



Universidade de Évora

Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente

# Viabilidade técnico-económica do aproveitamento do biogás:



## Caso de estudo em Torres Novas

Miguel Filipe Leite Ferreira

Sob orientação de:  
Prof. Doutora Isabel Malico  
Doutora Isabel Paula Marques

Setembro de 2010

Universidade de Évora

Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente

Viabilidade técnico-económica do  
aproveitamento do biogás:  
Caso de estudo em Torres Novas

Miguel Filipe Leite Ferreira

Sob orientação de:  
Prof. Doutora Isabel Malico  
Doutora Isabel Paula Marques

Setembro de 2010

## RESUMO

Neste trabalho escolheram-se cinco países europeus que, devido aos diferentes efluentes utilizados na produção de biogás e às variadas aplicações desta fonte energética fornecem uma imagem do panorama actual do biogás na União Europeia e permitem traçar directrizes para uma estratégia a nível nacional. Calculou-se o potencial energético do biogás em Portugal e compararam-se as políticas nacionais com as desses cinco países. Verifica-se que, apesar do seu enorme potencial energético e da definição de novas tarifas remuneratórias, a valorização desta fonte está ainda numa fase inicial. São necessárias acções e investimentos, quer a nível nacional quer regional. Neste contexto foi estudado o caso da fábrica de álcool “Manuel Vieira”, que possui desde 1993 uma estação de tratamento de resíduos e está actualmente interessada em reactivá-la. Assim, foi elaborada uma avaliação técnico-económica de forma a elucidar a empresa de qual será o cenário de utilização do biogás mais vantajoso.

# **TECHNICAL AND ECONOMICAL FEASIBILITY OF THE BIOGAS USE: STUDY CASE IN TORRES NOVAS**

## **ABSTRACT**

In this work five EU countries were chosen to exemplify the current state of biogas production in the EU and to help establishing guidelines for a national strategy in this sector. These countries were selected due to their wide-ranging substrates and biogas applications. The energy potential of biogas in Portugal was calculated and the Portuguese policy in the biogas sector was compared to that of those five countries. Despite the enormous energy potential of biogas and the new feed-in tariffs established, the growth of this energy source is still at an early stage in Portugal. Actions and investments, either national or regional, are necessary. In this context, the case of the alcohol plant “Manuel Vieira”, that wants to reactivate an inactive waste treatment plant, was studied. A technical and economic feasibility study was done in order to find out which is the most advantageous energetic use of the biogas.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio incondicional que me deram ao longo de toda esta jornada. Sem o vosso amor, carinho e compreensão nada disto seria possível.

Ao meu irmão, pela eterna amizade e companheirismo.

À Professora Isabel Malico e à Doutora Isabel Paula Marques, por todo o empenho, dedicação, confiança e disponibilidade.

À fábrica “Manuel Vieira”, pelo interesse demonstrado na concretização deste trabalho e pelo apoio dado a nível logístico.

Ao Manuel Peladinho, pela ajuda e amizade, fundamentais em todos os momentos deste Mestrado.

Ao Edgar Lopes, pela amizade e ajuda preciosas.

À Isaura, à Inês, à Sílvia e ao Nuno, pela amizade, boa disposição e apoio que sempre me deram ao longo dos 3 anos de IEFP.

A todos os outros que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que o meu caminho fosse este aqui.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJECTIVOS.....	4
2. DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	5
2.1 BIOQUÍMICA DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	5
2.2 FACTORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	7
2.3 BIODIGESTOR.....	8
2.4 BIOGÁS.....	9
2.5 RESÍDUOS/SUBSTRATOS.....	13
2.6 VANTAGENS.....	15
3. BIOGÁS NA EUROPA.....	17
3.1 ALEMANHA – a cultivar energia.....	27
3.2 ÁUSTRIA – os méritos da co-digestão.....	33
3.3 DINAMARCA – o berço da digestão centralizada.....	38
3.4 SUÉCIA – combustível automóvel.....	44
3.5 ESPANHA – gás de aterro.....	49
4. BIOGÁS EM PORTUGAL.....	54
4.1 CÁLCULO DO POTENCIAL DE BIOGÁS.....	60
5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PAÍSES ESTUDADOS.....	64
6. CASO DE ESTUDO.....	66
6.1 DESCRIÇÃO DA FÁBRICA MANUEL VIEIRA.....	66
6.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	69
6.3 AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA.....	72
7. CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS	

## 1. INTRODUÇÃO

O amanhã é cada vez mais um problema de hoje. O conceito de Desenvolvimento Sustentável definido pela Comissão Mundial sobre o Desenvolvimento em 1987 reflecte isso mesmo: cumprir as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. A discussão dos objectivos deste conceito tem de ser necessariamente focada em nós porque o que está em jogo é a preservação das condições que asseguram a existência e o progresso da espécie humana (Fernandes, 2002). Assim as gerações vindouras devem ser compensadas pelas reduções nos recursos disponíveis, consequência das actividades das gerações actuais (Fernandes, 2002). Desta forma há que avaliar os danos causados e projectar, de forma consistente e elaborada, um futuro comum.

O alerta já foi dado. O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) concluiu no seu Quarto Relatório de Avaliação que o aumento da temperatura verificado desde a segunda metade do século XX se deve, muito provavelmente, ao aumento das emissões antropogénicas de Gases de Efeito de Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (IPCC, 2007). Como consequência directa da actividade humana – queima de combustíveis fósseis, desflorestação, agricultura, pecuária, entre outras – estes gases acumulam-se na atmosfera, aumentando o efeito de estufa e desencadeando o aquecimento global. Evidências em todos os continentes e na maioria dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão a ser afectados por alterações climáticas regionais, em particular subidas de temperatura (IPCC, 2007). Se as emissões de GEE continuarem à taxa actual as mudanças e aquecimento neste novo século serão, muito provavelmente, mais acentuadas do que no século XX, podendo os sistemas naturais e humanos vir a ser afectados de forma irreversível (IPCC, 2007). É importante estabelecer assim planos de mitigação de forma a diminuir a emissão de GEE e seus efeitos no clima planetário.

Neste contexto a energia é uma área crucial de acção. Não só no sentido de prevenir as emissões de GEE mas também no de evitar a escassez de recursos energéticos. De todas as actividades humanas que produzem GEE o uso de energia representa a maior fonte de emissão (AIE/OCDE, 2009). A produção primária global de energia duplicou entre 1977 e 2007, assente na sua maioria nos combustíveis fósseis. Apesar do aparecimento

de novas fontes não poluentes, a percentagem do consumo dos combustíveis fósseis tem-se mantido praticamente constante ao longo dos últimos 35 anos e em 2007 representavam 82% do abastecimento energético global (AIE/OCDE, 2009). Segundo o cenário de Referência do *World Energy Outlook 2009* da Agência Internacional de Energia (AIE) as necessidades energéticas globais irão aumentar cerca de 40% entre 2007 e 2030 (AIE/OCDE, 2009). Com os combustíveis fósseis a manterem a sua percentagem de utilização é esperado que as emissões de CO<sub>2</sub> passem de 29 Gt em 2007 para 40 Gt em 2030 (AIE/OCDE, 2009). Este aumento de emissões terá lugar principalmente nos países em desenvolvimento, onde os consumos energéticos *per capita* ainda são muito inferiores aos dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) (AIE/OCDE, 2009). Tal ameaça vai de encontro ao pior cenário previsto no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. O elo entre as alterações climáticas e a energia faz assim parte do desafio geral do desenvolvimento sustentável (AIE/OCDE, 2009).

A estabilidade económica mundial requer energia. Por outro lado, a estabilidade energética requer diversidade (Nielsen *et al.*, 2009). Três grupos distintos de tecnologias podem providenciar formas de baixar significativamente as emissões GEE enquanto se mantém a segurança energética e o crescimento económico (AIE, 2005): *i*) transformações na produção energética, como o uso de energias renováveis, tecnologias avançadas de combustão fóssil, captura e sequestro de carbono, hidrogénio e fusão nuclear; *ii*) transformações na utilização energética, na indústria, nos edifícios e nos transportes; *iii*) transformações nas redes de distribuição energética. Neste conjunto de alternativas, as Energias Renováveis constituem uma parcela importante e cada vez mais activa na construção de um futuro “limpo”. As tecnologias renováveis variam na sua maturidade técnica e económica mas existem fontes que se vão tornando cada vez mais atractivas, como a biomassa, a energia eólica, a energia fotovoltaica, a energia geotérmica, entre outras (AIE/OCDE, 2008). Apesar de muito distintas todas estas formas de energia apresentam vértices comuns: contribuem para a mitigação das alterações climáticas e constituem uma fonte inesgotável de recursos (EREC/Greenpeace International, 2008). Para além destas vantagens outras tantas podem ser enunciadas como melhoria da saúde pública e criação de postos de trabalho. As energias renováveis são uma resposta sólida e cada vez mais real para este problema global.



A par com o problema energético a sociedade actual depara-se também com o problema da inadequada gestão de resíduos, agrícolas, industriais e domésticos. Com o aumento da população e urbanização um pouco por todo o mundo os países vêem-se obrigados a responder ao conseqüente aumento de resíduos sólidos e águas residuais, através da recolha, reciclagem, tratamento e deposição (Bogner *et al.*, 2007). Um sistema eficaz de gestão residual reduz as emissões de GEE, promove a saúde pública, previne a contaminação das águas e dos solos, preserva os recursos naturais e providencia benefícios energéticos (Bogner *et al.*, 2007). É necessário olhar para os resíduos como sub-productos e não como materiais indesejáveis (CCE, 2000), utilizando tecnologias que permitam uma reutilização dos mesmos, diminuindo simultaneamente os seus impactes ambientais.

É nesta perspectiva de resposta dupla que surge a digestão anaeróbia, processo definido como uma conversão microbiológica da matéria orgânica numa mistura gasosa essencialmente composta por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), apresenta-se simultaneamente como uma fonte de energia renovável e uma resposta para a inapropriada gestão de resíduos. Ao gás resultante dá-se o nome de biogás, um biocombustível gasoso com uma vasta gama de aplicações. A biomassa representa actualmente dois terços da energia renovável da União Europeia e a bioenergia desempenha um papel crucial para alcançar os 20% de energia renovável propostos pela Directiva 2009/28/CE (AEBIOM, 2009). Dentro do sector da bioenergia a utilização de biogás abre novas perspectivas de utilização em campos ainda pouco explorados. O biogás é uma fonte de energia renovável versátil, que pode substituir os combustíveis fósseis na produção de energia e calor e também pode ser usado como combustível automóvel (Weiland, 2009).

Como a ameaça é global a resposta tem de passar por todos nós, do geral ao individual. Não bastam as medidas dos países e governos, é também necessário o empenho das associações, das instituições, das empresas, dos centros de pesquisa e investigação. Neste contexto surge a “Manuel Vieira & C<sup>ab</sup>”, uma fábrica de álcool situada na aldeia das Lapas, concelho de Torres Novas. Consciente dos problemas ambientais que advinham do lançamento dos seus efluentes ao rio Almonda, decidiu investir, em 1993, numa estação de tratamento dos mesmos. Através de um estudo, levado a cabo pela *Tecninvest – Técnicas e Serviços para o Investimento, SA* chegaram à conclusão que o

melhor processo era o tratamento anaeróbio. Infelizmente a estação nunca chegou a ser utilizada e encontra-se actualmente inactiva. Como as preocupações da altura ainda hoje se mantêm e porque é reconhecido naquelas infra-estruturas um enorme potencial, a fábrica exprimiou a sua vontade de colocar as instalações de novo em funcionamento. Este trabalho surge então como parte integrante desse esforço.

## **1.1 - OBJECTIVOS**

O presente estudo pretende fazer um enquadramento legal da produção de biogás na União Europeia. Para tal foram escolhidos cinco países – Alemanha, Áustria, Dinamarca, Espanha e Suécia – de acordo com as suas características de produção e utilização do biogás, e estabeleceu-se um quadro comparativo com a situação nacional. Para Portugal foi estimado também o potencial de produção de biogás, de acordo com a produção anual de resíduos agro-pecuários, alimentares e urbanos.

Numa segunda parte do trabalho foram criados diferentes cenários de valorização do biogás, a produzir pela instalação da fábrica Manuel Vieira. Posteriormente foi feita uma avaliação técnico-económica de cada um desses cenários de forma a seleccionar a melhor estratégia de implementação.

## **2. DIGESTÃO ANAERÓBIA**

O processo anaeróbio não é um achado recente, possuindo já alguns séculos de história. Para além das descobertas científicas, este é um fenómeno que acontece frequentemente na natureza em, por exemplo, sedimentos aquáticos, pântanos ou sistemas gastrointestinais de animais superiores.

A digestão anaeróbia pode ser definida como um processo complexo em que determinados microrganismos, na ausência de oxigénio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples, como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (CCE, 2000).

### **2.1 – BIOQUÍMICA DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA**

A digestão anaeróbia está dependente da actividade de diferentes populações de microrganismos anaeróbios, obrigatórios e facultativos. A eficiência do processo depende então das interacções positivas entre as diversas espécies bacterianas (Oliveira, 2005). O processo divide-se em sete etapas que se incluem em quatro fases levadas a cabo por três grandes grupos de microrganismos, como está representado na Tabela 1. As bactérias fermentativas são responsáveis pelas duas fases iniciais do processo: a hidrólise de proteínas, lípidos e hidratos de carbono é concretizada através da acção de exo-enzimas, que os decompõe em compostos mais simples. Estes podem entrar então nas células para que tenha lugar a acidogénese que resulta na formação de ácidos gordos voláteis (AGV) e de acetato, dióxido de carbono e hidrogénio (CCE, 2000). As bactérias acetogénicas dividem-se em dois grupos: as produtoras obrigatórias de hidrogénio, promotoras da oxidação anaeróbia dos AGV em acetato, e as utilizadoras de hidrogénio, produtoras de acetato a partir de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Na fase final encontramos os microrganismos metanogénicos, que à semelhança dos microrganismos da fase anterior, também se dividem em duas categorias principais: as hidrogenólicas, que produzem metano através de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , e as acetoclásticas, que usam o acetato. Para além destes três grupos existem também as bactérias sulfato-redutoras que competem com as metanogénicas pelo  $\text{H}_2$  e pelo acetato utilizados para reduzir os sulfatos presentes no meio (CCE, 2000).

Tabela 1 – Grupos de microrganismos, fases e passos distintos no processo de digestão anaeróbia (adaptado de CCE, 2000)

<b>Grupos de microrganismos</b>	<b>Fase</b>	<b>Níveis de degradação</b>
<i>Bacteria</i> <i>Fermentativas</i>	Hidrólise	Hidrólise de proteínas, lípidos e hidratos de carbono
	Acidogénese	Fermentação de amino-ácidos e açúcares  Oxidação anaeróbia de ácidos gordos de cadeia longa e álcoois
<i>Bacteria</i> <i>Acetogénicas</i>	Produtoras obrigatórias de hidrogénio	Oxidação anaeróbia de ácidos gordos voláteis
	Utilizadoras de hidrogénio	Acetogénese  Conversão de CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> em ácido acético
<i>Archea</i> <i>Metanogénicas</i>	Acetoclásticas	Conversão do ácido acético em CH <sub>4</sub>
	Hidrogenotróficas	Metanogénese  Conversão do H <sub>2</sub> em CH <sub>4</sub>

## 2.2 – FACTORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

A temperatura afecta aspectos do processo como a velocidade de crescimento das bactérias, a produção de biogás, o grau de utilização do substrato, a duração de arranque e a capacidade de resposta a variações súbitas na carga do digestor (CCE, 2000). Usualmente são distinguidas três gamas de funcionamento do processo: psicofílica (15-25°C), mesofílica (30-40°C) e termofílica (50-60°C) (CCE, 2000). A maioria das aplicações de digestão realiza-se a temperaturas mesofílicas ou termofílicas (Braun, 2007). É importante manter uma temperatura constante durante o processo, pois mudanças e flutuações térmicas irão afectar negativamente a produção de biogás (Weiland, 2009). Em regime termofílico a produção de biogás pode ser cerca de 25 a 50% superior aos valores conseguidos em regimes mesofílicos, porém a diversidade metanogénica é menor e as taxas de conversão de matéria orgânica em matéria celular são bastante reduzidas (CCE, 2000). Desta forma o processo termofílico é mais sensível e instável, apresentando um maior risco de inibição por amónia. A toxicidade da amónia aumenta com o aumento de temperatura e pode ocorrer o *wash out* dos microorganismos (Weiland, 2009). Quando este tipo de inibição acontece, a concentração de Ácidos Gordos Voláteis (AGV) aumenta, o que vai levar a uma diminuição do pH. Esta descida actua como efeito inverso ao despoletado inicialmente pela amónia (Weiland 2009).

A formação de metano ocorre numa gama de pH entre 6,5 e 8,5, sendo que o intervalo óptimo se localiza entre 7 e 8 (Weiland, 2009). A variação do pH influencia o crescimento dos microrganismos e interfere negativamente no processo através da dissociação de compostos importantes de digestão anaeróbia (CCE, 2000). Este factor é controlado especialmente pelo sistema tampão do bicarbonato. A alcalinidade, que é a resistência oferecida à variação do pH pela presença de substâncias que tendem a alterá-lo, resulta, nos processos anaeróbios, da relação dióxido de carbono/bicarbonato existente no reactor (CCE, 2000). A alcalinidade é considerada um melhor indicador de estabilidade do processo do que o pH (CCE, 2000).

Para o crescimento e sobrevivência dos diversos grupos de microrganismos são necessários diversos micro e macro nutrientes (Weiland, 2009). Entre os macro-

nutrientes o azoto (N) desempenha um papel crucial pois é necessário para a formação das proteínas. A relação entre carbono e azoto (C/N) deverá situar-se entre 15 e 30 para um desenvolvimento normal do processo (CCE, 2000). O fósforo deverá estar presente numa proporção C/P de 150/1 e o enxofre deverá ser bastante limitado para evitar a sua transformação em sulfureto de hidrogénio (CCE, 2000). Micro-nutrientes como o ferro, o níquel, o cobalto, o selénio, o molibdénio e o tungsténio são importantes para a taxa de crescimento dos microrganismos e devem estar presentes em pequenas quantidades (Weiland, 2009). Para a monofermentação de culturas energéticas, a adição de micro-nutrientes é absolutamente necessária para alcançar as condições de estabilidade do processo e cargas elevadas (Weiland, 2009).

### **2.3 – BIODIGESTOR**

O digestor anaeróbio é um tanque fechado, onde os microrganismos entram em contacto com o resíduo em condições de ausência de oxigénio. Das reacções envolvidas na metabolização da matéria orgânica resultam diversos produtos gasosos, na sua maioria metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo a sua mistura denominada de biogás (CCE, 2000).

Os digestores anaeróbios podem operar em descontínuo ou em contínuo. A principal diferença destes dois modos de operação é o modo como se introduzem e se retiram os resíduos a digerir (CCE, 2000). Enquanto no sistema em descontínuo a alimentação do digestor acontece em momentos diferentes da descarga do resíduo tratado, no sistema em contínuo o volume de resíduo no interior do digestor permanece constante ao longo do tempo, ou seja, por cada quantidade de resíduo introduzida, igual quantidade de resíduo tratado sai. Os reactores em contínuo são os mais vulgarmente utilizados e podem ser divididos em dois grupos (CCE, 2000):

- reactores de biomassa em suspensão, onde a biomassa se encontra suspensa no líquido interior do digestor.
- reactores de biomassa fixa, onde a retenção da biomassa requer a utilização de um meio de suporte inerte.

## 2.4 – BIOGÁS

O biogás é um recurso energético que atinge entre 2% a 4% do peso da matéria orgânica inicial utilizada (Oliveira, 2005). É formado por uma mistura de gases variável de acordo com as características do resíduo e as condições de funcionamento do processo de digestão (CCE, 2000). Os seus principais constituintes são o metano e o dióxido de carbono, sendo que os restantes gases, como o hidrogénio ou o sulfídrico, aparecem em quantidades muito reduzidas (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição do biogás (AEBIOM, 2009)

Gás	Símbolo	% no biogás
Metano	CH <sub>4</sub>	50-75
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	25-45
Vapor de água	H <sub>2</sub> O	1-2
Sulfídrico	H <sub>2</sub> S	0,1-0,5
Monóxido de carbono	CO	0-0,3
Nitrogénio	N <sub>2</sub>	1-5
Hidrogénio	H <sub>2</sub>	0-3
Oxigénio	O <sub>2</sub>	vestígios

O seu interesse como recurso energético deve-se ao seu principal constituinte: o metano. Este gás puro, em condições normais (PTN) de pressão (1 atm) e temperatura (0°C), tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. (CCE, 2000). O biogás com um teor de metano de 65% tem um poder calorífico de 6,5 kWh/m<sup>3</sup>, como está representado na Figura 1.

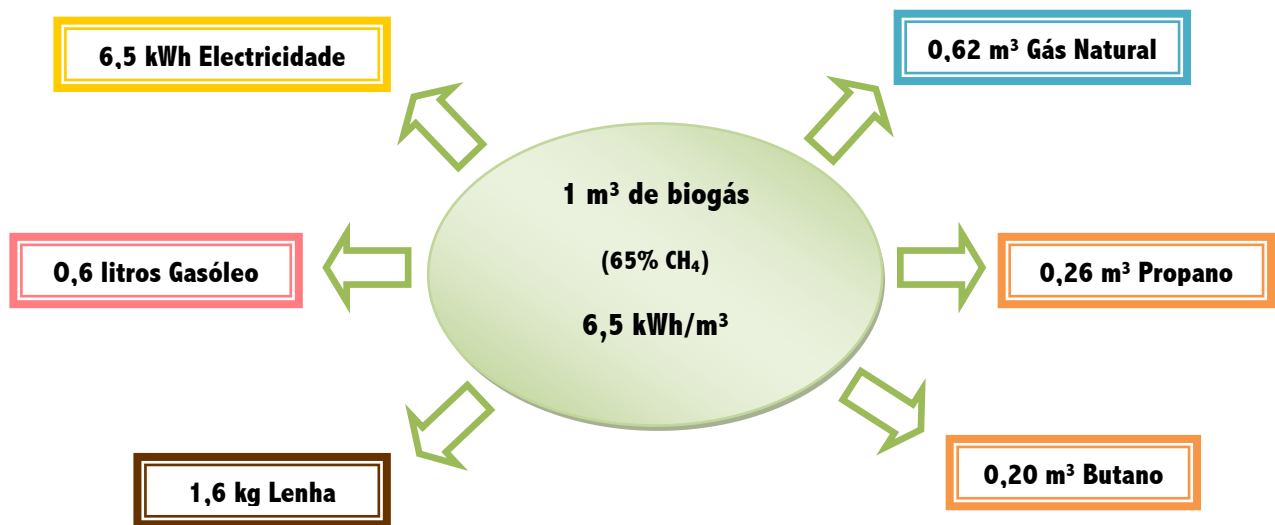


Figura 1 – Equivalência energética bruta do biogás com 65% de metano, apenas com base no PCI e sem entrar em conta com eficiências de conversão (adaptado de CCE, 2000).

A produção de biogás é determinada pelas características do substrato, cujas propriedades mais importantes são (Greenpro, 2004):

- Matéria Seca (MS): % de matéria seca no substrato;
- Matéria Orgânica (MO): a fracção orgânica da matéria seca;
- Matéria Orgânica Seca (MOS): a parte orgânica do substrato ( $=MS \times MO$ );
- Produção máxima específica de biogás ( $m^3$ /tonelada MOS)

A produção total de biogás pode ser calculada com a seguinte fórmula (Greenpro, 2004):

$$\text{Produção de biogás} = \text{quantidade de substrato (ton)} \times \text{MS (\%)} \times \text{MO (\%)} \times \text{produção máxima de biogás (m}^3\text{/ton)}$$

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono, prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Por outro lado a presença do gás sulfídrico ou sulfureto de hidrogénio pode levar à corrosão de metais, diminuindo não só o rendimento como a vida útil do sistema de conversão utilizado (Salomon, 2007). Assim a depuração do biogás é necessária em todos os sistemas de utilização de biogás e incide geralmente na remoção parcial de alguns constituintes na



mistura original de gases (CCE, 2000). Na tabela 3 estão listados alguns métodos utilizados na remoção do H<sub>2</sub>S e do CO<sub>2</sub>.

Tabela 3 – Métodos de remoção de H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> (CCE, 2000).

Remoção de H <sub>2</sub> S	Remoção de CO <sub>2</sub>
Adição de oxigénio/ar no digestor	Lavagem com água
Depuração a seco com óxidos de ferro	Lavagem com polietileno glicol
Depuração a seco com carvão activado	Crivos moleculares em carbono
Lavagem com água	Separação por membranas
Lavagem com NaOH	
Adição de cloreto de ferro no digestor	

Uma instalação de biogás inclui normalmente um sistema de armazenamento de gás: o gasómetro. Este sistema é útil para equalizar o fluxo de biogás produzido, homogeneizar a qualidade do gás e proporcionar um caudal constante. São classificados de acordo com a sua pressão de funcionamento: baixa pressão e média/alta pressão (CCE, 2000).

Para os sistemas de transporte do biogás é necessário ter em consideração a pressão máxima e a temperatura de operação. Os materiais utilizados na canalização do biogás podem ser metálicos ou plásticos. Em relação à compressão do biogás, são enumerados diversos objectivos entre os quais a redução do espaço de armazenamento e a concentração do conteúdo energético (CCE, 2000).

Existe um diverso número de utilizações possíveis para o biogás. Pode ser transformado em energia eléctrica e energia térmica, separadamente ou em conjunto num processo designado de co-geração (Novais e Marques, 2002). Pode ser também convertido simultaneamente em energia eléctrica, calor e frio (trigeração) e ainda em biometano, podendo ser injectado nas condutas de gás natural, e ser utilizado como combustível para transporte. Seja qual for a opção escolhida para utilizar o biogás, existirá sempre produção de, pelo menos, uma das seguintes formas de energia: eléctrica, térmica ou mecânica (Figura 2).

