitamento, existem outros que ainda possuem uma larga margem de evolução, e nesse caso estão os biocombustíveis. Estes têm um potencial energético elevado, e diferentes opções de utilização, devem ser obtidos a partir da recuperação de matéria residual e não por opção face à produção de alimentos ou outro tipo de bem essencial, pois nesse caso criariam um problema de âmbito social.

Em Portugal, a área florestal ocupada é de 39 % do território nacional, o que evidencia um grande potencial de recursos, não só em termos de biomassa florestal, mas em termos turísticos e de atividades relacionadas com a floresta, a sua exploração e conveniente gestão contribuiria decisivamente para as pequenas economias locais.

Com o crescimento da população e o aumento do nível de vida, os resíduos gerados também aumentam, o que leva à necessidade de opções de tratamento e valorização. O presente estudo centra-se nesta questão, a valorização energética dos resíduos. Existem diversos tipos de resíduos que não são alvo de tratamento, ou que dificilmente encontram um local de depósito adequado. Antes de se colocar a possibilidade de valorização, é necessário promover alternativas ecologicamente positivas como a reutilização e reciclagem dos resíduos. Não existindo outra opção e se esses resíduos forem digeríveis, poderá feito o aproveitamento energético através da digestão anaeróbia, que além de gerar biogás, convertível em energia elétrica, produz ainda matéria orgânica com possibilidade de uso como adubo.

9.1 - Relativamente à biomassa florestal

Os resultados para a potência e energia elétrica produzida a partir da biomassa florestal são apresentados na Tabela 51.

Tabela 51 - Energia elétrica produzida e potência a instalar.

Tipo de recurso	Energia elétrica anual (GWh)	Potência a instalar (MWe)
Biomassa florestal	36	5

Relativamente aos resultados obtidos pode-se afirmar, que o potencial energético relativo à biomassa florestal é bastante reduzido, visto que cerca de 36 GWh só dariam para abastecer cerca de 8.489 pessoas. Para além desta conclusão imediata, é necessário referir que não foram tidas em conta as regiões pertencentes à rede NATURA 2000, o que implicaria um cálculo muito mais preciso, e que faria baixar certamente o valor.

Em jeito de comparação com a primeira central de biomassa do país situada em Mortágua com uma produção em 2006 de 63 GWh de eletricidade com um consumo de biomassa de 109.000 t, pode-se afirmar que esta zona não possui resíduos anuais suficientes para alimentar uma central deste tamanho. Apesar de estarem em projeto 2 centrais de biomassa dentro da zona em estudo, uma em Gondomar com uma potência instalada de 13,5 MWe, e outra em Cabeceiras de Basto com uma potência instalada de 10,2 MWe, pelos cálculos aqui efetuados não seria conveniente a sua construção, embora os seus raios económicos de coleta contemplem outras regiões. Ainda relativamente às centrais de biomassa refira-se que foi recentemente construída uma no concelho de Oliveira de Azeméis com uma potência instalada de 10,5 MWe, embora esta central não esteja dentro da área em estudo, o seu raio económico de coleta entra dentro desta área.

A potência a instalar nesta central seria de 5 MWe, o que corresponde a uma pequena instalação, mas embora seja possível a instalação dessa central é de ter em conta, o raio económico de coleta, e não sendo esta região muito extensa, seria bom fazer-se um estudo para perceber qual o local que é mais central no que toca aos resíduos florestais. Outra das possibilidades, ainda que bastante controversa, seria criar culturas específicas para produção de madeira para utilização na central.

Do estudo complementar realizado, o objetivo era perceber a possibilidade em converter florestas destinadas à indústria da pasta e do papel e à indústria da construção, em áreas destinadas à valorização energética. Mas como foi possível perceber este tipo de indústria tem mantido uma produção estável nos últimos anos, apesar das exportações terem diminuído ligeiramente. O que subentende que as florestas a tal destinadas, não devem ter outro tipo de uso.

9.2 – Relativamente à produção de biogás

A compilação dos resultados de todos os setores estudados exceto os aterros, pode ser encontrado na Tabela 52.