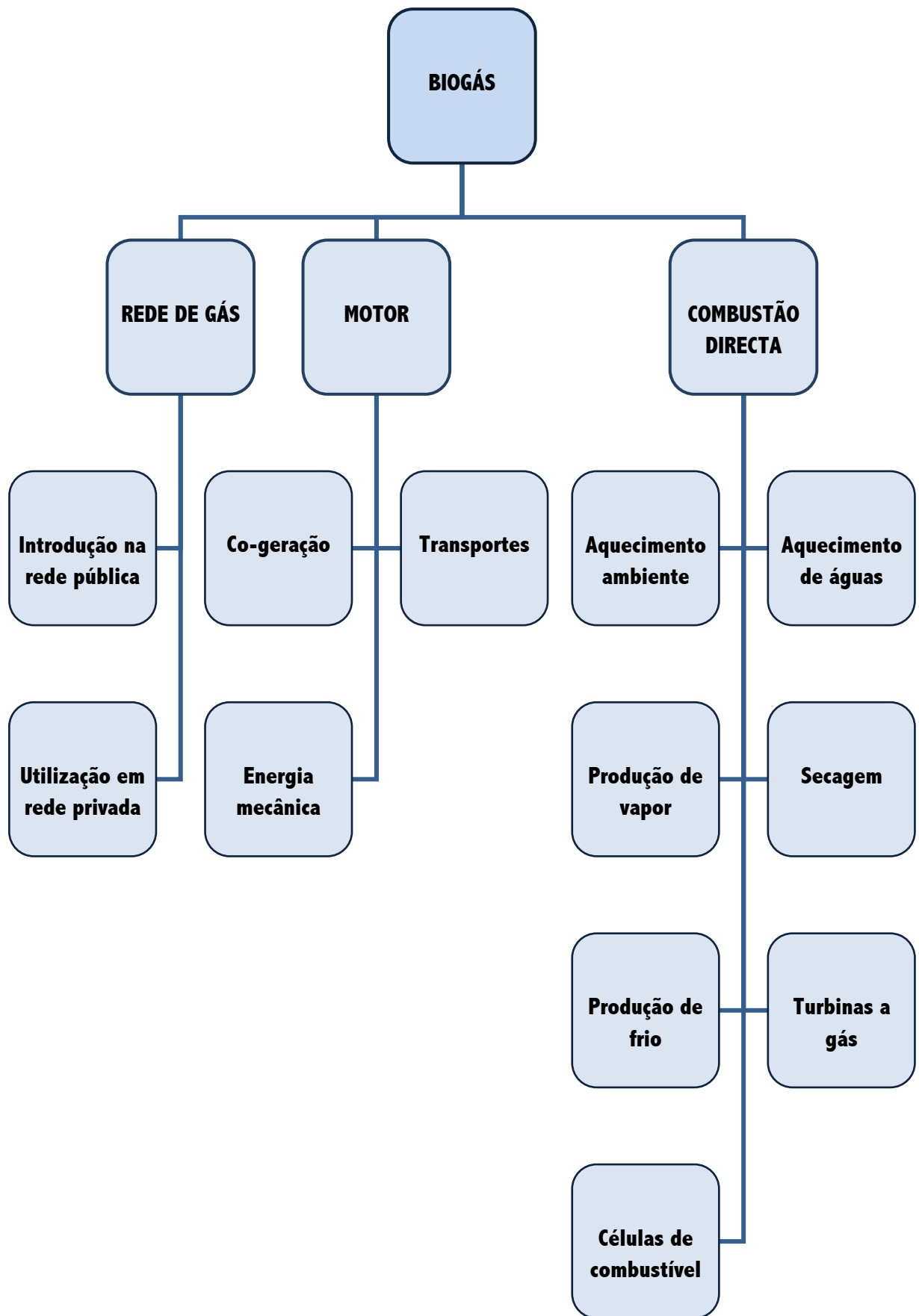


Figura 2 – Principais tipos de utilização do biogás (adaptado de CCE, 2000).

Um estudo do ciclo de vida de diferentes usos do biogás, levado a cabo pela *Agence de l'Environnement et de le Maitrise de l'Energie* (ADEME) em 2007, concluiu que a conversão de resíduos biodegradáveis em biogás é mais vantajosa que a compostagem no que concerne ao potencial de aquecimento global (para 100 anos) e ao balanço de energia primária, independentemente do uso energético aplicado. A nível de aplicações concluiu-se que a utilização de biogás como combustível para autocarros e camiões, em substituição do diesel, é a opção mais atractiva para os 4 indicadores estudados (potencial de aquecimento global, eutrofização, acidificação do ar e consumo de energia primária) e que o uso de biogás na co-geração é especialmente vantajoso se tivermos em consideração o impacto da energia primária em comparação com energias não renováveis.

Por outro lado, em 2008, Hedegaard e colegas concluíram que o cenário óptimo de utilização é aquele em que o biogás substitui o gás natural na produção de energia eléctrica e energia térmica e o gás natural, por sua vez, substitui o petróleo no sector dos transportes.

## **2.5 – RESÍDUOS/SUBSTRATOS**

Todo o tipo de material orgânico pode ser usado em processos de digestão para a produção de biogás. Substratos de difícil e longa decomposição biológica (materiais lenhificados, como a madeira) constituem uma excepção por não serem economicamente viáveis. De um modo geral os resíduos são conotados com um valor negativo, quer ao nível do seu tratamento, quer a nível de destino final. A digestão anaeróbia consegue não só reduzir a carga poluente inicialmente presente mas também produzir biogás para valorização energética, proporcionando desta forma economias em despesas ou mesmo gerando receitas que aumentem o valor do resíduo (CCE, 2000). Os resíduos que podem ser valorizados por processos anaeróbios agrupam-se em três grupos principais: resíduos agro-pecuários, industriais e municipais.

Os resíduos agro-pecuários, especialmente os oriundos de explorações animais, são, a par com as lamas de ETAR's domésticas, aqueles que têm tido maior aplicação nos processos de digestão anaeróbia (CCE, 2000). Os excrementos animais, devido à sua elevada biodegradabilidade em condições anaeróbias, são dos substratos mais utilizados e representam a maior fonte energética (CCE, 2000). Os resíduos provenientes de aviários, pocilgas ou estábulos possuem características semelhantes mas são diferentes a nível de percentagem de matéria orgânica, nutrientes e biodegradabilidade (CCE, 2000). Na EU-27 mais de 1500 milhões de toneladas de estrume animal são produzidas todos os anos (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Quando não é tratado ou quando é processado de forma incorrecta o estrume animal torna-se numa fonte de poluição terrestre e aérea. O sector de produção animal é responsável por 18% das emissões de GEE e em particular por 37% do metano antropogénico (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Resíduos de natureza agrícola como resíduos de processamento de culturas como a cana-de-açúcar e a colza podem também ser utilizados em processos de digestão anaeróbia (CCE, 2000). Outra alternativa muito utilizada actualmente são as culturas energéticas, como por exemplo o milho (Holm-Nielsen *et al.*, 2009).

As indústrias cujos resíduos são aplicados na digestão anaeróbia podem ser divididas em dois grupos: alimentares (produtos animais, enlatados, fermentação, açúcar, leite, amido, café) e não alimentares (indústrias papeleira, química, farmacêutica, de madeira) (CCE, 2000). As indústrias que mais utilizam o tratamento anaeróbio são as indústrias de processamento de bebidas e alimentos uma vez que as tecnologias de digestão anaeróbia foram inicialmente comercializadas para este fim (CCE, 2000).

A nível doméstico os resíduos dividem-se conforme a sua natureza líquida ou sólida. Os resíduos líquidos (esgoto) são conduzidos para Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) municipais onde são tratados através de processos físico-químicos e biológicos. Tanto no tratamento primário como no tratamento secundário são produzidas lamas, que possuem grande parte da matéria orgânica presente no esgoto inicial, constituindo assim um substrato adequado para a digestão anaeróbia (CCE, 2000). Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são também uma fonte potencial de matéria orgânica para este processo. As suas características dividem-se genericamente em três fracções: fracção digerível (matéria orgânica rapidamente biodegradável), fracção

combustível (matéria orgânica de digestão lenta) e fracção inerte (pedras, areia, vidros e metais) (CCE, 2000).

Embora estas sejam as principais fontes de biogás, vários projectos de I&D em curso têm como objectivo encontrar novos substratos. Um exemplo bem sucedido é o glicerol, resultante da produção de biodiesel. É um produto usado em muitas indústrias (Holm-Nielsen *et al.*, 2008), que também pode ter a digestão anaeróbia como forma de valorização (López *et al.*, 2009). É possível criar um ciclo fechado entre as produções de biogás e biodiesel: o biofertilizante, subproduto da digestão anaeróbia, pode ser usado como fonte de macro e micro nutrientes para culturas energéticas necessárias para a produção de biodiesel. Por outro lado o glicerol, subproduto do biodiesel, pode ser aplicado como uma fonte extra na co-fermentação, aumentando a produção de biogás (Holm-Nielsen *et al.*, 2008).

Diversos trabalhos estão a ser levados a cabo no LNEG-Unidade de Bioenergia no sentido de valorizar energeticamente estes substratos - glicerol, biomassa algal e resíduo algal (obtido após extracção de amido e/ou lipidos para a produção de bioetanol e biodiesel, respectivamente) - por via da digestão anaeróbia e tendo por base o conceito de biorrefinaria.

## 2.6 – VANTAGENS

Podemos enquadrar as vantagens da digestão anaeróbia em quatro grandes áreas de acção:

- ✓ Área energética
- É uma fonte de energia renovável;
- Produz combustível de alta qualidade;
- O biogás produzido tem um carácter versátil na medida em que pode não só advir de diversos tipos de resíduos como pode ser usado num variado número de aplicações energéticas;

✓ Área Ambiental

- Redução das emissões de GEE comparativamente com a utilização de combustíveis fósseis. É considerado um processo onde a libertação de CO<sub>2</sub> é quase neutra, pois o gás que é libertado na combustão do biogás é retido pela biomassa através de fotossíntese. Por outro lado dado o elevado efeito de estufa do CH<sub>4</sub> (1g de CH<sub>4</sub> = 23g de CO<sub>2</sub>) (União Europeia, 2009) a respectiva utilização evita a sua libertação para a atmosfera;
- Redução do consumo dos combustíveis fósseis;
- O produto digerido pode ser utilizado como biofertilizante, o que contribui simultaneamente para a redução do fabrico de fertilizantes químicos e, consequentemente dos gastos associados à sua produção;
- Redução de odor e de contaminação do lençol freático (Salomon, 2007);
- Maximiza os benefícios do reaproveitamento de matéria orgânica (Oliveira, 2005)

✓ Área do tratamento de resíduos

- É um processo natural do tratamento de resíduos (Oliveira, 2005);
- Requer menos espaço que os aterros sanitários ou a compostagem (IEA Bioenergy, 2005);
- Diminui o volume e a carga dos resíduos a serem eliminados (IEA Bioenergy, 2005);

✓ Área económica

- Origina novos postos de trabalho;
- Contribui para a viabilidade económica do tratamento de resíduos (Salomon, 2007);
- Os gastos com o consumo de energia eléctrica poderão ser reduzidos (Oliveira, 2005);
- Possibilidade de venda da energia produzida;

### 3. BIOGÁS NA EUROPA

Desde 1997 que a União Europeia (UE) tem vindo a reunir esforços no sentido de reduzir os efeitos das alterações climáticas e promover o uso de energias renováveis. Nesse mesmo ano o Livro Branco sobre as fontes de Energia Renovável e o Protocolo de Quioto estabeleceram as primeiras directrizes e obrigações aos países membros da UE. Estes dois instrumentos referem a produção de electricidade produzida a partir de fontes renováveis como uma alta prioridade comunitária e uma das medidas necessárias ao cumprimento dos objectivos propostos. Desta forma em 2001 a Directiva 2001/77/CE relativa à promoção de electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade veio garantir a incorporação de electricidade renovável no mercado, estabelecendo para todos os Estados-Membros metas indicativas nacionais para o consumo de electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis (FER-E). Estas metas individuais são compatíveis com a meta global de 12% de consumo interno bruto de energia a partir destas fontes e com a quota indicativa de 22,1% de FER-E no consumo total da Comunidade em 2010 (União Europeia, 2001). Esta quota foi revista, na altura da adesão de 10 novos Estados-Membros, passando para 21% (Sousa *et al.*, 2005).

O sector Europeu dos Transportes foi também um dos alvos da estratégia da UE que, tendo em conta que este sector é responsável por mais de 30% do consumo final de energia na Comunidade e por uma parte considerável das emissões de CO<sub>2</sub>, desenhou a Directiva 2003/30/CE relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes. Este documento estabeleceu duas metas indicativas: substituição de 2% e 5,75% de gasolina e gasóleo por biocombustíveis e outros combustíveis renováveis até 2005 e 2010, respectivamente (União Europeia, 2003).

Em 2005 foi apresentado o Plano de Acção para a Biomassa que apresenta um conjunto de medidas para aumentar o desenvolvimento de produção de energia a partir da biomassa. Este documento considera a biomassa como uma das grandes alternativas aos combustíveis fósseis e estabelece um programa coordenado para que na Comunidade se aumente a procura da biomassa, se melhore o abastecimento, se ultrapassem barreiras técnicas e se desenvolva investigação (União Europeia, 2005).

Apesar de todos estes esforços, os relatórios publicados em 2007 e o Roteiro das Energias Renováveis tornaram explícita a morosidade dos progressos alcançados pelos Estados-Membros e a probabilidade de a UE no seu conjunto não conseguir atingir a meta proposta para 2010 (CCE, 2009). Como justificações possíveis para esta situação foi referido o carácter meramente indicativo das metas nacionais e o clima de incerteza relativamente aos investimentos.

Devido a tudo isto a Comissão Europeia propôs um novo quadro legislativo, mais rigoroso, a fim de promover de forma mais sólida o desenvolvimento das energias renováveis. Em 2009 é assim publicada a Directiva 2009/28/CE relativa à promoção de utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Este documento fixa objectivos obrigatórios nacionais para uma quota global de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e uma quota de 10% de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos transportes para todos os Estados-Membros (União Europeia, 2009) em 2020. Este objectivo de 10% foi fixado ao mesmo nível para todos os países a fim de assegurar a coerência nas especificações do combustível para transportes e sua disponibilidade, e foi também definido como quota final proveniente do conjunto de fontes renováveis e não apenas a partir de biocombustíveis. Isto representa uma mudança na política energética e um compromisso entre aqueles que pretendiam aumentar a quota dos biocombustíveis e aqueles que acreditavam que tal criaria enormes impactes ambientais, interferindo na produção agro-alimentar e energética (Hernández *et al.*, 2009). Há assim a preocupação de preservar a biodiversidade dos terrenos e de promover a utilização de outros materiais agrícolas.

A Directiva 2009/28/CE prevê também a criação de planos de acção nacionais onde os Estados-Membros fixam objectivos para as quotas de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos sectores dos transportes, da electricidade e do aquecimento e arrefecimento em 2020 (União Europeia, 2009). Foram introduzidos mecanismos facultativos de cooperação entre Estados-Membros que lhes permitem chegar a acordo quanto ao apoio a nível energético e que incluem transferência estatística de uma certa quantidade de energia, projectos e regimes de apoio conjuntos. A nível de cumprimento dos objectivos, apesar de não existirem sanções, é obrigatório a apresentação de



relatórios periódicos sobre os progressos realizados por parte da Comissão e de cada um dos Estados-Membros (União Europeia, 2009).

Durante 2008 os esforços conjuntos dos Estados-Membros permitiram um aumento de 9,2 Mtep no consumo primário de energia renovável em relação a 2007, alcançando o valor estimado de 147,7 Mtep, uma subida de 7,7% para 8,2% (EurObserv'ER, 2009). Em 2007 o sector dominante era o da biomassa, que representava cerca de dois terços da produção (66%), seguindo-se a energia hídrica (22%), a eólica (6%), a geotérmica (5%) e por fim a solar (1%) (Figura 3) (EurObserv'ER, 2009).

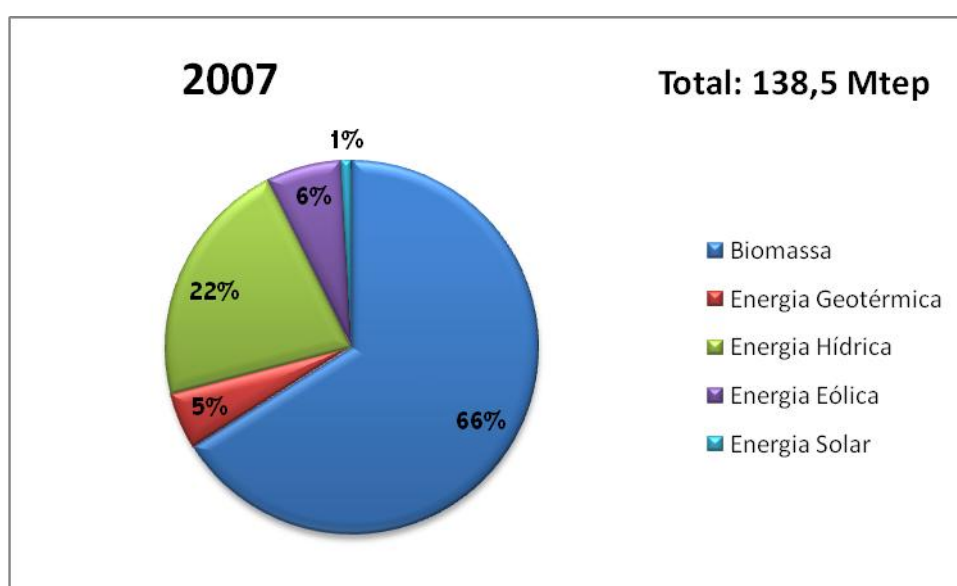


Figura 3 – Quota de cada fonte no consumo primário de energia renovável na EU – 27 em 2007 (EurObserv'ER, 2009).

O último relatório sobre os progressos em electricidade renovável previu que a UE atingiria uma quota de electricidade renovável de 19% até 2010, não conseguindo alcançar assim a meta de 21% proposta pela Directiva 2001/77/CE (CCE, 2009). No mesmo documento a Comissão referiu que a maior parte deste crescimento se deve à energia eólica em apenas alguns Estados-Membros (CCE, 2009). Os últimos dados do EurObserv'ER estimam para 2008 uma quota de electricidade renovável de 16,4% no total da UE-27, que fica assim a 4,6% do objectivo proposto para 2010 (EurObserv'ER, 2009). De todos estes países apenas a Alemanha e a Hungria já alcançaram os objectivos definidos (EurObserv'ER, 2009). Em 2007 o sector dominante era o hídrico, representando 60,6% da electricidade produzida, seguido pela energia eólica (20,2%). Em terceiro lugar surge a biomassa (17,3%), em quarto a energia geotérmica (1,1%) e

por fim a energia solar (0,7%) (Figura 4) (EurObserv'ER, 2009). É estimado que em 2008 o valor de electricidade renovável produzida alcance os 558,4 TWh, mais 7,9% do que em 2007 (EurObserv'ER, 2009).

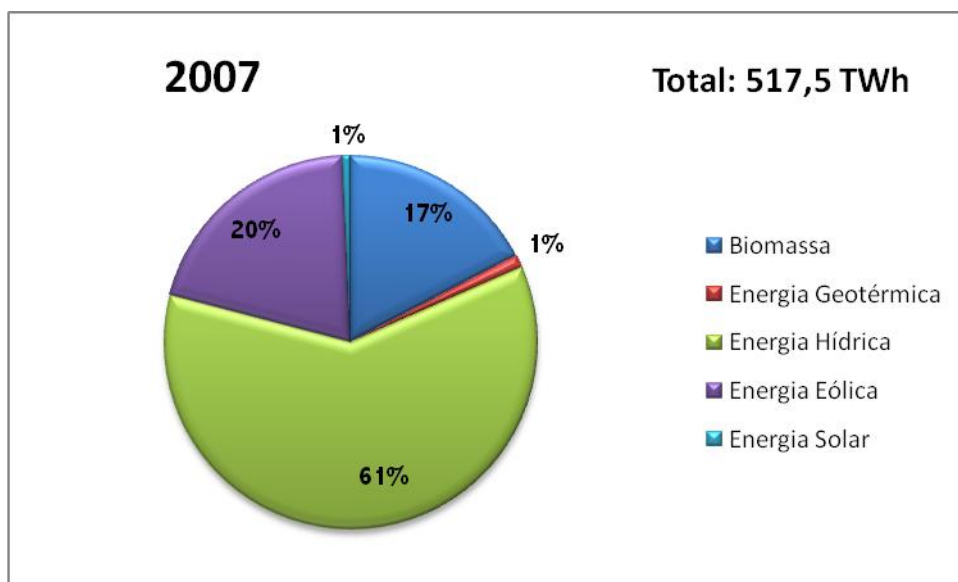


Figura 4 – Quota de cada fonte na produção de electricidade renovável na EU-27 (EurObserv'ER, 2009).

O facto de existirem diferentes ritmos de progressão e de não se assistir a um crescimento uniforme das energias renováveis na UE-27 deve-se a vários factores como diferentes regimes de apoio e complicados procedimentos administrativos (CCE, 2009).

Em 2007 a utilização de biocombustíveis nos transportes rodoviários foi de 2,6% (8,1 Mtep) (EurObserv'ER, 2009). Está previsto que em 2008 esta percentagem ascenda aos 3,4%, ficando a 2,35% do valor proposto pela Directiva 2003/30/CE (EurObserv'ER, 2009). O biodiesel representou 75% (6,1 Mtep) dos combustíveis renováveis nos transportes. Por sua vez o bioetanol representou 15% (1,24%), sendo os restantes 10% constituídos por óleos vegetais puros (CCE, 2009). A maior utilização de biocombustíveis tem contribuído para a segurança do aprovisionamento energético, tem criado novos postos de emprego e diminuído as emissões de GEE (CCE, 2009).

O sector do aquecimento e refrigeração é responsável por cerca de 50% de todo o consumo de energia final e por 60% de todo o consumo de energia renovável (CCE, 2009). Está dependente de várias fontes de energia mas é dominado pela utilização da

biomassa. Apesar da sua importância tem sido um sector esquecido, em parte devido à ausência de um quadro legislativo sólido (CCE, 2009).

A biomassa, para além de ser a maior fonte individual de energia renovável, pode ser utilizada não só na geração de calor e electricidade mas também como biocombustível nos transportes, o que faz dela uma fonte energética versátil e muito importante. Em 2006 o consumo primário de energia a partir da biomassa alcançou os 88 Mtep na UE-27, o que constituiu um aumento de 8% em relação ao ano anterior (CCE, 2009). Porém este valor encontra-se ainda longe do potencial identificado no Plano de Acção da Biomassa: 150 Mtep em 2010. Assim, a aplicação dos diferentes tipos de biomassa como fontes energéticas depende dos governos e políticas dos Estados-Membros da UE (AGROBIOGAS, 2006). Focando atenções no tema chave deste trabalho podemos identificar dois instrumentos base que regulam o biogás como fonte energética na UE: a Directiva 2009/28/CE, já referida anteriormente, e a Resolução do Parlamento Europeu, de 12 de Março, sobre agricultura sustentável e biogás. O primeiro refere que o uso de materiais agrícolas, como o estrume e o chorume, na produção de biogás tem vantagens ambientais significativas, devido ao seu potencial de redução das emissões de GEE (União Europeia, 2009). É ainda sublinhado que as centrais de biogás devido ao seu carácter descentralizado e à estrutura de investimento regional, podem ser determinantes para o desenvolvimento sustentável de zonas rurais, abrindo novas perspectivas de rendimento aos agricultores (União Europeia, 2009). A Resolução do Parlamento Europeu, de 12 de Março, sobre agricultura sustentável e biogás reconhece o biogás como uma fonte de energia vital e uma parcela importante na redução da dependência energética da UE. Salienta também que a produção de biogás a partir de várias fontes favorece a diversificação energética e que a utilização de biogás, em especial para a produção de calor e electricidade, poderá contribuir significativamente para o objectivo de 20% de energias renováveis em todo o consumo energético da UE em 2020. Há assim o incentivo para que a União Europeia e os Estados-Membros explorem o enorme potencial do biogás, criando um ambiente propício e mantendo e desenvolvendo regimes de apoio para estimular o investimento, em unidades de produção de biogás, e sua sustentabilidade.

Mais de metade da produção europeia de biogás é valorizada, sendo a restante queimada em facho (Abraham, 2007). Em 2007 a produção primária de biogás na UE alcançou os

7,2 Mtep, mais de 2 Mtep do que no ano anterior (EurObserv'ER, 2009). É estimado que este valor ascenda aos 7,5 Mtep em 2008 (Figura 5) (EurObserv'ER, 2009). Em 2007 a maior fonte de produção de biogás na Europa é representada pelas unidades agrícolas, inseridas na categoria “Outros”, juntamente com as unidades de metanização de resíduos urbanos e unidades centralizadas de co-geração. Estas foram responsáveis por 48% da produção de biogás em 2007 (Figura 6) e nos últimos anos tornaram-se na real alavanca do crescimento europeu desta energia renovável, em grande parte devido ao desenvolvimento das culturas energéticas (Figura 7). Os aterros, que em 2006 eram a maior fonte de produção de biogás, passam em 2007 para segundo lugar, representando 39% do total produzido. As ETAR's surgem em último lugar, sendo responsáveis por 13% da produção primária de biogás (Figura 6).

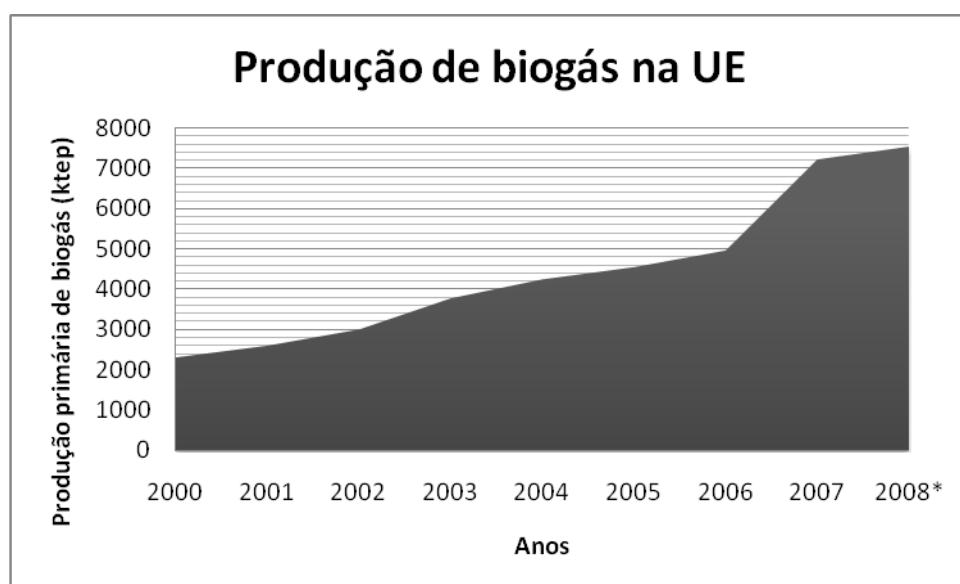


Figura 5 – Produção primária de biogás na União Europeia (EurObserv'ER, 2009) (\* valor estimado).

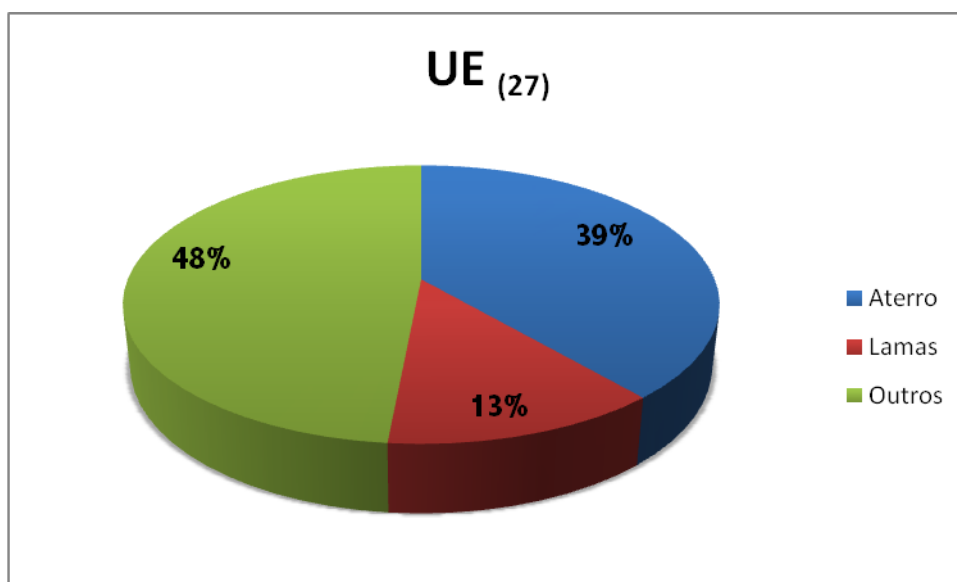


Figura 6 – Fontes da produção primária de biogás na UE-27 em 2007 (EurObserv'ER, 2009).

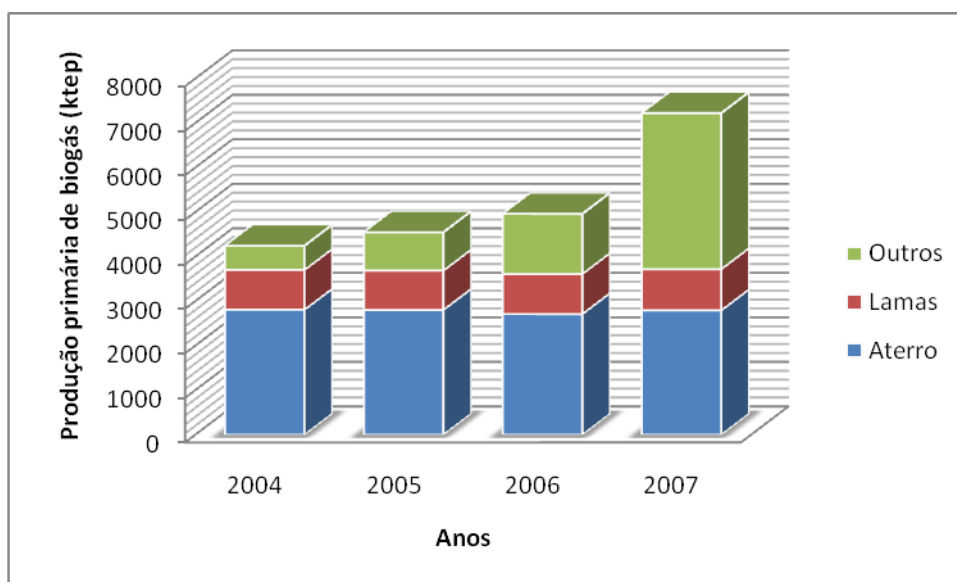


Figura 7 – Produção primária de biogás proveniente de diferentes fontes na EU-27(EurObserv'ER, 2009).

Em apenas 6 anos a produção eléctrica a partir do biogás na UE duplicou, alcançando em 2007 os 19214,4 GWh e sendo estimado que em 2008 este valor subirá até aos 19964,7 GWh (Figura 8) (EurObserv'ER, 2009). A co-geração é responsável por 19% de toda esta produção (EurObserv'ER, 2009).

Os dois países líderes na UE na produção de biogás são a Alemanha e o Reino Unido, que sozinhos representam 70,4% da produção primária de energia e 68,3% da produção eléctrica a partir do biogás (EurObserv'ER, 2009). Os restantes países e seu respectivo

posicionamento no *ranking* de produção encontram-se descritos na Figura 9, estando assinalados a vermelho os Estados-Membros que serão abordados de seguida com maior pormenor.

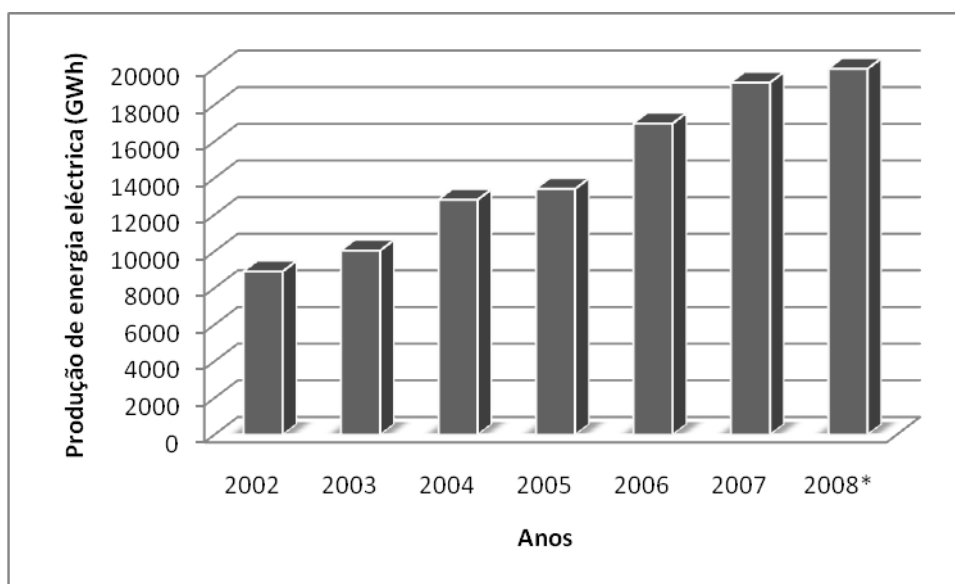


Figura 8 – Produção de energia eléctrica a partir do biogás na UE (EurObserv'ER, 2009) (\* valor estimado).

No que concerne à produção de resíduos, segundo as últimas estatísticas do Eurostat, a EU-27 gerou em 2006 cerca de três mil milhões de toneladas de resíduos (perigosos e não perigosos) (Kloek e Blumenthal, 2009) (Figura 10). A nível habitacional a produção de resíduos gerou cerca de 423 kg *per capita*, enquanto os sectores da indústria e construção foram responsáveis por mais de metade dos resíduos produzidos nesse mesmo ano. Em relação ao destino final destes resíduos 4,9% foram incinerados, 43,6% reciclados e 51,5% armazenados (Kloek e Blumenthal, 2009).

A nível legislativo existem quatro Directivas importantes no que diz respeito a resíduos (Hernández *et al.*, 2009): a Directiva 1999/31/CE que visa prevenir ou reduzir os efeitos negativos resultantes da deposição de resíduos em aterro, referindo as características que estas instalações deverão possuir; a Directiva 2000/76/CE que contém medidas de prevenção e redução da contaminação atmosférica, das águas e dos solos e dos efeitos nocivos para a saúde humana devido às actividades de incineração e co-incineração; a Directiva 2008/98/CE que revê o estatuto jurídico dos resíduos existente na União Europeia; e a Directiva 2008/1/CE que estabelece as obrigações que as actividades industriais e agrícolas de elevado potencial poluente devem cumprir.

## Produção primária de biogás na UE em 2007(ktep)

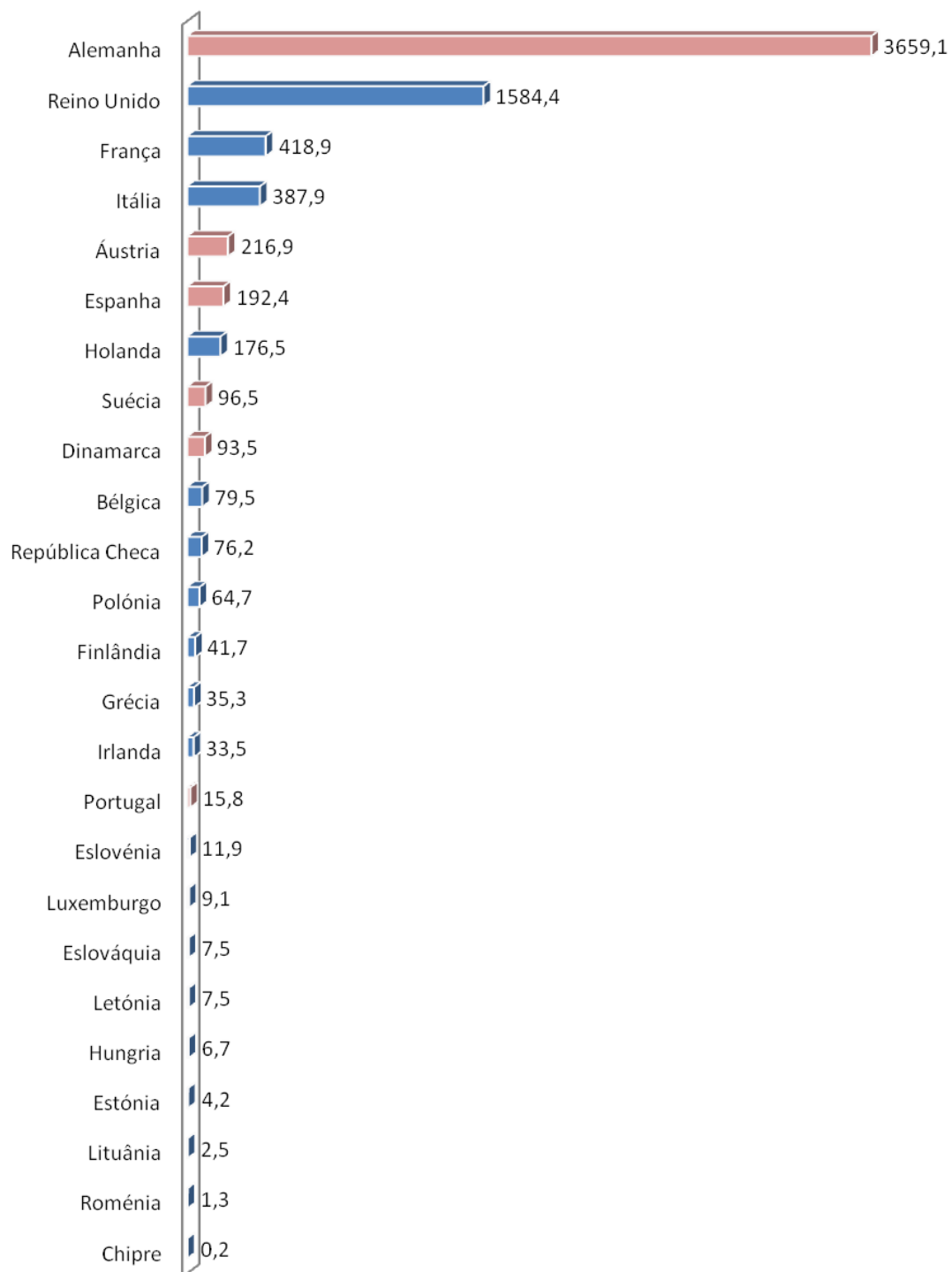


Figura 9 – Produção primária de biogás nos diferentes países da UE em 2007 (EurObserv'ER, 2009).

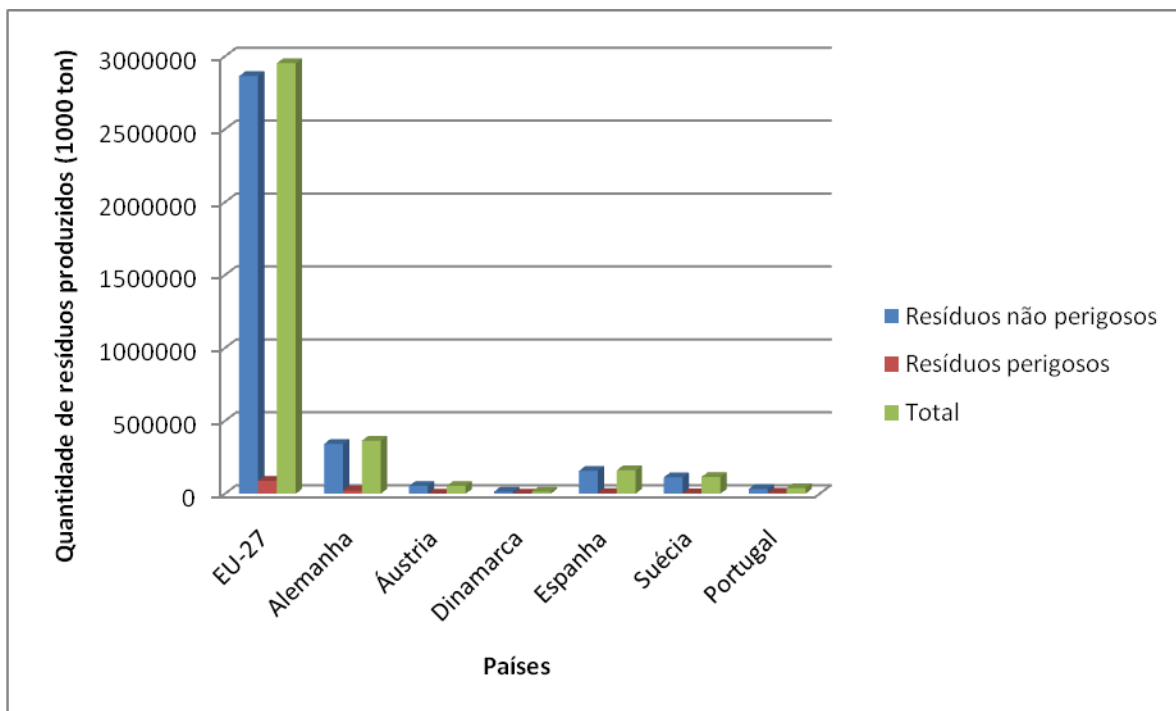


Figura 10 - Produção de resíduos (perigosos e não perigosos) em 2006 (Kloek e Blumenthal, 2009).

A Directiva 2008/98/CE refere a prevenção como medida prioritária a ser tomada, de forma a reduzir as quantidades de resíduos, os impactes negativos no ambiente e na saúde humana e o teor de substâncias nocivas presentes nos materiais. Como segunda alternativa surge a preparação para a reutilização, sendo esta definida como qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos. Em terceiro lugar aparece a reciclagem, definida como qualquer operação de valorização através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins. Depois desta opção a Directiva aponta como preferível à eliminação qualquer outro tipo de valorização, onde se inclui a valorização energética e a produção de biogás (Hernández *et al.*, 2009).

Neste trabalho depois de se ter procedido a uma caracterização geral da União Europeia em termos de energias renováveis e mais especificamente biogás irão ser aprofundados os casos concretos de alguns países, onde a utilização de diversas fontes e a aplicação de diversos fins reflecte a versatilidade desta forma de energia e auxilia na formação de directrizes para o futuro.



### 3.1 - ALEMANHA – a cultivar energia

A promoção de energias renováveis na Alemanha foi dominada nos anos 80 por diversos projectos de investigação e desenvolvimento promovidos pelo Ministério Federal de Pesquisa e Tecnologia. Deste realça-se um programa de estimulação de mercado, em 1989, que instalou 250 MW de potência eólica. Em 1991 foi introduzido o *Electricity Feed-in Act*, que obrigava os operadores de rede a pagar 80% do preço da electricidade como tarifas remuneratórias para a electricidade gerada por certas fontes renováveis (Held *et al.*, 2007).

A Directiva 2009/28/CE estabelece para este país uma quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 de 18%. Em 2008 esta quota foi de 9,5%, onde a maioria (6,6%) corresponde à biomassa. No que concerne à FER-E o objectivo estabelece-se em 12,5% de electricidade em 2010 (União Europeia, 2001). De todas as energias renováveis foi a energia eólica que demonstrou um maior crescimento alcançando 40,6 TWh de produção eléctrica em 2008. Em segundo lugar, na produção de electricidade proveniente de fontes renováveis, surge a biomassa (25,3 TWh) e em terceiro a energia hidráulica (20,8 TWh) (BMU, 2009). Em relação aos biocombustíveis a Alemanha é líder na UE com um consumo total de 3899 ktep em 2007, onde 75% corresponde ao biodiesel (EurObserv'ER, 2009).

A digestão anaeróbia como solução para o tratamento de resíduos sólidos e semi-sólidos tem aumentado nos últimos anos devido aos objectivos do governo em diminuir a alienação dos resíduos orgânicos e promover a sua reciclagem e utilização como fonte de energia renovável. Foram então estabelecidos os *Recycling and Treatment of Wastes Act* (*Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz* 1994), *Technical Instructions on Urban Wastes* (*TA-Siedlungsabfall* 1993) e *Biowaste Ordinance* (*Bioabfallverordnung* 1998) aumentando a relevância desta tecnologia como solução óptima para a problemática dos resíduos. (Weiland, 2000).

Nos últimos anos, a Alemanha tornou-se líder na produção europeia de biogás alcançando os 3,7 Mtep em 2007 (Figura 11) (EurObserv'ER, 2009). O crescimento foi de tal forma notável que a produção primária de biogás é agora 7 vezes superior aquela que foi registada no ano 2000 (EurObserv'ER, 2009). É também líder na produção

energética primária de biogás *per capita* com 29 tep por cada 1000 habitantes (EurObserv'ER, 2008). Este aumento deve-se principalmente ao desenvolvimento de unidades de produção de biogás agrícola, que em 2008 eram cerca de 4000 com uma capacidade eléctrica total de 1400 MW (Figura 12) (Weiland, 2009). Esta fonte energética, juntamente com as unidades centralizadas de co-digestão e as unidades de metanização de resíduos sólidos urbanos (categoria “Outros”), representou cerca de 80% da produção primária de biogás em 2007 (Figura 13), mais 19% do que em 2006.

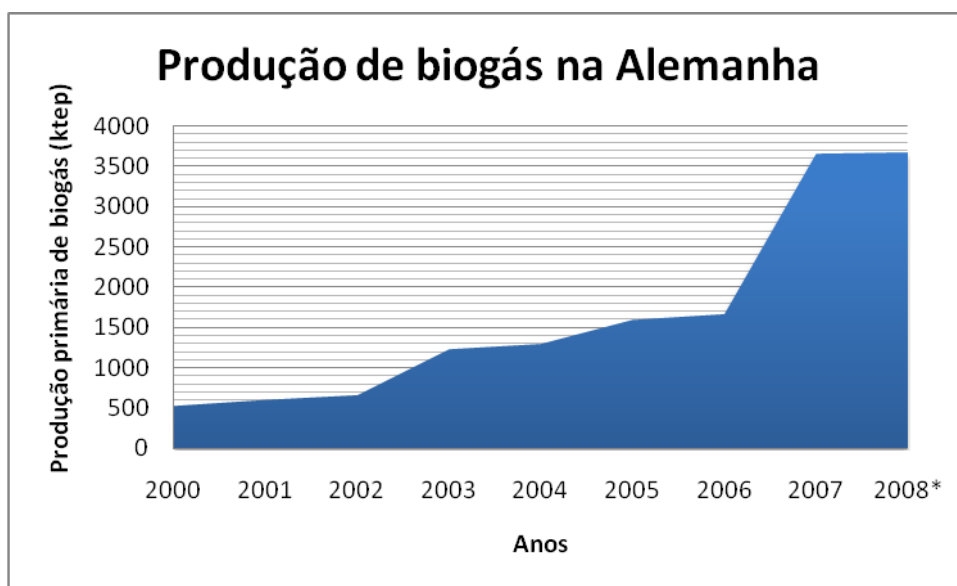


Figura 11 – Evolução da produção primária de biogás na Alemanha (EurObserv'Er, 2003a-2009a) (\* valor estimado).

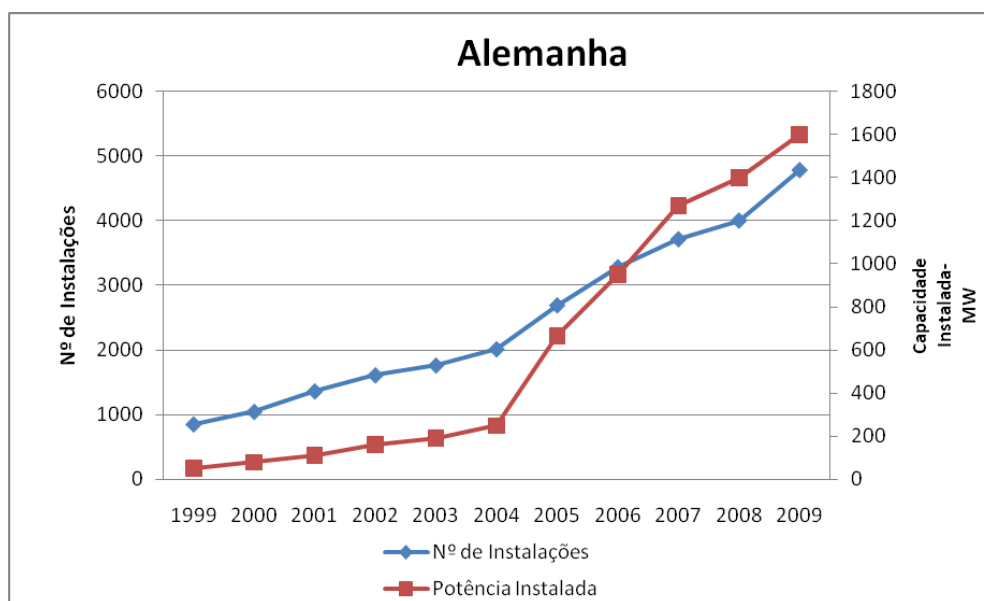


Figura 12 – Número de instalações de biogás agrícola com a sua capacidade eléctrica instalada (adaptado de FNR, 2009)

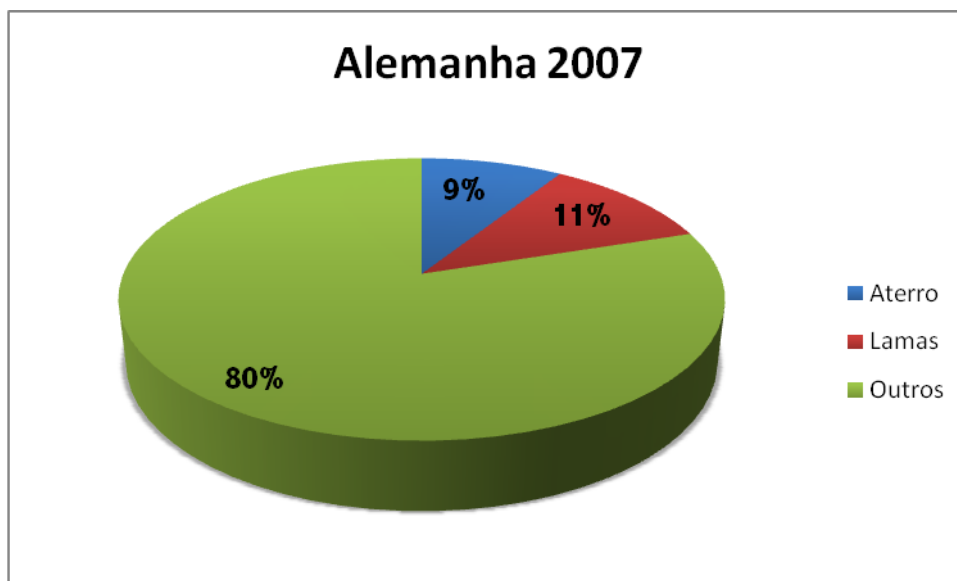


Figura 13 – Fontes de produção de biogás na Alemanha em 2007 (EurObserv'ER, 2009a).

Nestas instalações, o biogás é produzido a partir do estrume, resíduos orgânicos domésticos, resíduos agro-industriais e agro-alimentares e, especialmente, a partir de culturas energéticas (Weiland, 2006). Para aumentar o rendimento de produção, a maioria das instalações utilizava o processo de co-digestão, onde o estrume era misturado com outros resíduos (domésticos ou industriais). Porém, devido às normas de higiene e reciclagem de nutrientes se terem tornado mais rigorosas, este tratamento está a ser cada vez menos utilizado. Assim as culturas energéticas formam uma alternativa valiosa para estas unidades, representando o co-substrato com o potencial mais elevado da UE (Weiland, 2009). Várias plantas e materiais vegetais já foram testadas em relação ao seu potencial de produção de metano. Apesar de o milho ser a cultura energética mais utilizada neste tipo de instalações, existem inúmeras opções, como a erva, com um potencial que varia entre 120 e 658 m<sup>3</sup>.t SV<sup>-1</sup> (Braun *et al.*, 2006) (Tabela 4). Um banco de dados sobre o rendimento destas culturas, climas favoráveis e condições de crescimento foi elaborado pelo recente projecto “CROPGEN” financiado pela UE. Na Alemanha as culturas energéticas representam o substrato com maior potencial energético: 59% do total se 11% da terra cultivável for utilizada para este propósito (Weiland, 2009). Como vantagens destas culturas pode-se referir o facto de permitirem um crescimento agrícola através da procura local de matérias-primas, de novos investimentos rurais e da criação de postos de trabalho (Braun *et al.*, 2006).

Tabela 4 – Valores de produção de metano de diversas plantas e materiais vegetais ( adaptado de Braun, *et al.*, 2006).

<b>Cultura energética</b>	<b>Produção de metano (m<sup>3</sup> por t de SV)</b>
Milho (toda a cultura)	205-450
Trigo (grão)	384-426
Aveia (grão)	250-295
Centeio (grão)	283-492
Gramíneas	298-467
Trevo	345-350
Girassol	154-400
Linho	212
Batata	276-400
Cevada	353-658

Porém este aumento da procura – 98% das novas instalações utilizam culturas energéticas (EurObserv'ER, 2008b) - levou a uma subida de preço destas matérias-primas agrícolas e das próprias unidades de digestão anaeróbia. Por exemplo, o preço do milho subiu 83% entre 2006 e 2007 e o preço de instalação de uma unidade de 500kWe duplicou entre 2003 e 2006 (EurObserv'ER, 2008b). Inevitavelmente pudemos assistir, no ano de 2007, a um declínio na taxa de crescimento das unidades de produção: 250 novas instalações contra 800 no ano anterior (EurObserv'ER, 2008b). Em 2008 o número manteve-se quase estável (300 unidades) o que se reflecte na produção anual estimada pelo EurObserv'ER que registou um aumento pouco significativo (Figura 11).

A produção de electricidade é a utilização principal do biogás na Alemanha (Eriksson e Olsson, 2007). No ano de 2007 alcançou os 8351,3 GWh produzidos, ocupando mais uma vez o primeiro lugar no *ranking* da UE (EurObserv'ER, 2009) (Figura 14). Em 2008 o biogás representou cerca de 1,3% da produção eléctrica total do país, sendo que o total das energias renováveis é 15,1% (BMU, 2009). Como já foi referido anteriormente, a Alemanha, a par com a Hungria, é o único país que já ultrapassou a meta proposta pela Directiva 2001/77/CE (CCE, 2009). O instrumento legal mais importante na promoção da produção de electricidade oriunda de fontes renováveis é o *Renewable Energy Act (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)* que entrou em vigor no ano 2000, substituindo o anterior *Electricity Feed-in Act*. Desde essa altura foi

actualizado duas vezes, uma em 2004 e mais recentemente em 2008 (FNR, 2009). Este instrumento regula a ligação preferencial de instalações que produzem electricidade de fontes renováveis e a venda, transmissão e compra da electricidade pelo operador de rede. Define também as taxas de pagamento para cada kWh de electricidade renovável que é alimentada na rede pública, variando o pagamento base de acordo com o tipo de energia renovável, a tecnologia e a capacidade da instalação (FNR, 2009).