Tabela 52 - Compilação dos resultados obtidos para a produção de energia elétrica e potência a instalar em função de cada setor.

Setor	Energia elétrica anual	Potência a instalar
Pecuária	29 GWh	7,63 MWe
Resíduos agrícolas	6 MWh	1,59 kWe
Indústria agroalimentar	4,7 GWh	1,24 MWe
Indústria piscícola-alimentar	17,9 MWh	4,73 kWe

Analisando a Tabela 52, pode-se concluir que os resultados são bastante diferentes e para isso contribui decisivamente as quantidades de resíduos produzidos.

Relativamente à pecuária a energia elétrica produzida daria para alimentar cerca de 6.838 pessoas, o que se revela bastante reduzido. Por se utilizar um fator de carga de 3.781 h (Secção 3.4) a potência a instalar será de 7,63 MWe. O não conhecimento da distribuição das explorações pelo espaço geográfico condiciona a possibilidade de fazer uma grande instalação desse género, ou seja para a instalação de uma central seria necessário elaborar um estudo aprofundado com base na distribuição de explorações pecuárias, e no seu tamanho real, para se perceber onde a concentração de efluentes pecuários é maior. A exploração com mais relevo para os valores aqui analisados é a bovinicultura, que contribui com 87 % para a energia elétrica produzida.

O setor agrícola representa uma grande área na zona em estudo, cerca de 26 % da área total. As culturas mais representativas são as culturas de cereais para grão e os prados temporários e culturas forrageiras. O valor obtido para a produção de energia elétrica anual a partir dos resíduos agrícolas é bastante reduzido, cerca de 6 MWh, este valor é essencialmente resultante da baixa quantidade de resíduos.

Existem estudos que permitem afirmar que o rendimento do processo de digestão anaeróbia melhora através da mistura de resíduos agrícolas com chorumes da pecuária, sendo esta uma das soluções para explorações que reúnam os dois tipos. Outra das soluções que se podem encontrar para que este processo seja o mais viável possível é a agremiação de produtores de uma determinada área geográfica numa cooperativa, com o objetivo de reunirem todos os seus excedentes e produzirem eletricidade. Esta opção é uma ideia a ter em conta para futuros trabalhos, devido à venda da eletricidade à rede, será possível baixar custos, e aproveitar a matéria orgânica para adubar as terras, poupando também assim em fertilizantes.

A indústria agroalimentar das sub-regiões em estudo tem um peso de 17 %, no total nacional, através dos seus resíduos é possível gerar cerca de 4,7 GWh de energia elétrica anual. Aqui a solução seria instalar uma central de digestão anaeróbia num centro industrial para que essa energia servisse para abastecimento próprio. Contudo, não existe a informação da distribuição deste tipo de indústria sendo que seria necessário um estudo futuro para definir se seria viável, e o local adequado para construção dessa instalação.

Relativamente à indústria piscícola-alimentar, é de salientar que os seus resíduos têm um grande potencial de produção de biogás através da digestão anaeróbia, contudo a baixa

quantidade de resíduos faz com que a produção de energia elétrica anual seja residual, cerca de 17,9 MWh. Outro dos fatores condicionantes ao estudo deste setor é a dispersão das indústrias ligadas à pesca, com dois grandes polos, Matosinhos e Viana do Castelo.

Os aterros foram aqui analisados para perceber se o método de digestão anaeróbia seria mais proveitoso que a deposição direta em aterro, o que se veio a revelar verdade, pois a energia produzida é superior a partir da digestão em cerca de 58 %.

9.3 – O setor dos curtumes

O setor dos curtumes gera grande quantidade de resíduos, muitos deles ricos em crómio, cancerígena para o humano, sendo que em Portugal só uma central está habilitada a tratar deste tipo de resíduo, situando em Alcanena, bastante longe da zona em estudo. É então necessário encontrar destinos ecologicamente viáveis para este tipo de resíduos, apesar de neste trabalho só se ter em conta os resíduos sem crómio, é evidente que o potencial energético destes é significativo, tanto através da digestão anaeróbia, como da gaseificação. Neste caso foram utilizados dois fatores de carga o primeiro de 8.760 h, e 3.781 h adotado para todos os estudos que envolveram digestão anaeróbia neste trabalho. Os valores obtidos para os dois processos foram bastante idênticos portanto, as razões de uma escolha têm de ser discutidos com base em fatores económicos.

9.4 – Considerações gerais

Em suma, avaliando todos os valores obtidos pode-se afirmar que a biomassa nas sub-regiões em estudo não tem um papel decisivo, sendo que seria necessária uma avaliação mais profunda. Ou seja, cada caso é um caso, mas se existisse uma grande exploração ou indústria relativa a um destes setores em estudo, seria natural que fosse construída uma instalação particular para a produção de eletricidade desde que avaliando todos os fatores se constatasse que tal seria viável. Outra das possibilidades seria instalar biodigestores à escala rural, em que cada exploração pudesse tirar partido dos seus benefícios.

Outra das considerações seria elaborar um projeto-piloto que juntasse a pecuária e a agricultura, podendo assim avaliar as espécies mais representativas, contabilizando os seus resíduos gerados e o seu potencial energético.

Como trabalho futuro seria interessante fazer-se um levantamento exaustivo das explorações agropecuárias, e dos seus efetivos. Dever-se-ia fazer também um levantamento das indústrias de cada setor, e dos resíduos gerados com possibilidade de valorização energética, pois só assim se poderia ter a ideia real do que a biomassa representa ou não para o setor energético regional.

Referências e Bibliografia

- AD Nett, 2005. *The european Anaerobic Digestion Network*, <http://www.adnett.org>, consultado a 20/05/2012.
- AEBIOM, 2009. *A biogás road map for Europe*. Bruxelas
- AICEP, 2012. *Portugal - Ficha do País*. <http://www.portugalglobal.pt/PT/Paginas/home.aspx>, consultado a 20/03/2012.
- Amaral, C.M.C., Amaral, L.A., Júnior, J.L., Nascimento, A.A., Ferreira, D.S., Machado, M.R.F., 2004. *Bio digestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica*. Ciência Rural. Santa Catarina.
- Ananias, E. A., Pacca, S. A., 2009. *Técnicas Ambientais para Curtumes e sua Adequação como Projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*. São Paulo.
- Belgiorno, V., De Feo, G., Della Rocca, C., Napoli, R.M.A. 2003. *Energy from gasification of solid wastes*. University of Salerno. Italy
- BP, 2012. *BP Statistical Review of World Energy June 2012*.
- Campbell, C. J., 2002. *Forecasting Global Oil Supply 2000-2050*. M. King Hubbert Center for Petroleum Supply Studies.
- Carvalho, L., Di Berardino, S., Duarte, E., 2010. *Anaerobic Digestion of a fish processing industry sludge*. 15th European Biosolids and Organic Resources Conference.
- CCE, 2005. *Plano de ação Biomassa*. Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas
- CE, 2004. *Bioenergia: manual sobre tecnologias, projectos e instalação*.
- CEPA, 2008. *Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Wastes*. California Environment Protection Agency.
- CETESB, 2005. *Curtumes*. São Paulo.
- Coelho, S.T., 2002. *Biogás originado a partir dos rejeitos rurais*. Universidade de São Paulo.
- Deleo e Oliveira, Rafael., 2009. *Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono*. Trabalho de conclusão de curso. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.
- Dermibas, A. 2008. *Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections*. Turkey.