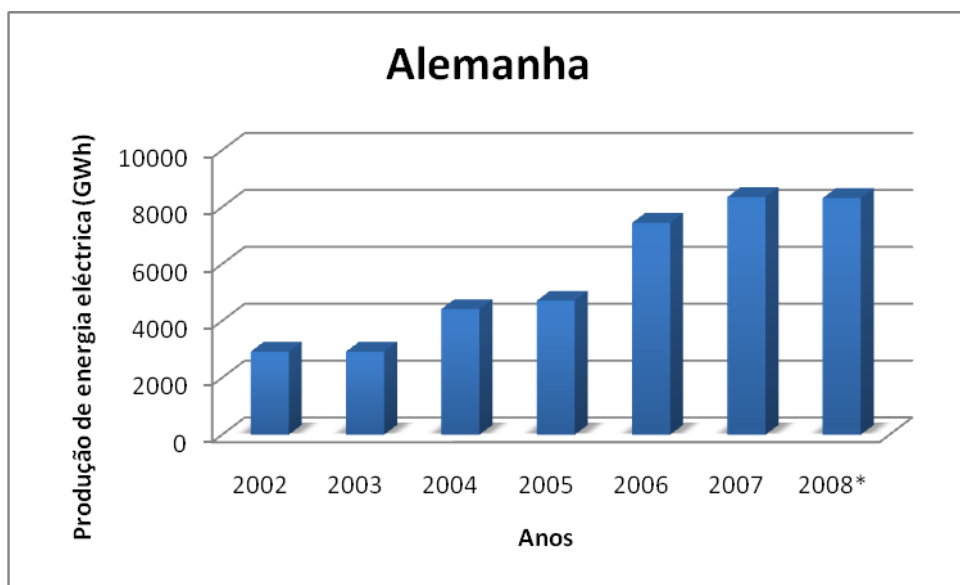


Figura 14 – Produção de energia eléctrica na Alemanha no período 2002-2008 (EurObserv'ER, 2004b-2009b) (\* valor estimado).

O EEG foi e continua a ser um sucesso devido a quatro elementos essenciais (Porsche, 2007):

- prioridade de ligação à rede de instalações para geração de electricidade de energias renováveis;
- prioridade na compra e transmissão desta electricidade;
- uma taxa consistente para a electricidade paga pelos operadores da rede, normalmente por um período de 20 anos;
- equitação nacional da electricidade comprada e correspondentes taxas;

A nova emenda colocou em vigor, a partir do início de 2009, uma série de alterações que se reflectem no valor das remunerações (Tabela 5): a degressão da tarifa para a biomassa passou de 1,5% para 1%; a tarifa para o kWh de electricidade para a biomassa para instalações com menos de 150 kWe tem agora o valor de 11,67 ¢cent/kWh; o

bónus para o uso de electricidade proveniente de biogás agrícola passou de 6 para 7 ¢cent/kWh para fábricas com menos de 500 kWe; foram adicionados bónus para unidades que usem mais de 30% de estrume líquido e para aquelas que os seus resíduos resultem da limpeza de espaços verdes; o prémio para a co-geração subiu de 2 para 3 ¢cent/kWh para unidades abaixo dos 20MWe. Outra inovação é que as unidades que produzirem biogás purificado irão beneficiar de um prémio (bónus tecnologia) que irá depender da eficiência da fábrica: 2 ¢cent/kWh para unidades que produzam 350 Nm<sup>3</sup> por hora e 1 ¢cent/kWh para unidades que produzam mais de 700 Nm<sup>3</sup> por hora. As tarifas serão asseguradas durante um período de 20 anos (FNR, 2009; EurObersv'ER, 2008b).

Tabela 5 – Valores das tarifas remuneratórias para a electricidade produzida a partir da biomassa de acordo com o *Renewable Energy Act* de 2008 (adaptado de FNR, 2009).

Tarifas	Capacidade			
	< 150KWe	150-500KWe	500KWe-5MWe	5MWe-20MWe
Tarifa Base (¢cent/kWh)	11,67	9,18	8,25	7,79
Bónus Co-geração (¢cent/kWh)	3	3	3	3
Bónus Biomassa (¢cent/kWh)	7	7	4	
Bónus Tecnologia (¢cent/kWh)	2	2	2	
Bónus Estrume (¢cent/kWh)	4	1		
Bónus Conservação da paisagem (¢cent/kWh)	2	2		
Bónus redução de emissões (¢cent/kWh)	1	1		

Esta lei assegura também o aumento da tarifa para a electricidade produzida a partir do gás de aterro para unidades superiores a 500 kWe, passando de 7,11 ¢cent/kWh para 9 ¢cent/kWh e as fábricas com mais de 5 MWe continuam com a tarifa de 6,16

€cent/kWh. A tarifa irá permanecer para biogás de esgoto: 7,11 €cent/kWh acima dos 500kWe e 6,16 €cent/kWh acima de 5 MWe. Paralelamente foi aprovada a 12 de Março de 2008 uma nova lei respeitante a injeção de gás na rede para promover a injeção de biometano (biogás purificado) com o objectivo de substituir 10% do consumo de gás natural por biogás até 2030. Quanto à electricidade produzida de fontes renováveis, a lei dá aos fornecedores de biometano prioridade para injectarem a sua produção na rede de gás natural. (EurObserv'ER, 2008b).

### **3.2 - ÁUSTRIA - os méritos da co-digestão**

A Directiva 2009/28/CE estabelece para a Áustria uma quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 de 34%. No ano 2007 esta quota foi de 28,8% (EREC, 2009a). Em relação à FER-E, o objectivo estabelece-se em 78% de electricidade para 2010 (União Europeia, 2001). Com a quota de 65% de electricidade consumida proveniente de FER em 2007, a Áustria é o líder europeu no que concerne ao consumo de electricidade renovável (EREC, 2009a). A maioria desta electricidade é produzida pela energia hídrica (86,6%), seguida pela biomassa e pela energia eólica (EREC, 2009a).

Em 2007, a Áustria ocupou o 5º lugar da produção primária de biogás com 216,9 ktep produzidos (Figura 15) (Tabela 6). Estima-se que em 2008 este valor ascenderá aos 232,4 ktep (EurObserv'ER, 2009). Este quinto lugar é mantido na produção primária de biogás *per capita*, com 16,8 ktep por cada 1000 habitantes (EurObserv'ER, 2008b). A maior parte da produção provém de unidades agrícolas (95% do biogás produzido), sendo que os aterros e as ETAR's representam uma parcela mínima (Figura 16).

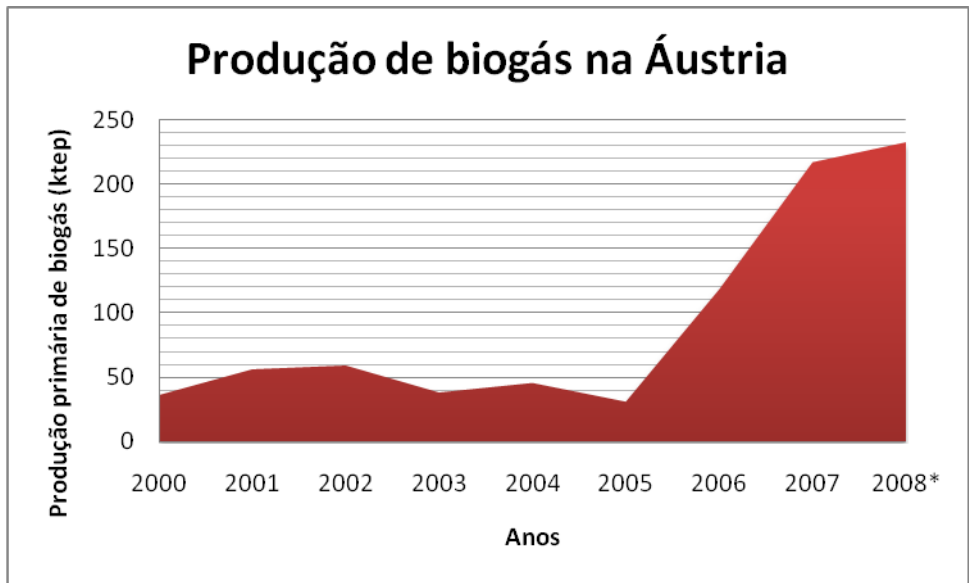


Figura 15 – Evolução da produção primária de biogás na Áustria (EurObserv'Er, 2003ª-2009a)

(\* valor estimado).

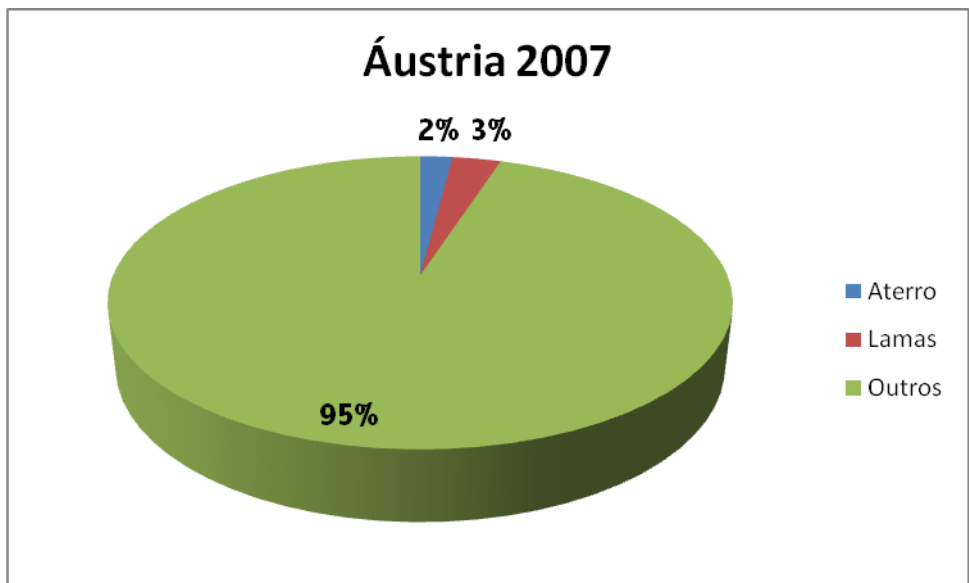


Figura 16 – Fontes de produção de biogás na Áustria em 2007 (EurObserv'ER, 2009a).

Com a redução dos subsídios Europeus no sector agrícola, a situação dos agricultores na Áustria tornou-se cada vez mais difícil. Ao mesmo tempo, os preços da energia subiram significativamente. Logo, a produção de energia a partir do estrume e de outros resíduos agrícolas tornou-se economicamente interessante. Assim à semelhança da Alemanha a Áustria tem desenvolvido nestes últimos anos unidades agrícolas de co-digestão (EurObserv'ER, 2008) onde são utilizadas principalmente culturas energéticas (Braun *et*



al., 2007). Já referida anteriormente a co-digestão consiste na digestão simultânea de uma mistura homogênea de dois ou mais substratos (Figura 17) (Braun e Wellinger, 2006). Usualmente utiliza-se uma quantidade maior de substrato base (estrupe ou lamas) com uma porção menor de substratos adicionais. Antigamente a digestão anaeróbia utilizava apenas um único substrato, mas com o desenvolvimento de novas tecnologias e conhecimentos a co-digestão passou a ser uma opção muito utilizada (Braun e Wellinger, 2006). Este processo oferece diversas vantagens, entre elas a melhoria no balanço nutricional, que permite um processo de digestão mais fiável e uma melhor qualidade do biofertilizante digerido; a homogeneização dos resíduos através da mistura com estrume ou lamas; uma produção mais estável de biogás ao longo do ano; e a introdução das culturas energéticas activando assim um novo potencial agrícola (Braun e Wellinger, 2006).

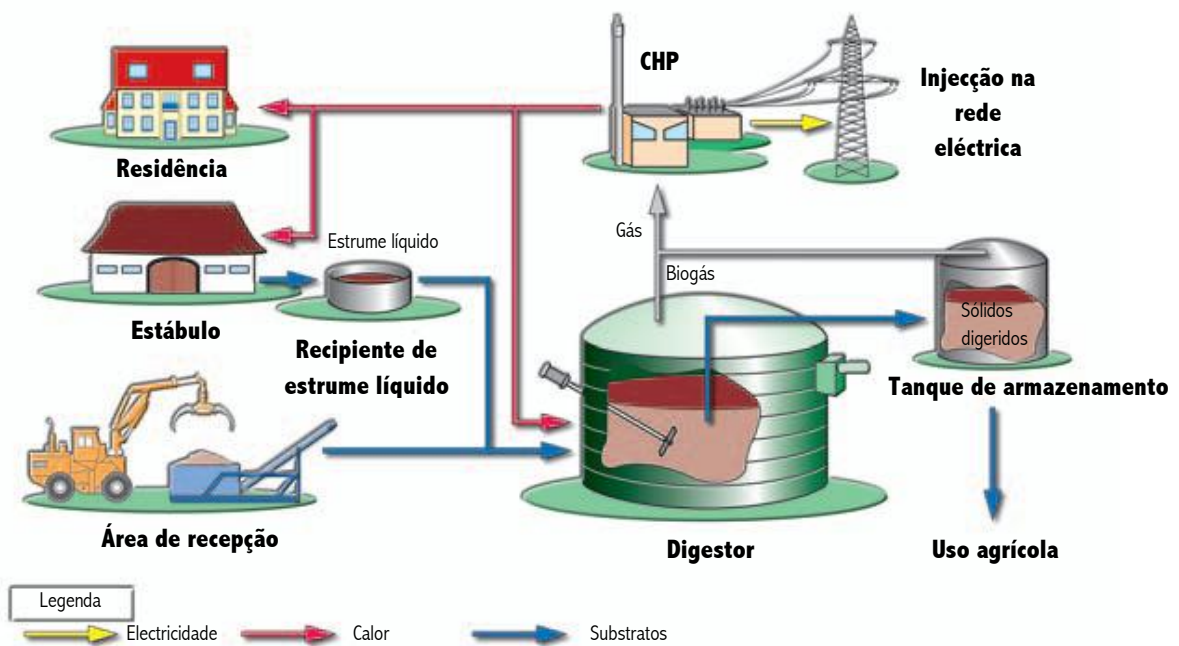


Figura 17 – Esquema de produção de biogás numa quinta utilizando co-digestão (FNR, 2009).

Tabela 6 – Número de instalações de biogás na Áustria e sua produção.

Fonte	Número de instalações	Produção de biogás (ktoe)
Aterro	62	4,8
Lamas	134	
Industria	25	5,8
Agricultura	350	
Municípios	15	206,3
TOTAL	586	216,9

Devido a tarifas atractivas, a maioria do biogás produzido a partir de culturas energéticas é utilizado principalmente na produção de energia eléctrica (Braun *et al.*, 2007). Em 2007, a Áustria era o quarto país na UE que mais produzia electricidade a partir do biogás (831,4 GWh) (EurObserv'ER, 2009). Para 2008 é estimado que a produção ascenda aos 968,7 GWh (Figura 18) (EurObserv'ER, 2009).

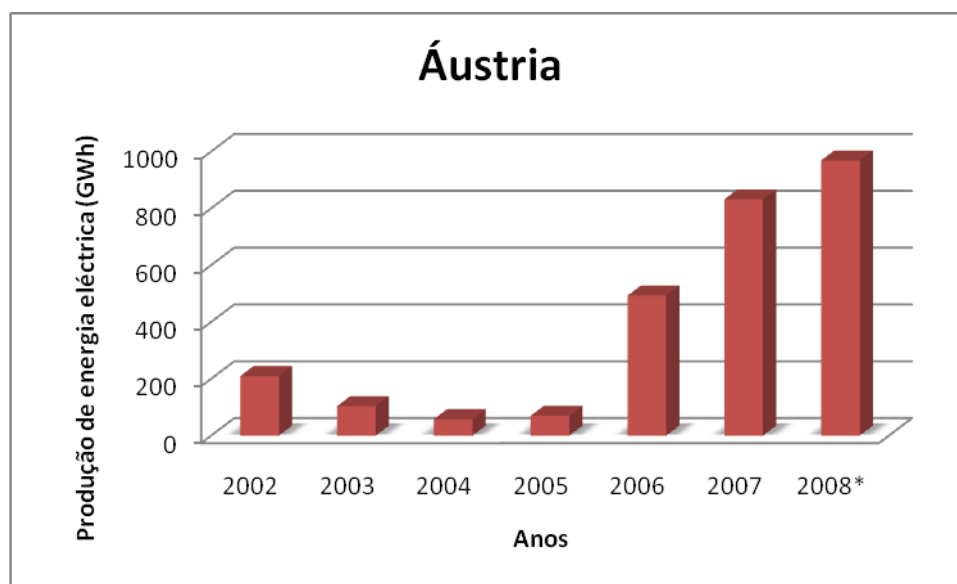


Figura 18 – Produção de energia eléctrica na Áustria no período 2002-2008 (EurObserv'ER, 2004b-2009b) (\* valor estimado).

O Governo Austríaco transpôs a Directiva 2001/77/EC para a lei nacional através do *Green Electricity Act (Ökostromgesetz) 2002* que regula e estabelece as medidas de

suporte aos sistemas de electricidade proveniente de fontes renováveis. Foi emendada em 2006 mas condições de investimento menos favoráveis fizeram com que acontecesse uma estagnação nos progressos das FER-E (IEA Bioenergy Task 38, 2006a). Uma nova emenda surgiu em 2008 e em 2009 este “*Ökostromgesetz 2008*” (BGBI I Nr.114/2008, 8.8.2008) encontrava-se expandido e em força. As tarifas foram publicadas no “*Ökostromverordnung 2008*” (BGBI II Nr. 59/2008, 14.2.2008). A emenda estabelece o objectivo de 15 % de electricidade produzida a partir de fontes renováveis (sem ter em conta a energia hídrica de larga escala) em 2015 (EREC, 2009a). O período de garantia das tarifas subiu para 15 anos no caso da biomassa e do biogás (Braun, 2009). O uso de substratos não agrícolas reduz a tarifa em 30%. O preço de compra de 16,94 €cent/Mwh é particularmente favorável para instalações de pequena escala com potência inferior ou igual a 100kWe (Tabela 7). O aumento do preço das matérias-primas obtidas a partir das culturas energéticas diminuiu consideravelmente o ritmo das instalações de pequenas unidades agrícolas em 2007, como aconteceu na Alemanha (EurObserv’ER, 2008).

Tabela 7 - Valores das tarifas remuneratórias para a electricidade produzida a partir da biomassa de acordo com *BGBI II Nr. 59/2008, 14.2.2008*.

Fonte de energia	Capacidade	Tarifa (€cent/kWh)
Biogás proveniente da produção agrícola	≤ 100 kWe	16,94
	>100 – 250 kWe	15,14
	>250-500 kWe	13,99
	>500kWe – 1MWe	12,39
	>1 Mwe	11,29
Biogás da co-fermentação de resíduos		Menos 30% da tarifa acima
Lamas		5,94
Aterro		4,04

### **3.3 - DINAMARCA – o berço da digestão centralizada**

Desde os anos 70 que a Dinamarca foi das poucas nações a manter uma aposta forte nas energias renováveis. Enquanto os programas de outros países arrancavam e paravam, os dinamarqueses mantiveram a aposta no desenvolvimento deste sector. A segurança energética, a auto-suficiência e a eficiência têm-se mantido como objectivos principais desta política ao longo dos anos (Lipp, 2007). Desde 1999 que a Dinamarca tem sido auto-suficiente a nível energético e em 2008 registou 130% de auto-suficiência sendo o único país da UE a conseguir este estatuto (Danish Energy Agency, 2009).

Em 1973, a energia renovável na Dinamarca era de 0,38 Mtep, ou 1,8% do total do consumo. Porém, nos 30 anos anteriores a 2003, o consumo com base nestas fontes aumentou cerca de 700% alcançando os 2,79 Mep, 13,4% do total. Isto coloca o país no nono lugar da lista de 26 países da Agência Internacional de Energia (AIE) categorizados nas percentagens que vêm deste tipo de energia. Este lugar é realmente de louvar devido à quase ausência de hidroenergia na Dinamarca. Esta tem a contribuição absoluta mais baixa de hidroenergia entre todos os países da AIE. (AIE/OCDE, 2006). Por outro lado a Dinamarca é líder mundial na energia eólica marítima com mais de 400 MW instalados em 2007 (EREC, 2009b).

A Directiva 2009/28/CE estabelece para este país uma quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 de 30% (União Europeia, 2009). A marca nacional de FER-E para 2010 de acordo com a Directiva 2001/77/CE é 29%. Em 2007 a quota de FER era 17 % e a de FER-E era 27,9% (EREC, 2009b). Em 2008 a biomassa representava mais de 40% da electricidade e calor renovável utilizados e mais de 80% se tivermos em consideração apenas o uso final de energia renovável (Figura 19) (Danish Energy Agency, 2009).

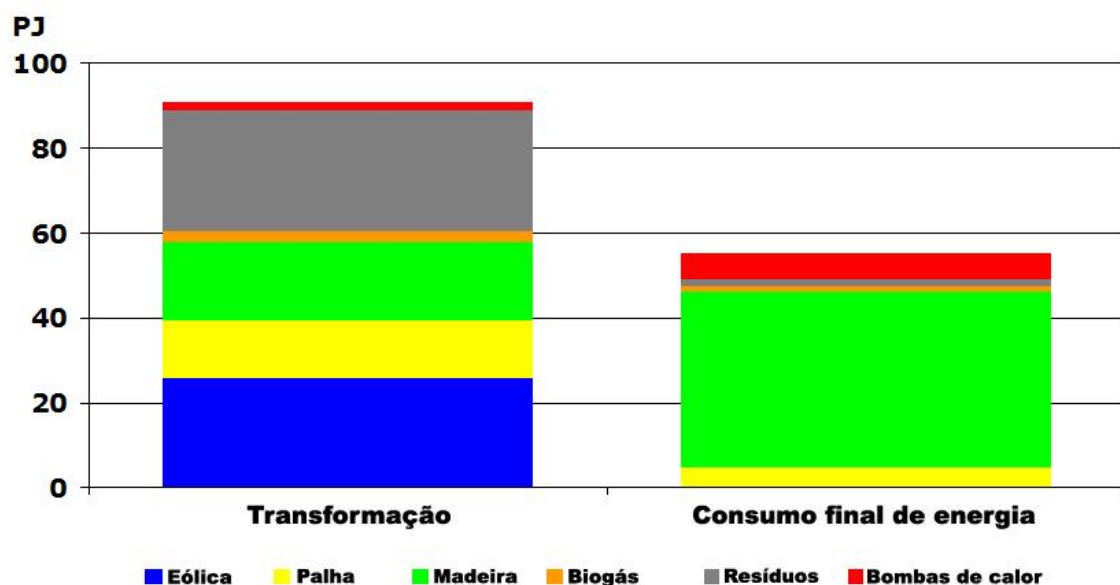


Figura 19 – Uso de energia renovável em 2008 na Dinamarca (adaptado de Danish Energy Agency, 2009)

As primeiras instalações de biogás surgiram na crise energética de 1973, altura em que os altos preços da energia estimularam os agricultores, centros de investigação e companhias tecnológicas a investigar a geração de energia a partir do estrume. Em 1978 o Ministério do Comércio criou um programa para o desenvolvimento tecnológico de unidades de biogás (STUB – *Cooperation for Technological Development of Biogas Plants*), que para além de financiar novas instalações apoiava as que já existiam (Raven e Gregersen, 2007).

O desenvolvimento das unidades de biogás na Dinamarca é considerado um sucesso. Cerca de 30 anos de pesquisa, experimentação e construção resultaram numa das nações mais desenvolvidas a nível de biogás (Eriksson e Olsson, 2007). Em 2008 foi estimado que a Dinamarca ocupe o 10º lugar da produção primária de biogás na UE, tendo produzido cerca de 93,5 ktep (Figura 20). Se por outro lado tivermos em consideração a produção de biogás *per capita* o país sobe para o 4º lugar com 18 tep produzidas por cada 1000 habitantes em 2007 (EurObserv'ER, 2008b). À semelhança da Alemanha e da Áustria também a Dinamarca tem como maior fonte produtiva de biogás a agricultura, que é responsável por 70% da produção nacional (Figura 21). As estações de tratamento de águas residuais representam 22% e os aterros os restantes 8%.

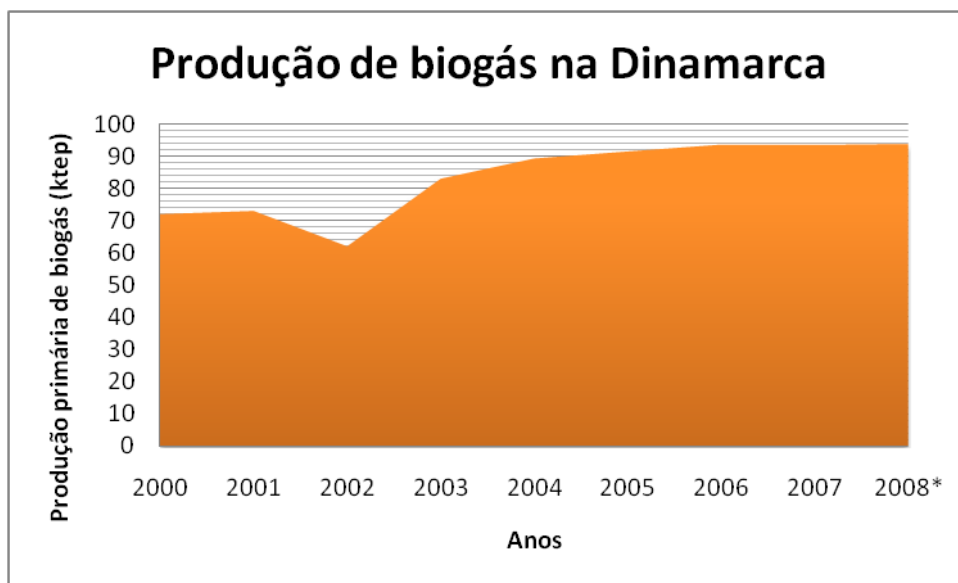


Figura 20 – Evolução da produção primária de biogás na Dinamarca (EurObserv'ER, 2003a-2009a) (\* valor estimado).