- DGEG, 2011. *Balanço energético sintético 2011*. Direção Geral de Energia e Geologia.
- DGEG, 2012. *Renováveis: Estatísticas rápidas Fevereiro/Março 2012*. Direção Geral de Energia e Geologia.
- Di Berardino, S. E., 2011. *Implementação de sistemas de Bioenergia: integração dos resíduos com a agricultura*. LNEG. Lisboa.
- Domingues, L., Lima, N., Teixeira, J.A., 1999. *Novas metodologias para a fermentação alcoólica do soro de queijo*. Universidade do Minho.
- DR, 2010. *Diário da República, 1.ª série — N.º 73 — 15 de Abril de 2010*.
- DRAPC, 2012. *Desenvolvimento Rural: Resíduos Agrícolas*. Direção Regional de Agricultura e Pescas da Região Centro.
http://www.drapc.minagricultura.pt/drapc/servicos/desenvolvimento/ra_gestao.htm, consultado a 20/05/2012.
- EA, 2010. *Estatísticas Agrícolas 2010*. Instituto Nacional de Estatística.
- EAmb, 2010. *Estatísticas do Ambiente*. Instituto Nacional de Estatística.
- EDP, 2012. *Composição dos Preços da Eletricidade*.
<http://www.edp.pt/pt/empresas/precolivre/Pages/ComposicaoDosPrecosDeEletricidade.aspx>, consultado em 15/06/2012.
- EEA, 2006. *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?* Copenhagen.
- ENERSILVA, 2004/2007. *Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa*.
- EPA, 2005. *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Environmental Protection Agency.
- EPA, 2011. *Anaerobic Digesters*. <http://www.epa.gov/agstar/anaerobic/ad101/anaerobic-digesters.html>, consultado a 28/05/2012.
- EPA, 2012. *EBMUD's Study on Anaerobically Digesting Food Waste*.
<http://www.epa.gov/region9/waste/features/foodtoenergy/ebmud-study.html>, consultado a 11/06/2012.
- EPE, 2008. *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS*. Empresa de pesquisa energética. Rio de Janeiro.
- ER, 2012. *Atualidade: biocombustíveis gasosos*,
http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=71&ID_area=2&ID_sub_area=3, consultado a 20/05/2012.
- ER, 2012a. *Conversão: biomassa sólida*.
http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=2&ID_area=2&ID_sub_area=2, consultado a 15/03/2012.
- ERSE, 2008. *Nota explicativa da informação sobre produção em regime especial*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.
- ERSE, 2012. *Informação sobre produção em regime especial (PRE) para Portugal Continental*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/factosenumeros/Documents/SIPREinfoJan12.pdf>, consultado a 15/06/2012.

- ES, Energigas Sverige, 2007. *Biogas*. Basic Data on Biogas. Sweden.
- EU, 2012. *Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas*. <http://europa.eu> consultado a 13/06/2012.
- Exxon, 2009. *Panorama Energético, Perspetiva para 2030*. http://www.exxonmobil.com/Corporate/Files/news_pub_eo_2009_portuguese.pdf, consultado a 05/06/2012.
- Fernandes, C. 2012. *Digestão Anaeróbia*, <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/DigeAnae.html>, consultado a 20/05/2012.
- Fernandes, U. & Costa, M., 2010. *Potencial of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal*. *Biomass & Bioenergy*.
- FEUP, 2012. *As renováveis e os preços*. http://paginas.fe.up.pt/~deecsite/index.php?option=com_k2&view=item&id=47:as-renov%C3%A1veis-e-os-pre%C3%A7os&Itemid=53, consultado a 15/06/2012.
- FFUP, 2012. *O crómio como elemento essencial*, http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0405/cromio/Toxicologia_ficheiros/page0008.htm, consultado a 26/05/2012.
- FIPA, 2007. *Distinção entre subproduto e resíduo é crucial para o setor*. Boletim Informativo da Federação das Indústrias Portuguesas AgroAlimentares.
- Fleming, R., MacAlpine, M., Todd, J., 2009. *Potencial for Anaerobic Digestion of Crop Residues*. Canadá.
- FORESTIS, 2008. *Aproveitamento da biomassa florestal: a visão dos proprietários*. Associação Florestal de Portugal.
- Gan, J., Mayfield, C., 2007. *The Economics of Forest Biomass Production and Use*. <http://www.forestbioenergy.net/training-materials/fact-sheets/module-6-fact-sheets/fact-sheet-6-2-the-economics-of-forest-biomass-production-and-use>, consultado a 15/06/2012.
- Godinho, M. 2006. *Gaseificação e Combustão de Resíduos Sólidos da Indústria Calçadista*. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- IEA, 2011. *Key world energy statistics*. Paris. IEA.
- IEA, 2011a. *IEA statistics: energy balances of OECD countries*. Paris. IEA.
- IFN, 2011. *5º Inventário Florestal Nacional*. Autoridade Florestal Nacional.
- INE, 1994. *Tecido Empresarial da Região Norte*. Instituto Nacional de Estatísticas.
- INE, 1999. *Recenseamento Geral da Agricultura 1999*. Instituto Nacional de Estatísticas.
- INE, 2009. *Recenseamento Geral da Agricultura 2009*. Instituto Nacional de Estatísticas.
- INE, 2012. *Instituto Nacional de Estatísticas*. <http://www.ine.pt>.
- INEGI/APREN, 2012. *Energias Endógenas de Portugal*, <http://e2p.inegi.up.pt/index.asp>, consultado a 18/05/2012.
- INETI, 2000. *Setor dos Curtumes*. Guia técnico. Lisboa