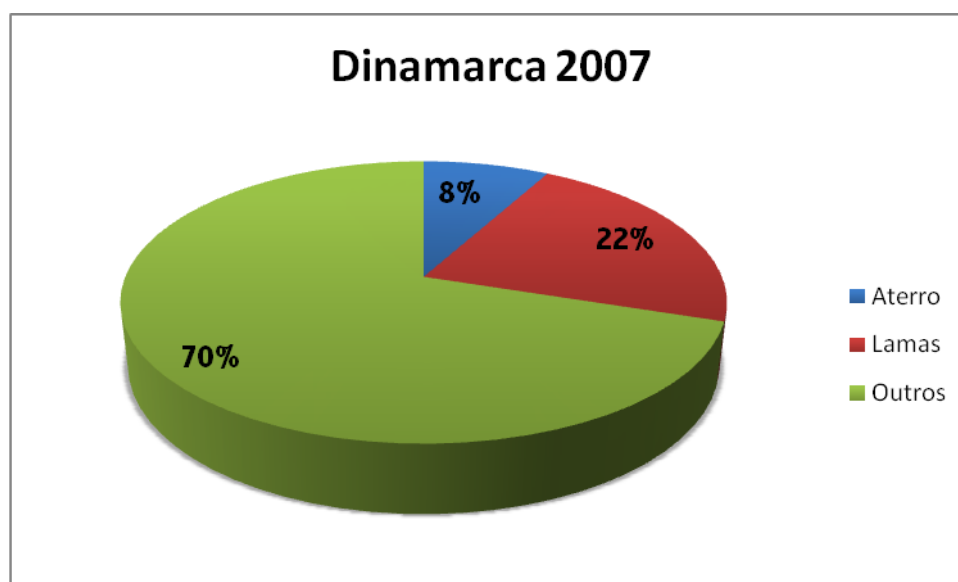


Figura 21 – Fontes de produção de biogás na Dinamarca em 2007 (EurObserv'ER, 2009a).

A Dinamarca é conhecida pelo conceito de instalação centralizada de biogás em que uma comunidade de agricultores coopera numa organização para abastecer e digerir o estrume numa unidade de biogás central (Figura 22) (Raven e Gregersen, 2007). Este processamento colectivo de resíduos apresenta inúmeras vantagens (CCE, 2000): *i*) as instalações mais reduzidas, incapazes de viabilizar uma instalação individual, encontram nesta forma uma solução viável para os seus resíduos; *ii*) o processamento e destino final dos resíduos fica a cargo da estação colectiva libertando os produtores individuais destes encargos humanos e financeiros; *iii*) permite o controlo de focos

dispersos de poluição numa região. Desta forma o ciclo produtivo de biogás transforma-se num sistema integrado de produção de energia renovável, de utilização de recursos, de tratamento de resíduos orgânicos e reciclagem de nutrientes (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Estas vantagens fazem com que esta tecnologia consiga combinar benefícios ambientais diversos ao longo dos vários sectores. O facto de os dinamarqueses reconhecerem as fábricas de biogás como uma tecnologia multi-funcional é o factor crucial para o sucesso destas na Dinamarca

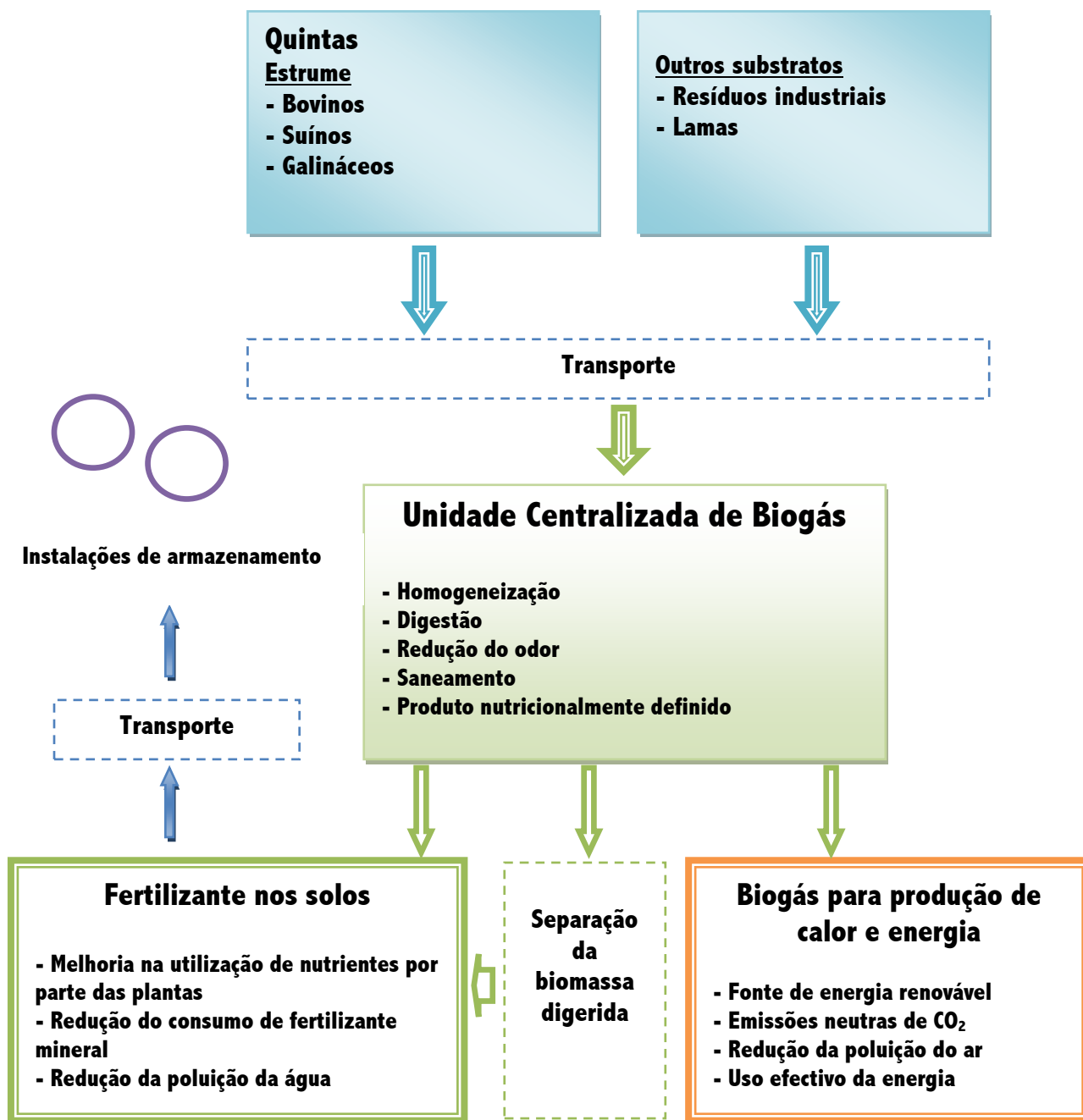


Figura 22 – Esquemática do conceito de instalação centralizada de co-digestão (adaptado de Holm-Nielsen *et al.*, 2009).

A percepção de uma unidade centralizada como uma tecnologia amiga do meio ambiente veio com o Programa de Acção para o Biogás (*Biogas Action Programme*). São três os motivos chave que fizeram deste programa um sucesso inegável. Primeiro, os ministros em questão aplicaram uma estratégia *bottom-up* e estimularam a interacção entre os diversos grupos sociais. Isto contribuiu para o estabelecimento de uma rede social que apoiava o desenvolvimento das instalações centralizadas de biogás e se centrava na aprendizagem interactiva. Em segundo, a continuidade do programa de acção e apoios financeiros durante um longo período também foi determinante. A maioria das tecnologias renováveis necessita de longos períodos de desenvolvimento e actores dedicados são importantes para se construírem experiências e competências. Em terceiro lugar, as circunstâncias dinamarquesas específicas foram muito importantes para o desenvolvimento deste conceito. A política de estabelecer unidades de cogeração descentralizadas de gás natural e biomassa, a existência de diversos sistemas de aquecimento, a implementação de taxas de energia nos anos 80 e a preferência dos agricultores dinamarqueses em cooperarem em pequenas comunidades favoreceu o desenvolvimento deste conceito (Raven e Gregersen, 2007).

A Dinamarca tem quase exclusivamente unidades de co-geração, o que significa que a maioria dos processos de digestão anaeróbia produz electricidade e calor (Eriksson e Olsson, 2007). Em 2007 estas unidades eram responsáveis por 99% dos 271,3 GWh de electricidade produzida (EurObserv'ER, 2009) (Figura 23), processando na sua maioria, estrume líquido misturado com resíduos alimentares. Estima-se que 6,5% do estrume líquido seja tratado por metanização. A recuperação de calor através da co-geração está muito presente devido ao grande número de pequenas redes de aquecimento que abastecem 60% dos domicílios (EurObserv'ER, 2008b).



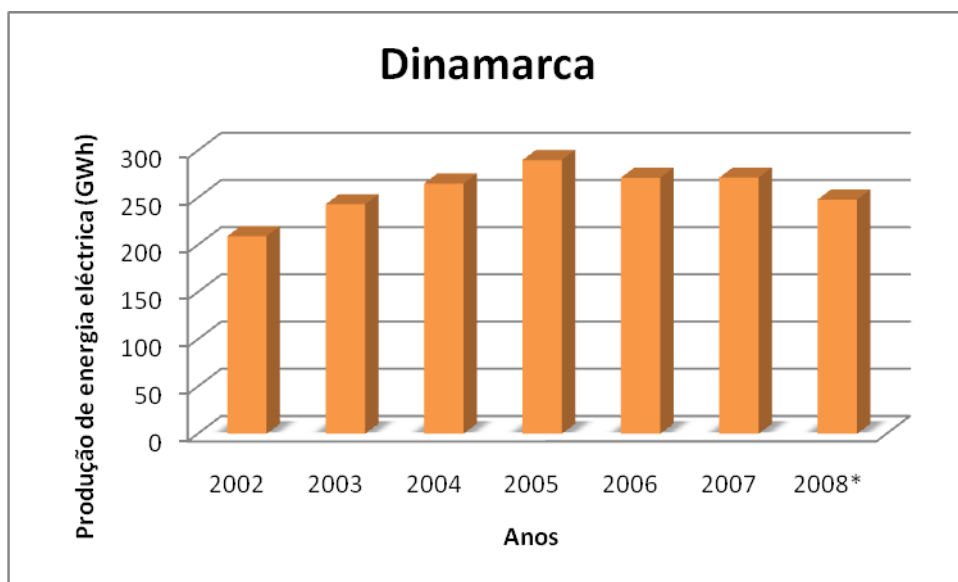


Figura 23 – Produção de energia eléctrica na Dinamarca no período 2002-2008 (EurObserv'ER, 2004b-2009b) (\* valor estimado)

A nova legislação de 21 de Fevereiro de 2008 veio estimular a produção de biogás na Dinamarca: o preço de compra aumentou para 10 €cent/kWh para a electricidade produzida a partir do biogás e o biogás purificado injectado na rede de gás natural beneficia de uma obrigação de pagamento de 5,4 €cent/kWh (EurObserv'ER, 2008b). O objectivo do governo é aumentar a produção corrente de 93,5 ktep para 239 ktep em 2020, equivalente a 1,2% das previsões de consumo para essa altura (EurObserv'ER 2008b). Em 2007, a Dinamarca possuía 160 unidades de metanisação: 10 aterros, 64 estações de tratamento de resíduos domésticos, 5 estações de tratamento de resíduos alimentares, 21 unidades de co-digestão e 60 unidades à escala de quinta (Tabela 8) (EurObserv'ER, 2008b).

Tabela 8 - Número de instalações de biogás na Dinamarca e sua produção.

Fonte	Número de instalações	Produção de biogás (ktep)
Aterros	10	14,3
Lamas	64	
Indústria	5	21
Agricultura (co-digestão)	21	
Agricultura (unidades à escala de quinta)	60	62.6
<b>TOTAL</b>	<b>160</b>	<b>97.9</b>

### 3.4 - SUÉCIA – combustível automóvel

A Suécia planeia ser, em 2020, a primeira economia mundial livre de petróleo (EREC, 2009c). O uso de crude e dos produtos seus derivados diminuiu 43% desde 1970, enquanto a produção de electricidade aumentou cerca de 140% no mesmo período (Swedish Energy Agency, 2008). Este aumento deveu-se principalmente à expansão da produção de energia hídrica (Swedish Energy Agency, 2008). A Directiva 2009/28/CE estabelece como quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia para 2020 49%, sendo que a Directiva 2001/77/CE define 60% de electricidade proveniente de fontes renováveis como objectivo fixo para 2010. Em 2005 o consumo final de energia proveniente de fontes renováveis foi 39,8% e em 2006 a quota de electricidade renovável produzida foi de 48,47% (EREC, 2009c).

A Suécia distingue-se dos países anteriormente estudados em três pontos essenciais: a origem do biogás produzido, a utilização do mesmo e o esquema de incentivo utilizado. Em primeiro lugar a produção primária de biogás em 2007 (96,5 ktep) (Figura 24) (Tabela 9) proveio principalmente (54%) de estações de tratamento de resíduos urbanos e industriais, ao contrário da Alemanha, da Áustria e da Dinamarca, que encontram na agricultura a sua maior fonte energética (EurObserv'ER, 2009). De facto as instalações agrícolas, em conjunto com as instalações municipais de metanização e as centrais de cogeração, representam apenas 20% da produção, aparecendo em último lugar a seguir aos aterros (Figura 25). Para o ano de 2008 foi estimada uma subida na produção na ordem dos 7%, atingindo o valor de 103 ktep (EurObserv'ER, 2009). O número de instalações de biogás na Suécia em 2007 reflecte de forma transparente a tendência demonstrada na produção, com a existência de 139 estações de tratamento de resíduos industriais e urbanos (Tabela 9) (EurObserv'ER, 2008). Apesar das estatísticas presentes é o sector agrícola que apresenta o maior potencial para a produção de biogás (Swedish Gas Center, 2007). Num cenário onde 10% da terra arável pode ser utilizada para ao cultivo de culturas energéticas o potencial de produção aumenta para os 1200 ktep, cerca de 13 vezes mais do que a produção actual (Swedish Gas Center, 2007).

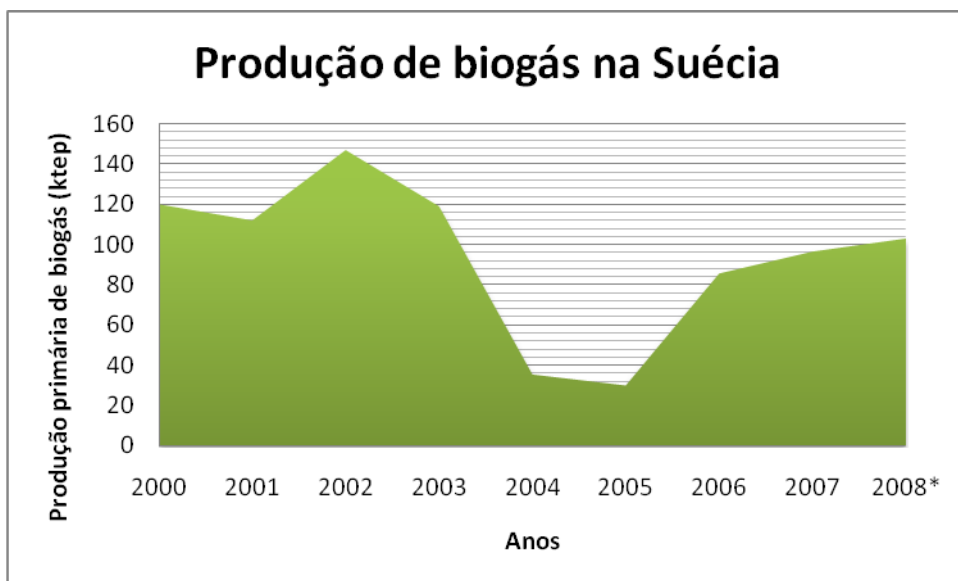


Figura 24 – Evolução da produção primária de biogás na Suécia (EurObserv'ER, 2004b-2009b) (\* valor estimado).

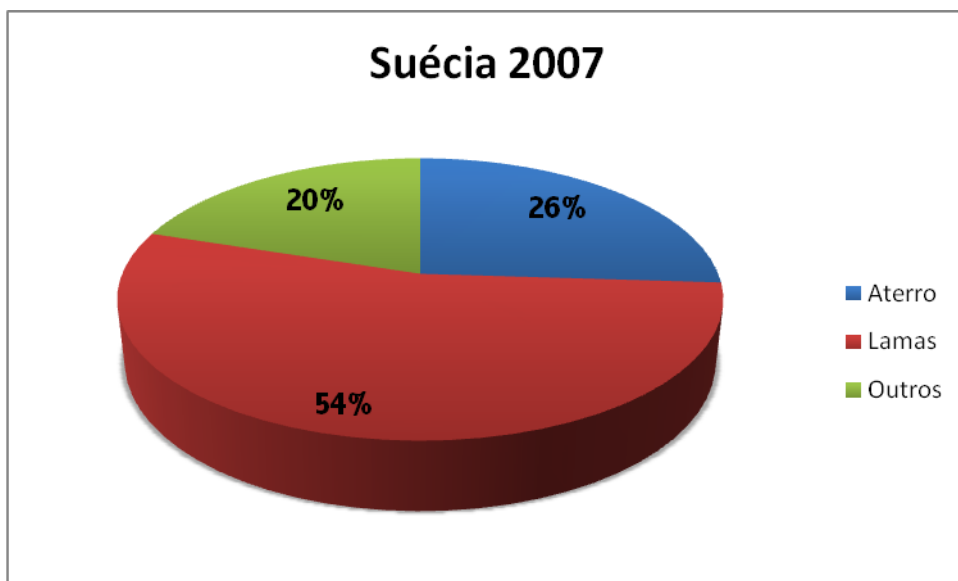


Figura 25 – Fontes de produção de biogás na Suécia em 2007 (EurObserv'ER, 2009a).

Tabela 9 – Número de instalações de biogás na Suécia e sua produção (EurObserv'ER, 2008b).

<b>Fonte</b>	<b>Número de instalações</b>	<b>Produção de biogás (ktep)</b>
Aterro	70	24,9
ETARs	139	52,5
Indústria	4	
Agricultura (co-digestão)	13	19,1
Agricultura	7	
<b>TOTAL</b>	<b>233</b>	<b>96,5</b>

No que diz respeito à utilização do biogás a Suécia distingue-se dos restantes países por se encontrar na linha da frente na produção de biometano. As primeiras unidades de produção deste combustível foram construídas nos inícios dos anos 90 (Persson, 2007) e em 2007 foram contabilizadas 37 unidades, sendo que quatro injectavam a sua produção na rede de gás natural (EurObserv'ER, 2008). Em 2009 as vendas de biometano para combustível automóvel foram quase duas vezes maiores que as vendas de gás natural, o que é um feito incrível visto que apenas no ano de 2006 o biogás ultrapassou a marca do gás natural (Figura 26). Nesse mesmo ano a Suécia tinha 23124 veículos a gás, dos quais 21749 eram ligeiros, 412 pesados e 963 autocarros (Figura 27). Em comparação com 2008 o número de veículos a gás cresceu 37% (Swedish Gas Association, 2010). Para o abastecimento do combustível estavam disponíveis 104 postos públicos e 30 estações reservadas para autocarros (Figura 28) (Swedish Gas Association, 2010).

O biogás, para poder ser utilizado como combustível automóvel tem de ser limpo e purificado. A limpeza implica normalmente a separação de partículas, água e gás sulfídrico, enquanto a purificação envolve a remoção de dióxido de carbono e o aumento do valor calorífico do gás (Persson, 2007). Estes processos são efectuados de forma a ser conseguida uma standardização na qualidade do gás. Em 1999 foi estabelecido um padrão (SS 15 54 38) para o biogás como combustível automóvel. Nele encontram-se os requisitos fundamentais a nível de conteúdo de metano e de outros gases na mistura final.

A purificação do biogás para biometano e a sua posterior injeção na rede de gás natural é uma forma eficiente de integração no sector energético. Permite que todo o biogás produzido seja utilizado e como nem sempre este uso pode acontecer perto dos locais de produção há a possibilidade de transporte e consumo a uma escala muito mais alargada (Holm-Nielsen *et al.*, 2009).

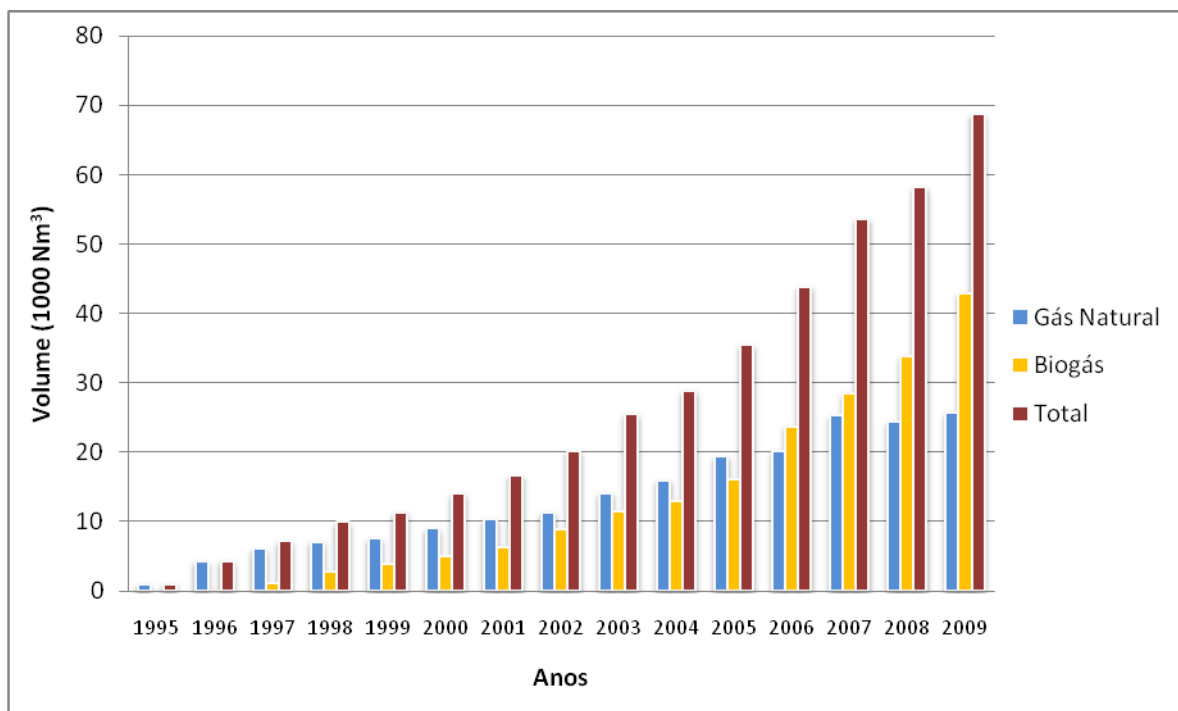


Figura 26 – Volume de metano utilizado como combustível automóvel na Suécia em 2009 (Swedish Gas Association, 2010).

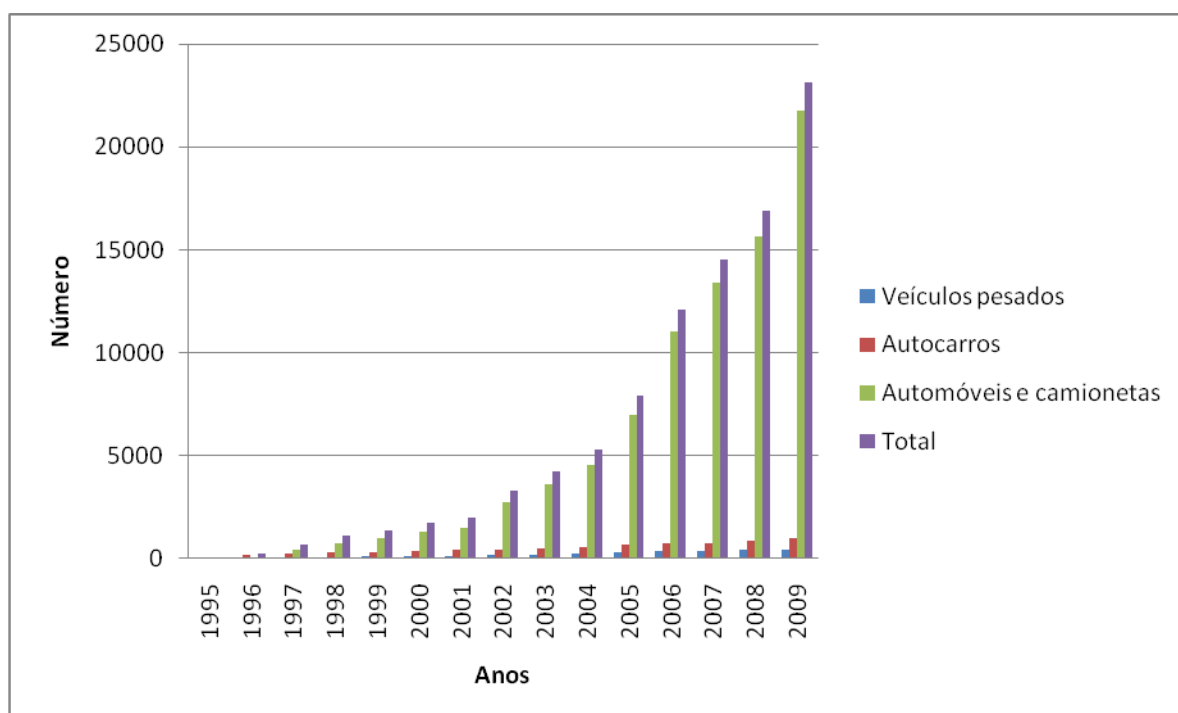


Figura 27 – Veículos a gás na Suécia em 2009 (Swedish Gas Association, 2010).

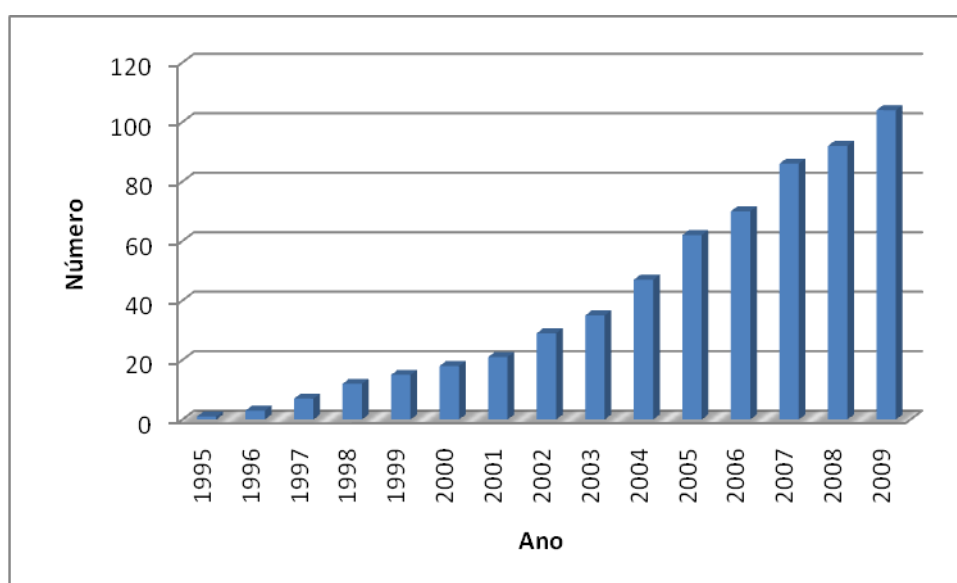


Figura 28 – Estações de abastecimento automóvel de gás na Suécia em 2009 (Swedish Gas Association, 2010).