- IO, 2012. *Incineração online*. <http://www.incineracao.online.pt/>, consultado a 28/05/2012.
- Khan, A.A., de Jong, W., Jansens, P.J., Spliethoff, H., 2008. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies.
- Lehtomäki, A., 2006. *Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues*. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 163.
- Lipor, 2012.
http://www.lipor.pt/upload/Lipor/ficheiros/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_CSR_Jose%20Paulo_Port%27Ambiente.pdf, consultado a 15/05/2012.
- Lourenço, M. E. V., Januário, M. I. N., 2012. *Culturas energéticas e Desenvolvimento Rural*. www.ela.uevora.pt/download, consultado a 12/06/2012.
- MADRP, 2005. *Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas*. Ministério da agricultura, do desenvolvimento rural e das pescas.
- Mateus, T. 2009. *A suinicultura e a fermentação anaeróbica: o potencial energético do biogás através de efluentes da agropecuária*. Artigo Mestrado. FEUP.
- Mateus, T. 2009a. *O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centrais termoelétricas a biomassa florestal lançadas a concurso*. Artigo Mestrado. FEUP.
- Mitzlatf, K. V., 1988. *Energies for biogás*. GTZ-Gate
- NE, 2007. *Planting and Growing Miscanthus*.
http://www.naturalengland.org.uk/Images/miscanthus-guide_tcm6-4263.pdf, consultado a 12/06/2012.
- Nieva, D.J.V., Amoedo, R.D., Torres, L.O., 2010. *Manual de Cultivos Energéticos*. Universidad de Vigo.
- Núñez-Regueira, L., Rodríguez-Añón, J. A., Proupín-Castiñeiras, J., Núñez-Fernández, O., 2001. *Calculation of forest biomass indices as tool to fight forest fires*. Santiago de Compostela.
- ODOE, 2009. *ODOE: bioenergy in Oregon*,
<http://www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/BiomassHome.shtml>, consultado a 28/05/2012.
- OECD, 2010. *Bioheat, biopower and biogás: developments and implications for agriculture*.
- OECD/IEA, 2007. *Biomass for Power Generation and CHP*.
www.iea.org/Textbase/techno/essentials.htm, consultado a 28/05/2012.
- Oliveira, L.R.P., 2005. *Biodigestor*. Seminários Técnicos de Suinocultura. Goiás.
- Pereira, F.J.M.A., Matos, M.A.A., 2003. *Operações de tratamento biológico II. Biometanização*. Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.
- Pinho, C.M.C.T., 2011. *Gestão de Energia Térmica*. Departamento de Engenharia Mecânica. FEUP.

- PNAER, 2010. *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis ao Abrigo da Diretiva 2009/28/CE*. Versão para consulta pública 2 Junho de 2010. República Portuguesa.
- Quaak, P., Knoef, H. & Stassen, H., 1999. *Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies*. Washington, D.C.: The World Bank.
- RA, 2009. *Recenseamento Agrícola 2009*. Instituto Nacional de Estatística.
- REAP, 2007. *Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide*. Resource Efficient Agricultural Production. Canada.
- Reichert, G. A., 2005. *Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: uma revisão*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- REN, 2011. *Dados Técnicos 2011*. Rede Elétrica Nacional.
- Sobral, J. L., 2011. *Avaliação do Potencial Energético da Biomassa da Região Dão-Lafões*. Tese de Mestrado. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- SPI, 2005. *Gestão de Resíduos Orgânicos*. Sociedade Portuguesa de Inovação. Porto
- Teixeira, J.F., 2011. *Dimensionamento de uma lareira com recuperador de calor*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Teixeira, L. M. A., 2009. *Opções de utilização da biomassa florestal no contexto energético de Portugal*. Tese de Mestrado. FEUP.
- TSEC, 2012. *Plant Crops Bioenergy Research UK: Reed Canarygrass*. <http://www.tsec-biosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=6>, consultado a 12/06/2012.
- Viana, H., Cohen, W.B., Lopes, D., Aranha, J., 2009. *Assessement of forest biomass for use as energy. Gis-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal*. Elsevier.
- Vos, John. 2005. *Biomass Energy for Heating and Hot Water Supply in Belarus*. University of Twente
- WEC, 2003. *Drivers of the Energy Scene: A Report of the World Energy Council*. World Energy Council.
- Werner, U., Stöhr, U. & Hees, N., 1989. *Biogas plants in animal husbandry*. GTZ-Gate.
- Werther, J., Saenger, M., Hartge, E.-U., Ogada, T., Siagi, Z., 2000. *Combustion of agricultural residues*. Germany.
- White, P., Franke, M., Hindle, P., 1996. *Integrated solid waste management. A Life Cycle Inventory*. Blackie Academic & Professional.
- Zanette, A.L., 2009. *Potencial de aproveitamento do biogás no Brasil*. Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Zupancic, G. D., Jemec, A., 2010. *Anaerobic digestion of tannery waste: Semi-continuous and anaerobic sequencing batch reactor processes*. Slovenia.

ANEXO A: Efetivo animal por sub-região

Na Tabela 53, pode ser observado o efetivo animal por sub-região e espécie, utilizado na elaboração da Tabela 31.

Tabela 53 - Efetivo animal por sub-região e espécie (INE, 2012).

Sub-região	Espécies		
	Bovinos	Suínos	Aves
Minho-Lima	28.345	5.089	508.733
Cávado	73.384	9.189	570.432
Ave	41.881	15.268	821.221
Grande Porto	71.720	4.151	189.699

ANEXO B: Tabelas de ocupação do solo por cada sub-região

A Tabela 54 diz respeito ao tipo e áreas de ocupação do solo por cada sub-região, é útil para a elaboração das percentagens de área florestal ou de uso agrícola.

Tabela 54 - Tipos e áreas de ocupação do solo por sub-região (IFN, 2011).

Sub-região	Tipos de uso do solo (ha)				
	Floresta	Matos	Águas interiores	Agriculturas	Outros usos
Minho-Lima	68.486	87.802	3.032	49.581	12.931
Cávado	40.825	29.516	1.500	39.785	12.954
Ave	44.412	47.1787	700	37.235	15.607
Grande Porto	29.303	9.689	1.505	28.977	32.786

ANEXO C: Operações de gestão de resíduos

Os artigos têm por base o Regulamento (UE) nº 849/2010 da comissão de 27 de Setembro de 2010 que altera o Regulamento (CE) nº 2150/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo às estatísticas de resíduos.

Total de operações de valorização

Artigo 1 – Valorização energética:

R1 – Utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia.

Artigo 3a – Operações de valorização com exclusão da valorização energética:

R2 – Recuperação/regeneração de solventes;

R3 – Reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes;

R4 – Reciclagem/recuperação de metais e compostos metálicos;

R5 – Reciclagem/recuperação de outros materiais inorgânicos;

R6 – Regeneração de ácidos ou bases;

R7 – Valorização de componentes utilizados na redução da poluição;

R8 – Valorização de componentes de catalisadores;

R9 – Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos;

R10 – Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental;

R11 – Utilização de resíduos obtidos a partir de qualquer uma das operações enumeradas de R1 a R10.

Artigo 8 – Outras operações de valorização:

R12 – Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R1 a R11;

R13 – Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R1 a R12.

Total de operações de eliminação

Artigo 2 – Eliminação por incineração:

D10 – Incineração em terra.