Os municípios desempenham um papel bastante importante na implementação do biogás como combustível automóvel uma vez que a maioria do biogás produzido provem de Estações de Tratamento de Resíduos municipais e são elas que normalmente decidem investir em estações de purificação (Persson, 2007). São importantes também na medida em que podem interferir no transporte público e criar regulamentações para

promover baixas emissões de GEE. O uso de biogás e de outros biocombustíveis tem tido grande apoio por parte do governo uma vez que o sector dos transportes é aquele que consome mais petróleo na Suécia (Persson, 2007).

O terceiro e último ponto de divergência com os países retratados anteriormente é o sistema de incentivo, distinto das tarifas remuneratórias. Em 2003, o governo introduziu os *Green Electricity Certificates* como um mecanismo de aumentar a partilha da electricidade verde. Estes certificados criam um mercado para a energia renovável estabelecendo para cada ano uma percentagem de electricidade que tem de provir de fontes renováveis. Os produtores de energia recebem um certificado por cada MWh produzido, o qual vendem de seguida aos utilizadores que, segundo uma obrigação de quotas, têm de adquirir uma certa percentagem do seu consumo anual de electricidade das fontes renováveis. Durante o ano de 2004 o preço médio dos certificados foi de 25 €cent/kWh.

Existem diversos sistemas de incentivo na Suécia para promover o uso do biogás. Esta forma de energia não é alvo da taxa nas emissões de CO<sub>2</sub>. O governo garante um subsídio de 30% do investimento para a construção de unidades de biogás e também subsidia municípios e companhias que invistam em soluções para reduzir as emissões de GEE. Também existem incentivos de 1100 euros para quem compre carros que usem este combustível. (EurObserver 2008b).

### **3.5 - ESPANHA – gás de aterro**

A economia espanhola é caracterizada por uma maior intensidade energética que o resto da Europa, por uma elevada dependência em importações de energia e também por rápidas mudanças no sistema energético nos últimos anos (Labriet *et al.*, 2010). Aproximadamente metade da energia primária consumida em 2008 proveio do petróleo, enquanto o carvão e gás natural representam respectivamente 10% e 24% deste consumo (MITYC, 2009) (Figura 29).

A Directiva 2009/28/CE estabelece uma quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 de 20%. A nível nacional o Governo estabeleceu a meta de 12,1% para o ano de 2010. Em 2008 o consumo de

energia primária proveniente de energias renováveis era aproximadamente 7,6% do total (Figura 29). Tendo em conta o indicador da Directiva Energias Renováveis, a participação de energias renováveis no consumo final bruto de energia atingiu nesse mesmo ano a quota 10,1% (MITYC, 2009). No que concerne à FER-E o objectivo estabelece-se em 29,4% de electricidade em 2010 (União Europeia, 2001). Em 2008 esta quota foi cerca de 19,7% (MITYC, 2009).

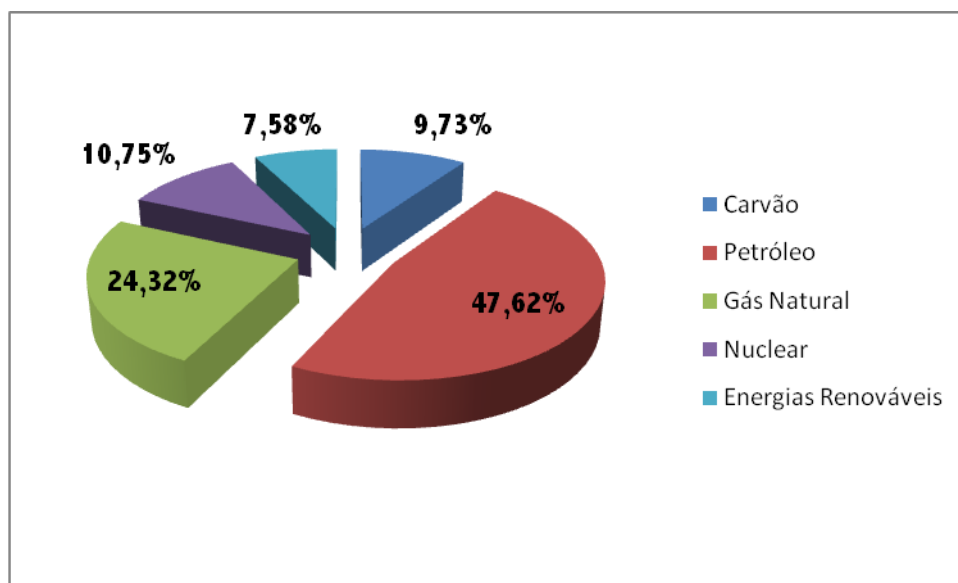


Figura 29 – Consumo de energia primária em Espanha em 2008 (MITYC, 2009).

Em relação à produção primária de energia renovável em 2008, a maior fonte produtora de energia é a biomassa (38%), seguida da energia eólica (25%) e da energia hidráulica (18%) (Figura 30). Se tivermos em consideração a produção de FER-E cerca de metade provem da energia eólica (51%), seguida pela energia hídrica (37%) (MITYC, 2009).



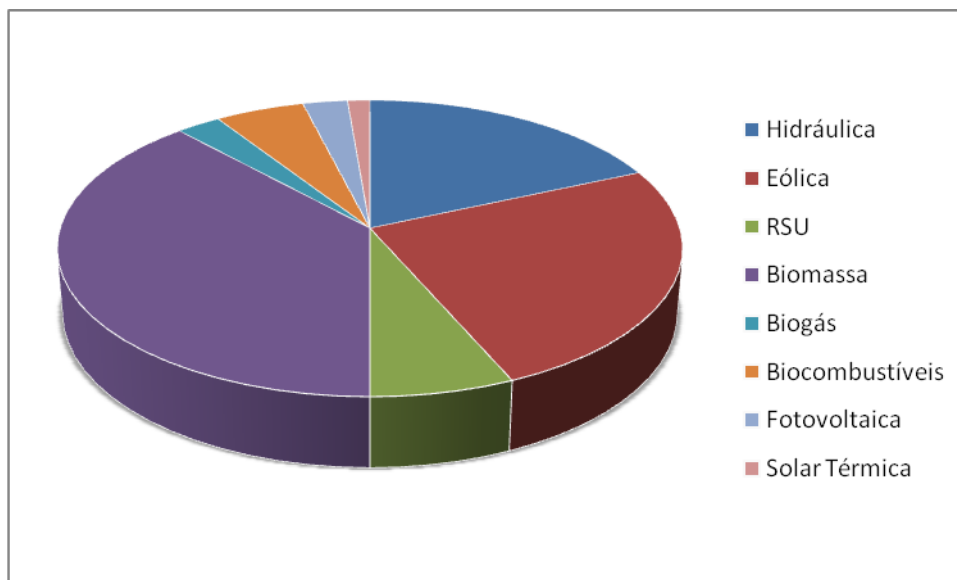


Figura 30 – Contribuição das diferentes fontes de energia renovável no consumo primário de energia em 2008 (MITYC, 2009).

Em 2007, a Espanha ocupava o sexto lugar na produção primária de energia a partir do biogás com 192,4 ktep produzidos (Figura 31). Este valor provém em larga maioria dos aterros (60%), seguindo-se as ETARs (26%) e por fim as outras aplicações (14%) (Figura 32). É estimado que no ano de 2008 a produção tenha subido até aos 203,2 ktep (EurObserv'ER, 2009).

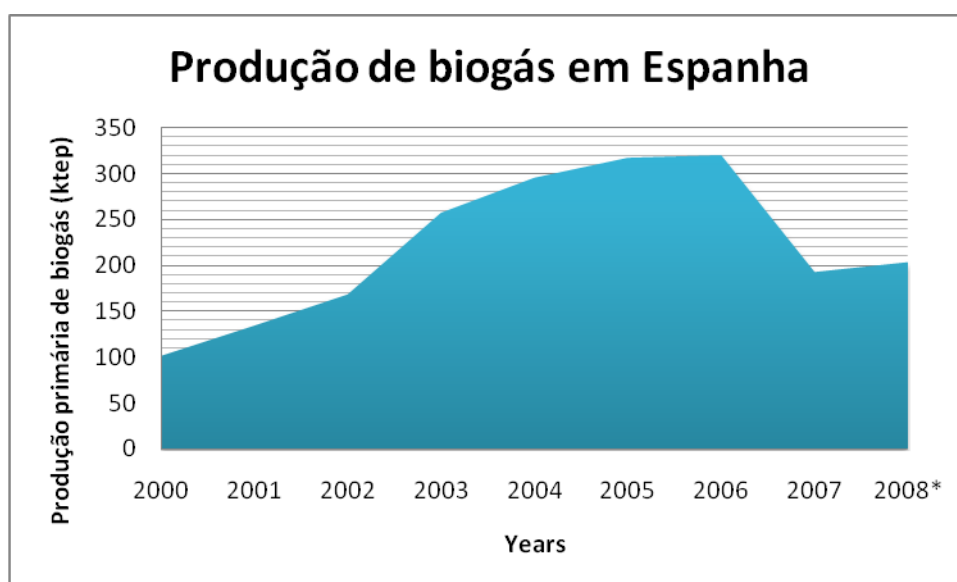


Figura 31 – Evolução da produção primária de biogás em Espanha (EurObserv'ER, 2003a-2009a)

(\* valor estimado).

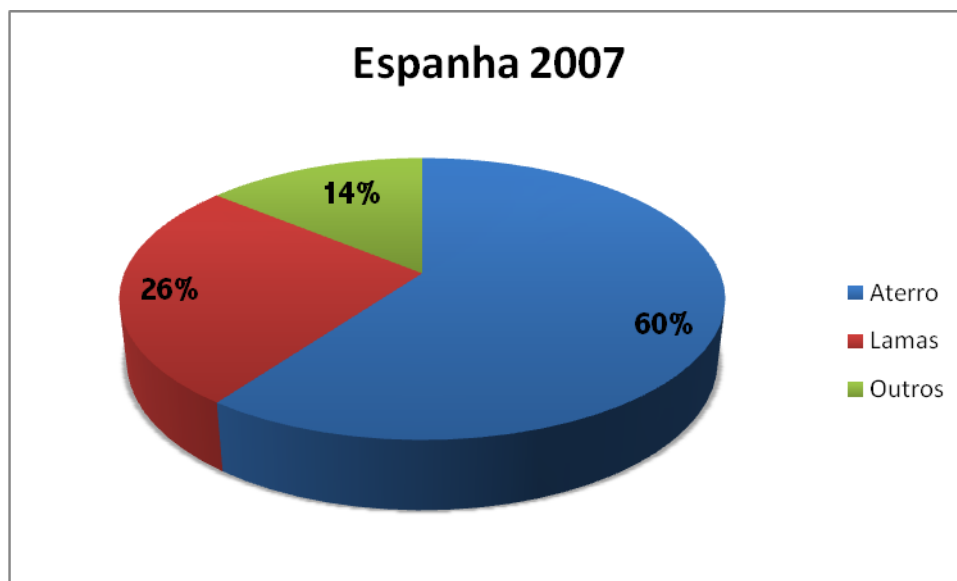


Figura 32 – Fontes de produção de biogás em Espanha em 2007 (EurObserv'ER, 2009a).

Em 2007 a Espanha ocupava o sexto lugar na produção de energia eléctrica a partir de biogás na União Europeia, com cerca de 608 GWh produzidos. Estima-se que em 2008 tenha descido uma posição neste *ranking* atingindo a produção de 584,5 GWh (EurObserv'ER, 2009).

A promoção das energias renováveis em Espanha começou no ano de 1980. Desde então, apesar das mudanças legislativas, tem existido um trabalho contínuo e estável na promoção da FER-E sob diferentes governos e diferentes maiorias políticas. A Lei 82/1980 para a Conservação da Energia, que entrou em vigor nesse mesmo ano, foi o primeiro documento político a justificar o apoio às FER e à eficiência energética, motivados pela redução da importação de energia. As preocupações ambientais eram quase inexistentes na altura, apesar disso, foram impostas algumas regulamentações. Em 1994 o Decreto Real para a electricidade produzida por fontes hidrológicas, cogeração e FER (DR 2366/1994) estabeleceu as relações contratuais entre os produtores de FER-E e as companhias de distribuição. A Lei do Sector da Electricidade (Lei 54/97) estabeleceu um Regime Especial no qual é dado um tratamento especial a FER-E. Providenciou a estrutura de base para o apoio que viria a ser concedido com o Decreto Real para o Regime Especial (DR 2818/1998). Este Decreto veio desenvolver os procedimentos administrativos e as condições para as instalações acederem ao Regime Especial. Em 1999 o Plano para a Promoção de Energia Renovável (PFER) veio lançar um conjunto de medidas para alcançar a marca de FER-E estabelecida pela Directiva

(29,4%) com metas nacionais por tecnologia. O Plano para a Energia Renovável foi actualizado em 2005 (PER 2005-2010), com novas metas para a FER-E (30,3% em 2010). O Decreto Real 436/2004 inclui mudanças relevantes em relação ao DR 2818. Os produtores de FER-E podem vender a electricidade aos distribuidores ou directamente no mercado. Por fim o Decreto Real 661/2007, que entrou em vigor em Junho de 2007, desassocia o apoio das FER-E da tarifa eléctrica média (González, 2008). Vem estabelecer um novo valor de tarifa média remuneratória para o biogás: 13,069 €cent/kWh para unidades inferiores aos 5MW e 9,68 €cent/kWh para unidades superiores a 5MW, com um período de garantia de 15 anos.

#### 4. BIOGÁS EM PORTUGAL

O cenário energético nacional caracteriza-se por uma acentuada dependência externa (82,9% em 2007), principalmente de fontes primárias de origem fóssil (petróleo, gás natural e carvão) (DGEG, 2007).

A Directiva 2009/28/CE estabelece para Portugal uma quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 de 31%. Em 2007 o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 17,1%, subindo cerca de 0,8% em relação ao ano anterior (Figura 33) (DGEG, 2010). No que concerne à FER-E o objectivo estabelece-se nos 39% para 2010 (União Europeia, 2001). No final de 2009, Portugal tinha 9055 MW de capacidade instalada para produção de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis (DGEC, 2009). A produção total de energia eléctrica a partir de FER foi de 18556 GWh, registando um crescimento de 24% em relação ao ano anterior (Figura 34). A incorporação de FER no consumo bruto de energia eléctrica para efeitos da Directiva 2001/77/CE foi de 45%, enquanto a produção real foi de 35% em 2009 (DGEG, 2009).

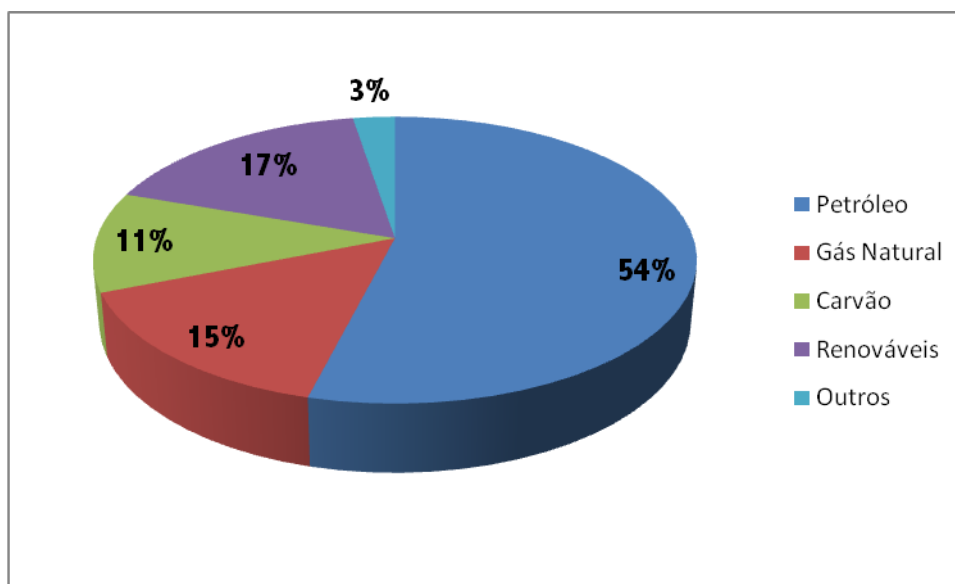


Figura 33 – Consumo total de energia primária em Portugal no ano de 2007 (DGEG, 2010).

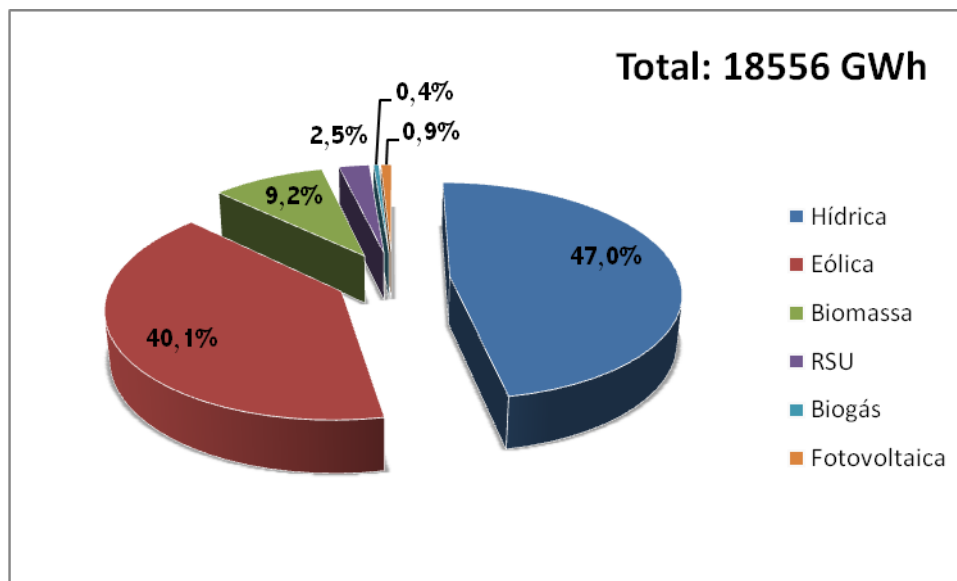


Figura 34 – Energia eléctrica produzida a partir de energias renováveis em 2009 (DGEG, 2010).

O comportamento da produção de energia eléctrica proveniente de FER ao longo da última década está intimamente ligado à produção hídrica, cujo aproveitamento depende do regime de pluviosidade do ano em causa. Este é assim o factor climatérico que mais condiciona a produção de electricidade a partir das FER. Pudemos assistir a grandes variações ao longo dos últimos anos devido a esta dominância energética por parte da energia hídrica, que em 2009 continua a ser a maior responsável pela produção eléctrica (8717 GWh) (DGEG, 2010) (Figura 35).

Desde os anos 80 que têm sido tomadas medidas no sentido de contrariar esta tendência e encontrar uma estratégia nacional que persiga todo um leque distinto de opções. Com o Decreto-Lei nº 189/88 de 27 de Maio foi introduzida uma tarifa remuneratória indexada ao tarifário de energia eléctrica aplicável aos consumidores (Governo da República Portuguesa, 1988). Mais tarde, o Decreto-Lei 168/99 de 18 de Maio veio rever o regime de actividade de produção de energia eléctrica, no âmbito do Sistema Eléctrico Independente, nomeadamente no que se baseava na utilização de recursos renováveis (Governo da República Portuguesa, 1999). A tarifa remuneratória passou a ser independente das tarifas aplicadas aos consumidores (Sousa *et al.*, 2005). Em 2001 foi publicada legislação, Decreto-Lei nº339-C de 29 de Dezembro, que introduziu tarifas atractivas e diferenciadas por tecnologia renovável e definiu um regime de licenciamento e ligação à rede, com o objectivo de facilitar a introdução destas tecnologias (Governo da República Portuguesa, 2001). Devido a esta legislação os

licenciamentos aumentaram de cerca de 100MW/ano para 700 MW/ano e os prazos de construção passaram de 4 para 2 anos (DGEG, 2005). Em 2005 o Decreto-Lei nº33-A/2005 de 16 de Fevereiro procedeu à revisão dos factores para o cálculo do valor da remuneração pelo fornecimento de energia produzida em centrais renováveis entregue à rede do Sistema Eléctrico Português (SEP), mantendo em vigor os incentivos a estas tecnologias e definindo mecanismos de incentivo à rápida entrada em exploração (Governo da República Portuguesa, 2005).

Também no mesmo ano a Resolução do Conselho de Ministros nº169/2005 de 24 de Outubro, estabeleceu uma Estratégia Nacional para a Energia, que tem como principais objectivos garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários, estimulando e favorecendo a concorrência e garantindo a adequação ambiental de todo o processo energético (Governo da República Portuguesa, 2005). O cumprimento destes objectivos determina então a adopção de uma estratégia que se traduz em oito linhas de orientação, sendo que a linha para as renováveis marcou os 39% de energia eléctrica final com origem em fontes renováveis de energia como meta para Portugal em 2010. Apontou assim a intensificação e diversificação do aproveitamento das fontes renováveis de energia para produção de electricidade como medida a adoptar. Mais tarde, no âmbito desta Estratégia, o Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio procede à concretização de um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis (Governo da República Portuguesa, 2007), nomeadamente a clarificação do procedimento de avaliação de incidências ambientais, a revisão dos critérios de remuneração da energia produzida através de fontes renováveis e simplificação dos procedimentos ligados ao licenciamento (DGEG, 2007). Devido à importância estratégica e desenvolvimento recente registado nesta área o Governo português reforçou as medidas anteriormente estabelecidas, conforme a Resolução de Conselho de Ministros nº1/2008 de 4 de Janeiro, definindo novos compromissos para 2010, estabelecendo que nesse ano 45% do consumo final de electricidade provenha de fontes renováveis (mais 6% do valor estabelecido na Directiva 2001/77/CE) (DGEG, 2009). Foram assim atribuídos novos objectivos para as diversas fontes de energia renovável.

No que diz respeito às Alterações Climáticas, foi adoptada em 2001 a Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas que define os objectivos orientadores das políticas e medidas a adoptar face a esta problemática. Faz-se valer de três instrumentos

fundamentais: o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e os Mecanismos de Mercado do Protocolo de Quioto.

O Programa do XVIII Governo Constitucional, para a legislatura de 2009 a 2013, define as orientações políticas para prosseguir a modernização do país de modo a preparar o futuro e preconiza o reforço das políticas sociais e do Estado Social (Governo da República Portuguesa, 2009). A energia é umas linhas de modernização estrutural propostas. De forma a liderar a revolução energética o Governo propõe uma série de objectivos como assegurar a posição de Portugal entre os 5 líderes europeus ao nível dos objectivos em matéria de renováveis em 2020, garantir a duplicação da capacidade de produção de energia eléctrica no horizonte de 2020, conquistar posições nos mercados de elevado potencial, assegurar que Portugal se mantém na fronteira tecnológica na área das renováveis, actualizar e racionalizar toda a legislação do sector das energias renováveis integrando-a num só diploma, entre outros. Para além dos objectivos gerais é dado especial enfoque à energia das ondas, eólica, hídrica e fotovoltaica, com vista a ultrapassar a meta comunitária estabelecida pela Directiva. É referido também que se continuará a favorecer a disponibilização no mercado português de veículos eléctricos com uma rede de abastecimento alargada.

No terreno existem actualmente 5 linhas de apoio à utilização de energias renováveis: metas nacionais, campanhas de promoção, incentivos ao investimento, incentivos à produção e incentivos fiscais (Bernardo, 2005). As metas nacionais são valores estabelecidos para a produção renovável de cada tecnologia no ano de 2010, foram consagradas na Resolução de Conselho de Ministros 63/2003 de 28 de Abril e revistas na Resolução de Conselho de Ministros nº1/2008, de 4 de Janeiro. Para além destas marcas existem ainda os compromissos assumidos na Directiva 2009/28/CE. Campanhas de promoção como o Programa de Eficiência Energética nos Edifícios e sistemas de incentivo ao investimento como a Medida de Apoio ao Potencial Energético e Racionalização de Consumos (MAPE) constituem ferramentas que por um lado dão um rosto à mudança e por outro ajudam a alcançá-la. De todas as linhas de apoio os incentivos à produção, através de uma tarifa remuneratória constituem a medida mais atractiva e com maior número de alterações nos últimos anos. Define-se pela atribuição de uma remuneração diferenciada ao kWh produzido pelas centrais renováveis. Os

valores em vigor foram estabelecidos pelo Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio e encontram-se descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores das tarifas médias indicativas por tecnologia (DGEG, 2007)

<b>Tecnologias</b>	<b>Tarifa Média Indicativa Decreto Lei nº 225/2007 (€/MWh)</b>	
	<b>Até 5 MW</b>	<b>+ de 5 MW</b>
Eólicas	75	74
Hídricas até 10 MW	77	75
Fotovoltaico com mais de 5kW	317	310
Fotovoltaico <=5KW	450	
Solar termoelétrico<=10MW	273	267
PV microgeração <=5kW	470	
PV microgeração>5kw e <150kW	355	
Biomassa florestal	109	107
Biomassa animal	104	102
Biogás Dig. Anaeróbia RSU/ETAR efluentes pecuária e agro-alimentar	117	115
Gás de Aterro	104	102
RSU(vertente queima)	54	53
Cdr(vertente queima)	76	74
Ondas demonstração até 4MW	260	
Ondas pré comercial até 20 MW		191
Ondas comercial primeiros 100 MW		131
Ondas comercial 150 MW seguintes		101
Ondas comercial seguintes		76



Em relação à produção primária de biogás Portugal ocupa o 16º lugar na União Europeia em 2007, tendo produzido 15,8 ktep. É previsto que em 2008 este valor tenha ascendido às 23 ktep (EurObserv'ER, 2009). Toda esta produção vem de unidades de produção agrícola, unidades de metanização dos RSU e unidades centralizadas de co-digestão. No que concerne à produção de energia eléctrica a partir do biogás foi atingido, em 2009, o valor de 80 GWh (DGEG, 2009). Nesse mesmo ano foi alcançada uma potência instalada de 20MW (Figura 35). Esta fonte renovável apresenta assim a terceira maior Taxa de Crescimento Médio Anual (TCMA): 45,4% (DGEG, 2009).