Artigo 4 – Eliminação por deposição no solo:

D1 – Depósito no solo, em profundidade ou à superfície;

D5 – Depósitos subterrâneos especialmente concebidos;

D12 – Armazenamento permanente.

Artigo 5 – Eliminação por tratamento em terra ou descarga em massas de água:

D2 – Tratamento no solo;

D3 – Injeção em profundidade;

D4 – Lagunagem;

D6 – Descarga para massas de água, com exceção dos mares e dos oceanos;

D7 – Descarga para os mares e/ou oceanos, incluindo inserção nos fundos marinhos.

Artigo 6 – Operações preparatórias de eliminação:

D8 – Tratamento biológico não especificado em qualquer outra operação, que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer uma das operações enumeradas de D1 a D12;

D9 – Tratamento físico-químico, não especificado em qualquer outra operação, que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer uma das operações enumeradas de D1 a D12.

Artigo 7 – Outras operações de eliminação:

D11 – Incineração no mar;

D13 – Mistura anterior à execução de uma das operações enumeradas de D1 a D12;

D14 – Reembalagem anterior a uma das operações enumeradas de D1 a D13;

D15 – Armazenamento antes de uma das operações enumeradas de D1 a D14.

ANEXO D: Resíduos para utilização no software Landgem

Dados recolhidos em INE (2012), que contemplam cada sub-região, e com um período de referência que vai de 2002 a 2010 sobre o total de resíduos recolhidos.

Tabela 55 - Resíduos recolhidos por localização e ano (INE, 2012).

Período de referência	Localização	Resíduos recolhidos por localização geográfica em toneladas	
		Total	Aterro
2010	Minho-Lima	106.701	96.158
	Cávado	178.348	158.374
	Ave	201.317	98.796
	Grande Porto	675.312	198.842
2009	Minho-Lima	110.328	91.210
	Cávado	185.107	157.994
	Ave	205.971	54.335
	Grande Porto	676.364	180.426
2008	Minho-Lima	108.296	90.746
	Cávado	185.701	161.215
	Ave	200.893	65.756
	Grande Porto	685.492	199.626
2007	Minho-Lima	95.363	87.947
	Cávado	171.792	157.011
	Ave	197.289	62.414
	Grande Porto	654.477	150.623
2006	Minho-Lima	95.694	89.048
	Cávado	164.220	151.158
	Ave	194.443	50.543

2005	Grande Porto	659.517	210.299
	Minho-Lima	92.012	85.845
	Cávado	151.778	141.287
	Ave	185.395	20.871
2004	Grande Porto	637.389	172.972
	Minho-Lima	89.980	84.067
	Cávado	147.854	138.825
	Ave	188.779	38.626
2003	Grande Porto	631.270	174.699
	Minho-Lima	90.485	85.417
	Cávado	142.147	134.549
	Ave	181.020	45.417
2002	Grande Porto	638.324	189.644
	Minho-Lima	86.754	82.653
	Cávado	149.526	143.234
	Ave	160.451	109.080
	Grande Porto	632.725	201.640

ANEXO E: Cálculos relativos aos resíduos dos curtumes

Gaseificação:

Num ano produzem – se 4.200×10^3 kg;

Para um fator de carga de 8.760 h:

$$\text{Produção por hora : } \frac{4.200 \times 10^3 \text{ kg/ano}}{8.760 \text{ h/ano}} = 479,5 \text{ kg/h};$$

Como com 50 kg h podem – se produzir $120 \text{ m}^3/\text{h}$;

$$\text{Produção por hora: } \frac{479,5 \text{ kg/h}}{50 \text{ kg/h}} \times 120 \text{ m}^3/\text{h} = 1.151 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$PCI = 5 \text{ MJ/m}^3;$$

$$\text{Potência produzida: } 1.151 \text{ m}^3/\text{h} \times 5 \text{ MJ/h} = 5.755 \text{ MJ/h} = \frac{5.755}{3.600} = 1,6 \text{ MW}.$$