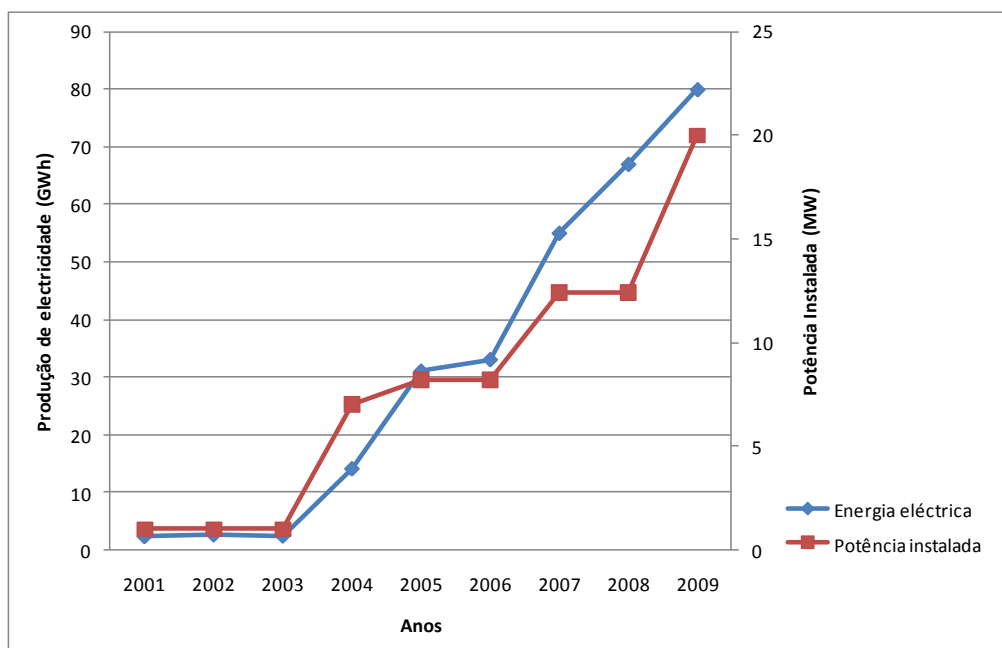


Figura 35 – Evolução da potência total instalada e energia eléctrica produzida a partir do biogás em Portugal.

Em relação à digestão anaeróbia apenas com a chegada do Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio é que o seu real valor foi reconhecido. O Decreto-Lei anterior valorizava mais o biogás proveniente de matéria orgânica colocada nos aterros do que aquele proveniente da reciclagem de matéria orgânica. Com as diversas vozes de protesto a fazerem-se ouvir e com os reais incumprimentos dos objectivos ambientais e futuros, rectificou-se a situação. Assumindo que no documento anterior ficaram de fora aproveitamentos mais nobres e interessantes deste gás como a produção de biogás proveniente do tratamento biológico de efluentes, agro-pecuários ou agro-industriais, a produção de biogás proveniente do tratamento biológico da fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU), obtida por recolha indiferenciada sujeita a tratamento

mecânico e biológico, e a produção de biogás proveniente do tratamento biológico das lamas das Estações de Tratamento das Águas Residuais (ETAR), foram então revistos os critérios de remuneração ao nível do biogás e valorização energética de resíduos (Governo da República Portuguesa, 2007). Esta nova tarifa é mais do dobro do valor da antiga remuneração, destacando-se como uma das mais elevadas no panorama de todas as energias renováveis. Há assim um assumir da importância desta forma de energia.

Em 1999 foram identificados 82 sistemas de biogás, das quais 51 estavam ainda operacionais. A nível de aplicação, o sector da agro-pecuária, particularmente o da suinicultura é o principal utilizador. Em 2001 foi referido no Fórum Energias Renováveis que, apesar do seu valor limitado (máximo de 100 MW eléctricos) a energia térmica recuperável é superior à energia eléctrica. Actualmente, estão contabilizadas cerca de 16 unidades que produzem energia eléctrica a partir do biogás (Silva, 2009).

#### **4.1 – CÁLCULO DO POTENCIAL DE BIOGÁS**

Em Portugal podem ser consideradas 5 áreas potenciais principais de produção de biogás (Novais e Marques, 2002): ETAR's municipais, sector agro-pecuário, sector da indústria agro-alimentar, resíduos sólidos urbanos e soluções colectivas. Neste trabalho foi calculado o potencial do biogás nestas diferentes áreas. Foram utilizadas as estatísticas nacionais para ter acesso ao número de animais no sector da agro-pecuária e aos volumes de produção quer na indústria alimentar quer no sector dos resíduos municipais (APA, 2009; INE, 2003 – 2009). De seguida, com o auxílio de vários artigos científicos e livros técnicos, (CCE, 2000; Cronin e Lo, 1998; Demirel et al., 2005; Moletta, 2005; Paraskeva e Diamadopoulos, 2006; Qin et al., 2001) esses dados foram convertidos numa determinada quantidade de resíduos produzidos e a produção de biogás foi então estimada. Foi considerado que todos os resíduos seriam canalizados para a digestão anaeróbia e que o biogás resultante conteria sempre 65% de metano, com excepção do gás de aterro onde foi assumida uma concentração de metano de 50%. A nível de produção energética foi considerada a produção de energia eléctrica e térmica através da co-geração.

### **i) ETAR's Municipais e RSU**

O potencial em Portugal é elevado visto verificar-se a tendência para a existência de ETAR's multimunicipais ou que reúnam efluentes de diversos focos geográficos. Para populações superiores a 10000 - 15000 habitantes é económico proceder-se à digestão anaeróbia das lamas com produção de biogás (Novais e Marques, 2002). Para este cálculo foi assumido que apenas as lamas primárias e secundárias seriam submetidas ao processo de digestão anaeróbia.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) colocados em aterro são ainda ricos em matéria orgânica, a qual em condições de anaerobiose dá origem a biogás. Em instalações controladas, onde células seladas são dotadas de sistema e recolha de biogás, é possível ter em consideração a valorização energética deste recurso (Novais e Marques, 2002).

Os resultados do cálculo do potencial para este sector encontram-se descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Potencial energético do biogás no sector dos resíduos municipais.

	Biogás [Mm <sup>3</sup> /ano]	Energia [GWh/ano] (Eléctrica + Térmica)
RSU (fracção orgânica)	402,92	2256,352
Águas residuais	70,60	395,36
Total	473,52	2651,712

O sector dos RSU apresenta um potencial energético muito superior ao das águas residuais (Tabela 11). Em conjunto representam o sector com o maior potencial de produção energética (Figura 36), porém tem que ser tido em consideração que nesta área outros processos competem com a digestão anaeróbia, como lamas activadas ou compostagem, e que esta situação não é reversível a curto prazo (Freitas e Marques, 2008).

### **ii) Sector Agro-Pecuário**

Portugal tem um elevado número de explorações pecuárias que necessitam de tratamento próprio dos seus resíduos. Recorrendo à digestão anaeróbia reduz-se cerca de 50% da matéria orgânica deste tipo de resíduos sendo necessário dar um destino ao biogás. A maioria das instalações pecuárias, com este tipo de equipamento, utiliza o biogás apenas para fornecer calor à própria instalação (Novais e Marques, 2002).

Os resultados do cálculo do potencial para este sector são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Potencial energético do biogás no sector agro-pecuário.

	Biogás [Mm <sup>3</sup> /ano]	Energia [GWh/ano] (Eléctrica + Térmica)
Gado vacum	258,12	1445,472
Suínos	48,44	271,264
Galináceos	44,80	250,88
Total	351,36	1967,616

No sector agro-pecuário é no gado vacum que reside o maior potencial de produção de biogás (Tabela 12).

### iii) Sector da Indústria Agro-Alimentar

Os efluentes das indústrias agro-alimentares são de natureza predominantemente orgânica e por isso podem ser utilizados nos processos de digestão anaeróbia. Para o cálculo do potencial foram tidos em consideração as indústrias de produção de produtos lácteos, fermentos, azeite, cerveja, vinho e os matadouros. Os resultados encontram-se expressos na Tabela 13.

Tabela 13 – Potencial energético do biogás das agro-industrias.

	Biogás [Mm <sup>3</sup> /ano]	Energia [GWh/ano] (Eléctrica + Térmica)
Produtos lácteos	26,1	146,16
Fermentos/Leveduras	7,6	42,56
Azeite	4,9	27,44
Matadouros	4,5	25,2
Cervejeiras	3,8	21,28
Adegas	1,3	7,28
Total	48,2	269,92

O sector da indústria agro-alimentar apresenta um potencial de produção de biogás muito inferior aos dois sectores anteriormente analisados, sendo os produtos lácteos a apresentarem os valores de produção energética mais elevados (Tabela 13) (Figura 36).

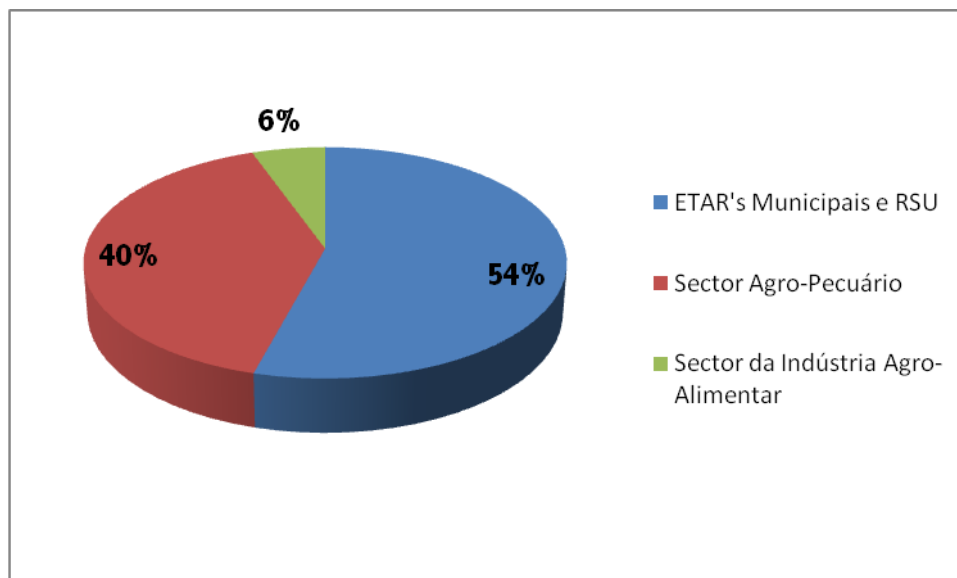


Figura 36 – Potencial energético do biogás nos vários sectores.

Na Tabela 14 estão expressos os valores totais resultantes da soma de todos os sectores. A nível de energia eléctrica o potencial do biogás é cerca de 2008,08 GWh/ano o que representa cerca de 4,37% do total de energia eléctrica produzida em Portugal no ano de 2008 (45969GWh) (DGEG, 2009). Actualmente a potência instalada em relação ao biogás é de 20 MW, cerca de 9% da potência eléctrica possível (229 MW). Considerando que a energia térmica é recuperada através de co-geração é alcançado um potencial energético total de 4889,24 GWh/ano.

Tabela 14 – Potencial energético total do biogás em Portugal.

Biogás [Mm <sub>3</sub> /ano]	Energia Eléctrica [GWh/ano]	Energia Térmica [GWh/ano]	Energia Total [GWh/ano]
873,08	2008,08	2881,16	4889,24

## 5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PAÍSES ESTUDADOS

Na Tabela 15 estão descritos os principais dados referentes às metas para o consumo de fontes de energia renováveis, à produção de biogás e à electricidade produzida a partir desta fonte energética para os seis países analisados neste trabalho. A Alemanha, líder não só na produção primária de biogás mas também na produção de electricidade a partir do mesmo, é a que apresenta o período de garantia mais extenso (20 anos) e as tarifas remuneratórias mais elevadas de todos os países estudados. De facto se todos os bónus forem atribuídos a tarifa poderá chegar aos 30 €cent/kWh. A Áustria ocupa o segundo lugar na produção primária, na produção eléctrica, no número de instalações e também no valor da tarifa remuneratória que pode chegar aos 16,94 €cent/kWh. Igualmente quando se consideram a Espanha e a Dinamarca, a proporcionalidade entre o biogás/electricidade produzidos e o valor da tarifa remuneratória mantém-se, o que prova a importância vital deste tipo de incentivo na promoção desta fonte de energia renovável. A Suécia destaca-se dos restantes países estudados pela utilização dos Certificados Verdes, ao invés das tarifas remuneratórias. Portugal, apesar de ter tarifas remuneratórias mais elevadas que a Dinamarca, encontra-se em último lugar em todos os factores estudados, o que demonstra não só uma abordagem legislativa muito recente em relação a esta problemática - como foi referido anteriormente até entrar em vigor o Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio apenas o gás de aterro era considerado - mas também um receio generalizado no investimento. Outro factor inibitório foi o facto de se ter iniciado uma crise económica logo a seguir à mudança de legislação o que faz com que a aplicação destas medidas não seja tão eficaz.

Tabela 15 – Comparação dos países estudados.

	Metas FER		Produção primária de biogás em 2007 (ktep)	Electricidade						
	FER (%)	FER-E (%)		Lei	Esquema de apoio	Tarifa Base (€cent/kWh)			Produção eléctrica 2007 (GWH)	Nº de instalações 2007
	2020	2010				<5MW	>5MW	Garantia (anos)		
<b>Alemanha</b>	18	12.5	3659,1	EEG	Tarifa remuneratória	8,25-11,67 (+ bónus)	7,79 (+ bónus)	20	8351,3	4000
<b>Áustria</b>	34	78	216,9	BGBI II 59/2008	Tarifa remuneratória	11,29 – 16,94		15	831,4	586
<b>Espanha</b>	20	30.3	192,4	P.E.R. 2005-2010 D.R. 661/2007	Tarifa remuneratória	13,069	9,68	15	608	141
<b>Suécia</b>	49	60	96,5		Certificados verdes				64	233
<b>Dinamarca</b>	30	29	93,5	Energy Supply Act	Tarifa remuneratória	10		10	271,3	160
<b>Portugal</b>	31	45	15,8	RCM 169/2005 D.L. 225/2007	Tarifa remuneratória	11,7	11,5	15	65,4	16

## 6. CASO DE ESTUDO

### 6.1 – DESCRIÇÃO DA FÁBRICA MANUEL VIEIRA

A fábrica “Manuel Vieira & C<sup>a</sup>”, situada na aldeia das Lapas, concelho de Torres Novas, distrito de Santarém, (Figura 37) foi fundada em 1927, altura em que lhe foi atribuído o primeiro alvará de exploração industrial. O seu fundador, Manuel Vieira, iniciou então um plano de aproveitamento das sinergias da região utilizando um recurso abundante na zona de Torres Novas – o figo – na produção industrial de álcool etílico. Até 1966, a fábrica produziu e comercializou álcool etílico tornando-o numa matéria-prima de alta qualidade no fabrico de bebidas espirituosas e num material obrigatório em todos os hospitais de Portugal. Nesse ano, como resultado da nacionalização do sector do álcool, a estrutura comercial da “Manuel Vieira” foi apropriada pela AGA que actuou até 1992 em regime de monopólio. Durante esse período a fábrica operou apenas em regime de prestação de serviços para o referido monopólio que não dispunha de estruturas produtivas. No início de 1993 dá-se a liberalização do sector e a “Manuel Vieira” foi a única, de entre as cinco fábricas Portuguesas de referência produtoras de álcool etílico não vínico, a não encerrar as suas portas.

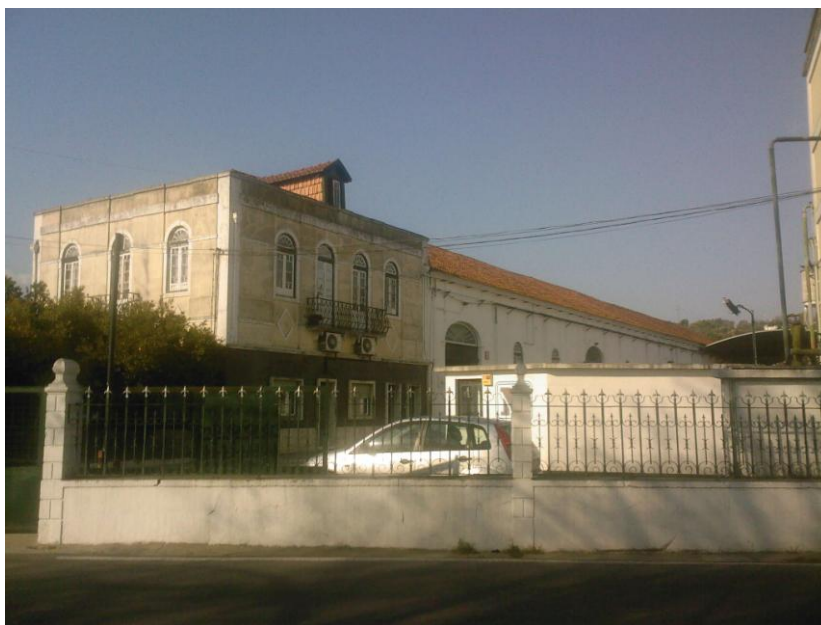


Figura 37 – Vista exterior da fábrica “Manuel Vieira”.



Sempre nas mãos da mesma família a “Manuel Vieira” dispunha de uma capacidade de produção de álcool de cerca de 5000000 litros/ano, o que representava mais de 50% do consumo do Mercado Nacional de Álcool Etílico de Origem não Vínica. Tinha ainda uma capacidade instalada de armazenagem de cerca de 3000000 litros, sendo que se encontravam disponíveis cerca de 2 hectares de terrenos anexos à fábrica, os quais poderiam complementar a capacidade de armazenagem. Actualmente a fábrica limita-se a embalar o álcool, fabricando dois tipos de embalagem (Figura 38).



Figura 38 – Embalagens de álcool actualmente fabricadas.

A produção de álcool envolvia a fermentação e destilação de matérias-primas alcoológenas, basicamente o melão e o figo. O circuito era formado por diferentes secções onde se desenrolavam os processos de preparação de melões e figos, fermentação, destilação e rectificação. Todos eles davam origem a efluentes aquosos. A fábrica, consciente dos problemas ambientais que advinham do lançamento dos seus efluentes ao rio Almonda, decidiu investir numa estação de tratamento dos mesmos. Através de um estudo levado a cabo pela *Tecinvest – Técnicas e Serviços para o Investimento, SA* chegou-se à conclusão que o melhor processo era o tratamento anaeróbio, devido às suas inúmeras vantagens (Manuel Vieira & C.<sup>a</sup>, 1993). A proposta da empresa belga BIOTIM foi a alternativa escolhida pois apresentava os menores custos (Manuel Vieira & C.<sup>a</sup>, 1993).

A instalação (Figura 39) é constituída pelos sectores de pré-tratamento (neutralização, separação de excesso de lamas e homogeneização), de tratamento anaeróbio (num

reactor de contacto ascendente) (Figura 40), de sedimentação por floculação, de condicionamento do biogás (separação de condensados, compressão, arrefecimento, queimador de emergência e sistemas de segurança) e de desidratação de lamas.

A estação está localizada a pequena distância da fábrica de álcool. Este terreno é propriedade da “Manuel Vieira” e tem acesso pela Estrada Municipal 557-2, a qual serve igualmente as instalações fabris.



Figura 39 – Vista geral da estação de tratamento.



Figura 40 – Reactor anaeróbio.

## 6.2 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de tratamento dos efluentes compreende as seguintes fases:

- Arrefecimento;
- Ajuste do pH por adição de cal;
- Separação de leveduras e areias num sedimentador primário;
- Homogeneização;
- Fermentação anaeróbia num digestor de contacto ascendente;
- Separação das lamas num separador de placas paralelas;
- Tratamento das lamas;
- Compressão e arrefecimento do biogás.

O processo em si inicia-se com o arrefecimento das águas residuais das colunas de destilação com água em contracorrente num permutador de calor espiral. Em seguida o líquido arrefecido é enviado para um tanque onde se ajusta o pH, por adição de cal. Posteriormente o líquido é dirigido para um sedimentador, a fim de retirar as partículas de maiores dimensões e leveduras. As lamas são enviadas para um filtro prensa onde são desidratadas. A partir deste sedimentador, as águas residuais são transferidas, por

gravidade, para um tanque de homogeneização com agitação, onde se dá também algum arrefecimento. O líquido arrefecido é enviado para o digestor, onde entra pela parte inferior através de um sistema de distribuição. O digestor é de um tipo especial, conhecido como reactor de contacto ascendente. Neste reactor, o líquido a tratar tem um movimento ascensional através de um leito expandido de lamas anaeróbias metanogénicas activadas. O efluente, recolhido na periferia da parte superior do digestor, é enviado para um sedimentador por floculação, a fim de separar as lamas metanogénicas sedimentadas do efluente do digestor. Estas lamas são recicladas para o digestor, a fim de manter uma quantidade de lamas suficiente. O efluente, depurado a 80%, seria na altura enviado para a ETAR municipal de Torres Novas.

Os equipamentos presentes na estação estão discriminados no Anexo. Na Tabela 16 apresentam-se as principais características do reactor anaeróbio.

Tabela 16 – Descrição do reactor anaeróbio da estação de tratamento de efluentes.

<i>Diâmetro</i>	12,9 m.
<i>Altura</i>	12,02 m.
<i>Volume total</i>	1571 m <sup>3</sup>
<i>Volume de água</i>	1506 m <sup>3</sup>
<i>Altura da água no reactor</i>	11,5 m
<i>Superfície interna correspondente do reactor</i>	131 m <sup>2</sup>
<i>Diâmetro interno correspondente do reactor</i>	12,9 m
<i>Carga de CQOt nominal</i>	10560 kg/(d)
<i>Carga volumétrica</i>	7 kg CQO/(m <sup>3</sup> .d)
<i>SST no influente do reactor</i>	2000 mg/l
<i>SST prevista no efluente depois da sedimentação secundária</i>	4000 mg/l
<i>Produção de metano</i>	2134 Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d
<i>Teor de metano previsto no biogás</i>	55%
<i>Produção de biogás prevista correspondente</i>	3880 Nm <sup>3</sup> /d
<i>Caudal de ponta de biogás</i>	180Nm <sup>3</sup> /h
<i>Material</i>	Aço carbono ASTM 283 CR-C revestido por resinas epoxi
<i>Excesso de produção de lamas anaeróbias</i>	Nulo

Para além deste reactor existe um equipamento para tratamento de biogás que é formado pelos seguintes instrumentos:

- Queimador de Biogás de Emergência.
- Ventilador de Biogás; com a função de enviar o biogás produzido pelo reactor para a fábrica.
- Arrefecedor de Biogás.

- Separador de Condensados.

Tendo em consideração o poder calorífico do biogás gerado na reacção anaeróbia e a quantidade obtida, este equivale em valor calorífico a 1500 kg/dia de fuelóleo a 9690 kcal/kg. Estava previsto o aproveitamento deste biogás numa caldeira com uma capacidade de produção de vapor de 1000 kg/h a 10 bar e uma potência de 5000000 kcal/h. Seria possível deste modo uma poupança de fuel-óleo não havendo qualquer acréscimo de poluição atmosférica, já que da queima do biogás resultam efluentes gasosos idênticos na sua composição e quantidade aos que actualmente são gerados na produção de vapor com fuel-óleo.

As lamas em excesso são constituídas por matéria orgânica biodegradável e podem ser vendidas a outras instalações que estejam em fase de arranque de sistemas de digestão anaeróbia. Podem também ser usadas como condicionadores de solos agrícolas.

### **6.3 – AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA**

A avaliação técnico-económica deste trabalho tem por objectivo identificar a viabilidade económica da implantação de diversos cenários de utilização de biogás proveniente da estação de tratamento de efluentes, caso esta venha a ser posta em funcionamento, tendo em consideração a situação produtiva actual da fábrica. Pretende assim funcionar como uma ferramenta ilustrativa que poderá servir de apoio às futuras decisões do corpo administrativo da “Manuel Vieira”.

Os parâmetros utilizados na avaliação técnico-económica deste projecto foram os seguintes (Ferreira e Ferreira, 1994):

- *Tempo de retorno do investimento (TR) ou payback* que é o tempo ao longo do qual as receitas totais igualam o montante do investimento aplicado ou por outras palavras é o tempo que demora a recuperar o capital investido através das receitas geradas pelo investimento.
- *Valor actual líquido (VAL)* que é o lucro actualizado ao ano de referência.

- *Taxa interna de rentabilidade (TIR)* que é a taxa de actualização do projecto que dá o  $VAL = 0$ . Permite determinar a taxa que o investidor obtém em média em cada ano sobre os capitais que se mantêm investidos no projecto.

Foram previstos 3 cenários de utilização do biogás proveniente da digestão anaeróbia:

Cenário I: Produção de energia térmica a partir da queima do biogás numa caldeira e utilização da mesma nos consumos internos da fábrica;

Cenário II: Produção de energia eléctrica a partir de um grupo electrogéneo e utilização da mesma nos consumos internos da fábrica;

Cenário III: Produção de energia eléctrica a partir de um grupo electrogéneo e venda da mesma à REN.

Para estimar a potência necessária dos equipamentos dos diferentes cenários foram executados os seguintes cálculos:

Segundo o projecto da fábrica existe 55% de  $CH_4$  no biogás produzido.

A combustão completa de 1 kmol de biogás com ar é expressa pela seguinte equação química:



A entalpia de combustão,  $H_c$ , é definida como a diferença entre a entalpia dos produtos,  $H_p$ , e dos reagentes,  $H_r$ , representada pela seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} H_c &= H_p - H_r \Leftrightarrow H_c = H_{CO_2} + H_{H_2O} + H_{N_2} - H_{CH_4} - H_{CO_2} - H_{O_2} - H_{N_2} \Leftrightarrow \\ H_c &= n_{CO_2} \bar{h}_{CO_2} + n_{H_2O} \bar{h}_{H_2O} + n_{N_2} \bar{h}_{N_2} - n_{CH_4} \bar{h}_{CH_4} - n_{CO_2} \bar{h}_{CO_2} - n_{O_2} \bar{h}_{O_2} - n_{N_2} \bar{h}_{N_2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow H_c/n_{biogás} &= 1 \times \bar{h}_{CO_2} + 1,1 \times \bar{h}_{H_2O} + 4,136 \times \bar{h}_{N_2} - 0,55 \times \bar{h}_{CH_4} - 0,45 \times \bar{h}_{CO_2} - 1,1 \\ &\times \bar{h}_{O_2} - 3,76 \times 1,1 \bar{h}_{N_2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow H_c/n_{biogás} &= (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CO_2} + 1,1(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{H_2O} + 4,136(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{N_2} - 0,55(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CH_4} \\ &- 0,45(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CO_2} - 1,1(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{O_2} - 3,76 \times 1,1(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{N_2} \end{aligned}$$

onde  $n_i$  é o número de moles da espécie química  $i$ ,  $\bar{h}_i$  a entalpia molar específica da espécie química  $i$ ,  $\bar{h}_{f,i}$  a entalpia de formação da espécie química  $i$  por kmol e  $\Delta\bar{h}_i$  a variação de entalpia específica entre o estado da espécie química  $i$  e o estado de referência.