Sendo o rendimento de conversão elétrica de 25 % então:

$$We = 0,25 \times 1,6 \text{ MW} = 0,4 \text{ MWe}.$$

Sendo a energia elétrica produzida anualmente igual a:

$$0,4 \times 8.760 = 3.504 \text{ MWh} = 3,5 \text{ GWh}.$$

Para um fator de carga de 3.781 h:

$$\text{Produção por hora : } \frac{4.200 \times 10^3 \text{ kg/ano}}{3.781 \text{ h/ano}} = 1.110,8 \text{ kg/h};$$

Como com 50 kg h podem – se produzir $120 \text{ m}^3/\text{h}$;

$$\text{Produção por hora: } \frac{1.110,8 \text{ kg/h}}{50 \text{ kg/h}} \times 120 \text{ m}^3/\text{h} = 2.666 \text{ m}^3/\text{h};$$

$$PCI = 5 \text{ MJ/m}^3;$$

$$\text{Potência produzida: } 2.666 \text{ m}^3/\text{h} \times 5 \text{ MJ/h} = 13.330 \text{ MJ/h} = \frac{13.330}{3.600} = 3,7 \text{ MW}.$$

Sendo o rendimento de conversão elétrica de 25 % então:

$$We = 0,25 \times 3,7 \text{ MW} = 0,925 \text{ MWe}.$$

Sendo a energia elétrica produzida anualmente igual a:

$$0,925 \times 3.781 = 3,5 \text{ GWh.}$$

Digestão anaeróbia:

Num ano são produzidas $4.200 \times 10^3 \text{ kg/ano}$.

Desta quantidade de resíduos:

50 % são lamas residuais o que corresponde a $2.100 \times 10^3 \text{ kg/ano}$;

40 % são resíduos de carne que correspondem a $1.680 \times 10^3 \text{ kg/ano}$;

10 % são aparas o que corresponde a $420 \times 10^3 \text{ kg/ano}$.

Potencial de produção de metano (55°C , 1 atm):

Lamas residuais $\rightarrow 0,535 \text{ m}^3/\text{kg}$;

Resíduos de carne $\rightarrow 0,308 \text{ m}^3/\text{kg}$;

Aparas $\rightarrow 0,649 \text{ m}^3/\text{kg}$;

A produção de metano por hora, pode então ser calculada:

Para um fator de carga de 8.760 h;

$$\frac{2.100 \times 10^3 \times 0,535 + 1.680 \times 10^3 \times 0,308 + 420 \times 10^3 \times 0,649}{8.760} = 218,4 \text{ m}^3/\text{h};$$

Os resultados foram obtidos a 55°C , portanto é necessário ajustar para 0°C :

$$218,4 \times \frac{273,15 + 55}{273,15} = 262,4 \text{ m}^3/\text{h};$$

Admitindo um PCI de 23 MJ/m^3 (0°C e 1 atm);

A potência produzida é:

$$\frac{262,4}{3600} \times 23 = 1,68 \text{ MW};$$

Sendo o rendimento de conversão elétrica de 25 %, então:

$$W_e = 0,25 \times 1,25 \text{ MW} = 0,42 \text{ MWe.}$$

Sendo a energia elétrica produzida anualmente igual a:

$$0,42 \times 8.760 = 3.679 \text{ MWh} = 3,7 \text{ GWh.}$$

Para um fator de carga de 3.781 h;

$$\frac{2.100 \times 10^3 \times 0,535 + 1.680 \times 10^3 \times 0,308 + 420 \times 10^3 \times 0,649}{3.781} = 506 \text{ m}^3/\text{h};$$

Os resultados foram obtidos a 55°C , portanto é necessário ajustar para 0°C :

$$506 \times \frac{273,15 + 55}{273,15} = 607,9 \text{ m}^3/\text{h};$$

Admitindo um PCI de 23 MJ/m^3 (0°C e 1 atm);

A potência produzida é:

$$\frac{607,9}{3600} \times 23 = 3,88 \text{ MW};$$

Sendo o rendimento de conversão elétrica de 25 %, então:

$$W_e = 0,25 \times 3,88 \text{ MW} = 0,97 \text{ MWe}.$$

Sendo a energia elétrica produzida anualmente igual a:

$$0,97 \times 3.781 = 3,7 \text{ GWh}.$$