Quando se calcula a entalpia de combustão padrão (a 1 atm e 25°C), o valor de entalpias específicas entre 25°C temperatura de referência (25°C) é nula.

$$\Delta\bar{h} = h(T) - h(T_{\text{ref}}) = h(T_{\text{ref}}) - h(T_{\text{ref}}) = 0$$

Logo,

$$H_c/n_{\text{biogás}} = \bar{h}_{f\text{CO}_2} + 1,1\bar{h}_{f\text{H}_2\text{O}} + 4,136\bar{h}_{f\text{N}_2} - 0,55(\bar{h}_{f\text{CH}_4}) - 0,45(\bar{h}_{f\text{CO}_2}) - 1,1\bar{h}_{f\text{O}_2} - 4,136\bar{h}_{f\text{N}_2}$$

Substituindo as entalpias específicas de formação das diferentes espécies químicas a 25°C e 1 atm (Coelho e Costa, 2007):

$$H_c/n_{\text{biogás}} = -393522 + 1,1 \times (-241826) + 4,136 \times 0 - 0,55 \times (-74873) - 0,45 \times (-393522) - 1,1 \times 0 - 4,136 \times 0 = -441266 \text{ kJ/kmol}$$

A entalpia de combustão padrão do biogás por kg de biogás é:

$$H_c/m_{\text{biogás}} = H_c/n_{\text{biogás}} \times n_{\text{biogás}}/m_{\text{biogás}} = H_c/n_{\text{biogás}} \times 1/M_{\text{biogás}}$$

onde  $m_{\text{biogás}}$  é a massa de biogás e  $M$  a massa molar, calculada por:

$$M_{\text{biogás}} = \sum_{i=1}^2 x_i M_i = x_{\text{CH}_4} M_{\text{CH}_4} + x_{\text{CO}_2} M_{\text{CO}_2} = 0,55 \times 16 + 0,45 \times 44 = 28,6 \text{ kg/kmol}$$

onde  $x_i$  é a fração molar da espécie química  $i$ .

$$H_c/m_{\text{biogás}} = h_c = -441266/28,6 = -15428,88 \text{ kJ/kg}$$



A entalpia de combustão padrão do biogás por  $\text{Nm}^3$  de biogás é:

$$H_c/V_{\text{biogás}} = H_c/n_{\text{biogás}} \times n_{\text{biogás}}/V_{\text{biogás}} = H_c/n_{\text{biogás}} \times P/RT$$

onde  $V_{\text{biogás}}$  é o volume de biogás,  $P$  a pressão,  $R$  a constante universal dos gases perfeitos e  $T$  a temperatura. Como se pode constatar, para os cálculos anteriores, considerou-se o biogás como gás perfeito:

$$PV = n_{\text{biogás}}RT \Leftrightarrow n_{\text{biogás}}/V_{\text{biogás}} = P/RT$$

Em condições normais (PTN) de pressão (1 atm) e temperatura ( $0^\circ\text{C}$ ):

$$H_c/V_{\text{biogás}} = -441266 \times 101325/8314 \times 273 = -19699 \text{ kJ/Nm}^3 = -19699/3600 \text{ kWh/Nm}^3 = -5,5 \text{ kWh/ Nm}^3$$

Considerando o valor do caudal que é produzido no bioreactor da Manuel Vieira,  $180 \text{ Nm}^3$  de biogás/h, a potência disponível de biogás é:

$$H_c/V_{\text{biogás}} \times V_{\text{biogás}} = -19699 \times 180/3600 = 984,95 \text{ kW}$$

Assumindo rendimentos médios de 85% para a caldeira (Cenário I) e de 30% para o motor térmico (Cenário II e III) chegamos às potências máximas de 837 kW e de 295 kW respectivamente. Com estes valores foram contactados diversos fornecedores (Martins, 2010; Gonçalves, 2010) e foram escolhidos os equipamentos referidos na Tabela 17.

Cada cenário apresenta diferentes características e diferentes custos, com excepção para os cenários II e III em que os valores dos equipamentos são os mesmos (Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19). No Cenário I admitiu-se que, actualmente, a fábrica recorre a energia eléctrica para produzir a energia térmica que consome. Para o Cenário III foi considerado o tempo de vida do projecto de 15 anos (e não os 20 anos do equipamento) visto ser esse o período de garantia de venda da electricidade à REN, estabelecido no Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio. O valor do custo de energia eléctrica consumida

na fábrica para os Cenários I e II foi calculado através da média do custo da energia eléctrica de um ano de facturas da EDP. Refira-se ainda que, para ter o sistema de biodigestão em funcionamento, é necessária energia eléctrica. O manual de operação (Biotim, 1992) indica que a potência eléctrica consumida pelos equipamentos do sistema de digestão anaeróbia é de 30,52 kW, logo à energia indicada para cada cenário foi retirado esse valor para os cálculos dos indicadores técnico económicos.

Tabela 17 – Descrição dos equipamentos dos cenários avaliados.

<b>Descrição do equipamento</b>	<b>Cenário I</b>	<b>Cenário II</b>	<b>Cenário III</b>
Marca	Babcock Wanson	SMDO	SMDO
Modelo	Caldeira de Tubos de fumo Série BWB, Tipo 100	V275C2 Motor Volvo Penta Modelo TAD740GE (1500)	V275C2 Motor Volvo Penta Modelo TAD740GE (1500)
Potência (kW)	703	240	240
Tempo de vida (anos)	20	20	15
Rendimento (%)	90	40	40

Tabela 18 – Características dos cenários avaliados.

<b>Características</b>	<b>Cenário I</b>	<b>Cenário II</b>	<b>Cenário III</b>
Custo da energia eléctrica produzida (€/kWh)	0,1149	0,1149	-
Valor da venda de energia eléctrica (€/kWh)	-	-	0,117
Tempo de utilização (horas/ano)	8640	8640	8640
Taxa de actualização (%)	10	10	10

Tabela 19 – Custos dos equipamentos em €.

	<b>Cenário I</b>	<b>Cenário II</b>	<b>Cenário III</b>
Equipamento base	31.490	26.500	26.500
Estruturas adicionais	5.950	-	-
Custos instalação	4.500	2.000	2.000
Custos anuais manutenção	500	2.592	2.592
<b>TOTAL</b>	<b>39.940</b>	<b>31.092</b>	<b>31.092</b>

Calculados os valores de produção de energia eléctrica e térmica para os Cenários I e II chegou-se à conclusão de que existe um enorme excedente anual da mesma, devido em parte aos baixos consumos eléctricos da fábrica que, como já foi referido anteriormente, depois de ter adquirido o digestor deixou de produzir álcool e passou apenas a embalar o mesmo. Desta forma o único cenário viável será então o Cenário III onde toda a produção eléctrica é injectada e vendida à REN. Os indicadores técnico-económicos estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados da avaliação técnico-económica.

	<b>Cenário III</b>
Tempo de Retorno ( <i>Payback</i> ) (dias)	259
Valor Actual Líquido (VAL) (€)	428.886,8
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) (%)	106

De acordo com os resultados da avaliação técnico-económica conclui-se que a Manuel Vieira investe 31.092 euros, remunera o capital investido, à taxa de 10%, em 259 dias e gera um excedente de 428.886,8 euros em 15 anos. O investimento é, portanto, largamente recompensado e é rentável fazê-lo.

## 7. CONCLUSÃO

Nesta última década o biogás demarcou-se como uma alternativa sólida no campo das energias renováveis e a sua produção e utilização registaram um crescimento notável. Em 8 anos a produção europeia de biogás triplicou e as previsões indicam que nos próximos anos este valor continuará a subir. Os grandes impulsionadores deste crescimento são as culturas energéticas, co-substrato com um enorme potencial energético cada vez mais utilizado nas unidades agrícolas de digestão. A Alemanha, líder europeu na produção de biogás, utiliza amplamente estas culturas, como o milho e o girassol, com centenas de novas unidades a serem construídas todos os anos. Outros países, como a Áustria, optaram também pela co-digestão com culturas energéticas com resultados similares e ambíguos, isto porque se por um lado estas plantações permitem um enorme *boom* produtivo por outro a sua crescente procura despoleta uma vertiginosa subida de preços, criando de seguida um *feedback* negativo no crescimento da indústria do biogás. Para além de que este tipo de substrato energético continua a ser alvo de duras críticas por parte daqueles que acham que existe uma competição directa entre as culturas alimentares e as energéticas. Desta forma os instrumentos legislativos mais recentes focam a necessidade de apostar na produção de biogás a partir de estrume animal, lamas e resíduos municipais, animais e orgânicos. Esta produção favorece a diversificação das fontes de energia, contribuindo para a segurança, competitividade e sustentabilidade do abastecimento energético europeu, cria novas perspectivas de rendimento aos agricultores e oferece inúmeras vantagens ambientais. Com estas novas directrizes, os países europeus, irão ser obrigados a abandonar exclusivamente antigas soluções, como o gás de aterro em Espanha, e apostar em aplicações que valorizem um leque mais alargado de resíduos.

Como visto anteriormente o biogás apresenta um leque diverso de aplicações, sendo que uma delas é a purificação em biometano, que é injectado na rede de gás natural ou utilizado como combustível automóvel. Na Suécia, o consumo de biogás já ultrapassou o consumo de gás natural e a tendência é de um contínuo aumento. Os instrumentos legislativos da União Europeia realçam também a necessidade de subsidiar o “gás verde” da mesma forma que se subsidia a “electricidade verde” e de equiparar o biogás ao gás natural. Holm Nielsen refere que o modo mais eficiente de integrar o biogás em

todos os sectores energéticos da Europa é através da sua purificação até à qualidade de gás natural e a sua posterior integração nas redes de gás natural. No mesmo estudo é referido que o biogás proveniente de culturas energéticas, estrume animal e resíduos orgânicos industriais pode abastecer cerca de metade do consumo Europeu de gás natural nas próximas décadas.

Outra das necessidades para a implementação do biogás no mercado energético é a criação de um quadro legislativo consistente e específico. São necessários instrumentos capazes de criar regras e estabelecer metas para que o biogás consiga crescer enquanto alternativa energética. Países como a Dinamarca demonstram que apenas com um conjunto de políticas estáveis, onde se aposta no crescimento da investigação e desenvolvimento, é que se consegue assegurar o crescimento de uma fonte renovável de energia.

Em Portugal a produção de biogás encontra-se ainda num estado embrionário quando comparado aos restantes países estudados. O seu potencial é no entanto enorme, em especial nos sectores municipal e agro-pecuário. Apesar da tarifa remuneratória para electricidade produzida a partir de biogás ser, desde 2007, bastante atractiva, continuam a ser necessárias medidas de promoção, sensibilização e incentivo junto das entidades gestoras e da população em geral. É urgente adoptar uma estratégia que se dirija do específico para o geral, de baixo para cima, começando nos pequenos investidores, nos agricultores, passando pelos municípios e em última instância atingindo as entidades reguladoras a nível nacional.

Ao estudarmos o caso do digestor da fábrica Manuel Vieira tentámos dar um pequeno passo na resolução de um problema global. Através da avaliação técnico-económica pudemos concluir que a opção mais vantajosa para a fábrica seria a venda de electricidade à REN, utilizando um grupo electrogéneo para converter o biogás produzido em energia eléctrica, recuperando o valor do investimento em menos de um ano. Existe assim um enorme potencial desactivado que poderia não só resolver grande parte dos problemas com resíduos da região mas também trazer um enorme lucro monetário à fábrica Manuel Vieira.

## REFERÊNCIAS

ABRAHAM, E., RAMACHANDRAN, S., RAMALINGAM, V. 2007. Biogas: Can It Be an Important Source of Energy? *Env. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 14, pp 67-71.

AEBIOM 2009. A Biogas Road Map for Europe. European Biomass Association.

AGROBIOGAS, 2006. Biogas in Europe – A General Characterisation. Agrobiogas - An integrated approach for biogas production with agricultural waste.

AIE/OCDE 2009. CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion – Highlights Agência Internacional de Energia/Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

AIE/OCDE 2009. How the Energy Sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen. Agência Internacional de Energia/Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

AIE/OCDE 2008. Deploying Renewables – Principles for Effective Policies. Agência Internacional de Energia/Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

AIE/OCDE 2006. Energy Policies of IEA Countries – Denmark 2006 Review. Agência Internacional de Energia/Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

AIE 2005. Transport – Energy Technologies for a Sustainable Future. Agência Internacional de Energia.

APA 2009. Relatório do Estado do Ambiente 2008. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.

APPELS, L., BAEYENS, J., DEGRÈVE, J., DEWIL, R. 2008. Principles and potential of anaerobic digestion of waste activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, pp 755-781.

BERNARDO, J. 2005. O aproveitamento das fontes renováveis de energia em Portugal, *VI Jornadas dos Ambiente*.

BIOTIM 1992. Manuel Vieira Portugal – Operation Manual. Biotim N. V. Antuérpia. Bélgica.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2009. Development of renewable energy sources in Germany in 2008. Graphics and tables based on statistical data from the Working Group on Renewable Energies – Statistics (AGEE- Stat). Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Berlin. Alemanha.

BOGNER, J., M. ABDELRAFIE AHMED, C. DIAZ, A. FAAIJ, Q. GAO, S. HASHIMOTO, K. MARECKOVA, R. PIPATTI, T. ZHANG. Waste Management, Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

BRAUN, R., WELLINGER A. 2006. Potential of Co-digestion. IEA Bioenergy Task 37.

BRAUN, R., WEILAND, P., WELLINGER A. 2006. Biogas from Energy Crop Digestion. IEA Bioenergy Task 37.

BRAUN, R., MADLENER, R., LAABER, M. 2007. Efficiency of energy crop digestion – Evaluation of 41 full scale plants in Austria. European Biogas Workshop, The Future of Biogas in Europe – III. University of Southern Denmark, Esbjerg, Dinamarca.

BRAUN, R. 2009. Short Report – Status Austria 2009. IEA Task 37. Jyväskylä.

CCE – CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA 2000. *Guia técnico de biogás*. Centro para a Conversão de Energia, ISBN 972 852 12 19. Lisboa. Portugal.

CCE – COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS 2005. Plano de acção Biomassa. SEC (2005) 1573. Bruxelas. Bélgica.

CCE – COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS 2009. Relatório sobre os Progressos em Energias Renováveis: Relatório da Comissão em conformidade com o artigo 3º da Directiva 2001/77/CE e o nº 2 do artigo 4º da Directiva 2003/30/CE e relativo à implementação do Plano de Acção «Biomassa» da EU. SEC (2009) 503 final. Bruxelas. Bélgica.

COELHO, P., COSTA, M. (2007). Combustão. Edições Orion.

CRONIN, C., LO, K.V. 1998. Anaerobic treatment of brewery wastewater using UASB reactors seeded with activated sludge. *Bioresource Technology* 64, pp 33-38.

DANISH ENERGY AGENCY 2009. Energy in Denmark 2008. Danish Energy Agency. Copenhaga. Dinamarca.

DEMIREL, B., YENIGUN, O., ONAY T.T. 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry* 40, pp 2583-2595

DGEC 2005. 2º Relatório de Avaliação da realização das Metas Indicativas relativas à Produção de Electricidade a partir de fontes de Energia Renováveis em Portugal (2004). Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. Portugal.

DGEG 2007. 3º Relatório de Avaliação da realização das Metas Indicativas relativas à Produção de Electricidade a partir de fontes de Energia Renováveis em Portugal (2005/2006). Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. Portugal.



DGEG 2009. 4º Relatório de Avaliação da realização das Metas Indicativas relativas à Produção de Electricidade a partir de fontes de Energia Renováveis em Portugal (2008/2009). Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. Portugal.

DGEG 2009. Renováveis – estatísticas rápidas Novembro/Dezembro 2009. Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. Portugal.

DGEG 2010. Caracterização energética nacional. Direcção Geral de Energia e Geologia. [<http://www.dgge.pt/>]. Data de consulta: 03/02/2010.

EREC/Greenpeace International 2008. Energy [R]evolution – A sustainable global energy outlook. European Renewable Energy Council/Greenpeace International.

EREC 2009a. Renewable Energy Policy Review – Austria. EREC - European Renewable Energy Council. Bruxelas. Bélgica.

EREC 2009b. Renewable Energy Policy Review – Denmark. EREC - European Renewable Energy Council. Bruxelas. Bélgica.

EREC 2009c. Renewable Energy Policy Review – Sweden. EREC - European Renewable Energy Council. Bruxelas. Bélgica.

ERIKSSON, P. E OLSSON, M. 2007. *The potencial of Biogas as Vehicle Fuel in Europe*. Department of Energy and Environment, Division of Environmental System Analysis. Chalmers University of Technology. Gotemburgo. Suécia.

EUROBSERV'ER 2009. The State of Renewable Energies in Europe – 9<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2008a. The State of Renewable Energies in Europe – 8<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2008b. Biogas Barometer. Systèmes Solaires - Le Journal des Énergies Renouvelables, N°. 186, pp 45-59, 2008.

EUROBSERV'ER 2007a. State of Renewable Energies in Europe – 7<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2007b. Biogas Barometer. Systèmes Solaires - Le Journal des Énergies Renouvelables, N°. 179, pp 51-61, 2007.

EUROBSERV'ER 2006a. State of Renewable Energies in Europe – 6<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2006b. Biogas Barometer. Systèmes Solaires, N°. 173, pp 45-55, 2006.

EUROBSERV'ER 2005a. European Barometer of Renewable Energies – 5<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2005b. Biogas Barometer. Systèmes Solaires, N°. 167, pp 33-38, 2005.

EUROBSERV'ER 2004a. European Barometer of Renewable Energies – 4<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

EUROBSERV'ER 2004b. Biogas Barometer. Systèmes Solaires, N°. 162, pp 69-78, 2004.

EUROBSERV'ER 2003a. European Barometer of Renewable Energies – 3<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Observ'ER. Paris. França.

FERNANDES, J.P. 2002. A Política e o Ambiente: a dimensão do indivíduo – Sustentabilidade: O desafio de romper com os velhos paradigmas. Editorial Piaget.

FERREIRA, J., FERREIRA, T. 1994. *Economia e Gestão da Energia*. Texto Editora. Lisboa. Portugal.

FNR 2009. *Biogas – an introduction*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) / Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer. Alemanha.

FREITAS P., MARQUES, I. P. 2008. *Biogas in Portugal: attainable production from wastewaters and municipal solid wastes*, *Bioenergy: Challenges and Opportunities, International Conference and Exhibition on Bioenergy*, Universidade do Minho, Guimarães, 6 a 9 de Abril de 2008.

GONÇALVES, N. 2010. Grupo Auto Sueco. Comunicação pessoal.

GONZÁLEZ, P.R. 2008. Ten years of renewable electricity policies in Spain: An analysis of successive feed-in tariff reforms. *Energy Policy*, 36, pp 2917-2929.

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 1988. Decreto-Lei nº 189/88 de 27 de Maio. *Diário da República*, I Série, Nº 123, pp 2289-2296.

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 1999. Decreto-Lei nº168/99 de 18 de Maio. *Diário da República*, I Série-A, Nº 115, pp 2619-2628.

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 2001. Decreto-Lei nº339-C/2001 de 29 de Dezembro. *Diário da República*, I Série-A, pp 8520(2)-8520(3).

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 2005. Decreto-Lei nº 33-A/2005 de 16 de Fevereiro. *Diário da República*, I Série-A, Nº 33, pp 1180(2)-1180(9).

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 2005. Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005. *Diário da República*, I Série-B, Nº 204, pp 6168-6176.

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 2007. Decreto-Lei nº225/2007 de 31 de Maio.

GOVERNO DA REPÚBLICA PORTUGUESA 2009. Programa do XVIII Governo Constitucional 2009-2013.

GREENPRO 2004. Bioenergia – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação.

HEDEGAARD, K., THYØ, K., WENZEL, H. 2008. Life Cycle Assessment of an Advanced Bioethanol Technology in the Perspective of Constrained Biomass Availability. *Environmental Science & Technology*, Vol. 42, N° 21, pp 7992-7999.

HELD, A., RAGWITZ, M., HUBER, C., RESCH, G., FABER, T., VERTIN, K. 2007. Feed-In Systems in Germany, Spain and Slovenia. Alemanha.

HERNÁNDEZ, J.A., MALICO, I., MARQUES, I.P. 2009. Enquadramento legislativo da gestão de resíduos: o biogás como fonte energética. Unidade de Bioenergia. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa. Portugal.

HOLM-NIELSEN, J.B., OLESKOWICZ-POPIEL, P., 2007. The Future of Biogas in Europe: Visions and Targets until 2020. AEBIOM Workshop – European Parliament, 11 de Dezembro 2008. Bruxelas. Bélgica.

HOLM-NIELSEN, J. B., AL SEADI, T., OLESKOWICZ-POPIEL, P. 2009. *The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresour. Technol.* doi:10.1016/j.biortech.2008.12.046.

HOLM-NIELSEN, J.B., LOMBORG, C.J., OLESKOWICZ-POPIEL, P., ESBENSEN, K.H. 2008. On-Line Near Infrared Monitoring of Glycerol-Boosted Anaerobic Digestion Processes: Evaluation of Process Analytical Technologies. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. 99, N° 2, pp 302-312.

IEA BIOENERGY TASK 37 2005. Biogas Production and Utilisation. IEA Bioenergy Task 37.

IEA BIOENERGY TASK 38 2006a. Austrian Country Profile. IEA Bioenergy Task 38.

IEA BIOENERGY TASK 38 2006b. Danish Country Profile. IEA Bioenergy Task 38.

IPCC 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report.

INE 2009. Estatísticas Agrícolas 2008. Instituto Nacional de Estatística, I. P. Lisboa.

INE 2003. Estatísticas Agro-Industriais 1999-2001. Instituto Nacional de Estatística, I. P. Lisboa. Portugal.

KLOEK, W., BLUMENTHAL, K. 2009. Statistics in focus Eurostat – Generation and treatment of waste.

LABRIET, M., CABAL, H., LECHÓN, Y., GIANNAKIDIS, G., KANUDIA, A. 2010. The implementation of EU renewable directive in Spain. Strategies and challenges. Energy Policy, 38, pp 2272-2281.

LIPP, J. 2007. *Lessons for effective renewable electricity policy from Denmark, Germany and the United Kingdom*. Energy Policy, Vol. 35, pp 5481-5495.

LÓPEZ, J.A.S., SANTOS, M.A.M., PÉREZ, A.F.C. & MARTÍN, A.M. 2009. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. Bioresource Technology. 100, pp 5609-5615.

MANUEL VIEIRA & C.<sup>a</sup> 1993. Estação de Tratamento de Efluentes – Projecto. Estudo nº 1503.

MARTINS, R. 2010. Babcock Wanson Caldeiras Lda. Comunicação pessoal.

MITYC 2005. Plan de Energias Renovables en España 2005-2010. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid. Espanha.

MITYC 2009. La Energía en España 2008. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, Espanha.

MOLETTA, R. 2005. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Water Science and Technology* 51-1, pp 137-144.

NOVAIS, J. M., MARQUES, F. O. 2002. *Biogás - Fórum Energias Renováveis em Portugal* (Gonçalves, H., Joyce, A., Silva, L.; Eds.). ADENE/INETI. Lisboa. pp 120-127.

OLIVEIRA, L.C. 2005. *Digestão Anaeróbia: Uma visão sustentável no tratamento de subprodutos de origem animal*. Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores.

PARASKEVA, P., DIAMADOPOULOS, E. 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81, pp 1475- 1485.

PERSSE, M. 2007. Biogas upgrading and utilization as vehicle fuel. European Biogas Workshop, The Future of Biogas in Europe – III. University of Southern Denmark, Esbjerg. Dinamarca.

PORSCHKE, G. 2007. The impact of national policies and economic frames for the development of biogas in Germany. European Biogas Workshop, The Future of Biogas in Europe – III. University of Southern Denmark. Esbjerg. Dinamarca.

QIN, W., EGOLFOPOULOS, F.N., TSOTSIS, T.T. 2001. Fundamental and environmental aspects of landfill gas utilization for power generation. *Chemical Eng. Journal* 82, pp 157-172.

RAVEN, R.P.J.M., GREGERSEN, K.H. 2007. *Biogas plants in Denmark: successes and setbacks*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp 116-132.

SALOMON, K.R. 2007. Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá.

SILVA, L. 2009, Direcção Geral de Energia e Geologia. Comunicação pessoal.

SOUSA, T. A., PREGITZER, R. L., MARTINS, J. S., AFONSO, J. L. 2005. Estudo do Panorama das Energias Renováveis na União Europeia e Sugestões para Portugal, *ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal*. Figueira da Foz. pp 1.87-1.92.

SWEDISH ENERGY AGENCY 2008. Energy in Sweden 2008. Swedish Energy Agency. Eskilstuna. Suécia.

SWEDISH GAS ASSOCIATION 2010. Consultado a 20 de Março de 2010.

SWEDISH GAS CENTER 2007. Basic data on biogas. Swedish Gas Center. Malmö. Suécia.

UNIÃO EUROPEIA 2001. Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Setembro de 2001 relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade. Jornal Oficial da União Europeia, L 140, pp. 33-40.

UNIÃO EUROPEIA 2003. Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes. Jornal Oficial da União Europeia, L 123, pp. 42-46.

UNIÃO EUROPEIA 2009. Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Jornal Oficial da União Europeia, L 283, pp. 16-62.

WEILAND, P. 2000. Anaerobic waste digestion in Germany – Status and recent developments. *Biodegradation*. 11:415-421.

WEILAND, P. 2009. Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85:849-860.

WEILAND, P. 2006. *Biomass Digestion in Agricultural: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany*. *Eng. Life Sci.*, 2006, 6, N°3, pp 302-309.

WEILAND, P. 2009. Country Report Germany. IEA Task 37. Jyväskylä.



## **ANEXO**

### **EQUIPAMENTOS**

#### *Agitadores*

- A102 – Agitador do Tanque de Mistura
- A103 – Agitador do Tanque de Homogeneização
- A 202 – Agitador do Tanque de Mistura de Lamas
- A203 – Agitador de Preparação de Leite de Cal

#### *Tanques*

- B 101 – Tanque de Recepção do influente (na fábrica)
- B102 – Tanque de Neutralização
- B103 – Tanque de Homogeneização
- B 106 – Tanque de Recolha de Lamas Sobrenadantes
- B201 – Tanque de Recolha de Filtrado
- D105 – Tanque de Recolha do Efluente
- F202 – Tanque de Mistura de Lamas
- F203 – Tanque de Preparação do leite de Cal

#### *Compressores e Ventiladores*

- C104 – Ventilador de Biogás

#### *Reactores*

- D104 – Reactor de Metanogénese por Contacto Ascendente

#### *Permutadores de Calor*

- E101 – Arrefecedor do Influyente (na fábrica)
- E104 – Arrefecedor de Biogás

#### *Equipamento de Queima*

- H104 – Queimador de Biogás de Emergência

### *Bombas*

P101A/B – Bombas de Alimentação do Sistema (fábrica)

P102 – Bomba de Lamas de Sedimentador Primário

P103A/B – Bombas de Alimentação do Reactor

P104 – Bomba de Recirculação do Reactor

P105 – Bomba de Lamas do Sedimentador Secundário

P106 – Bomba de Lamas Sobrenadantes

P107 – Bomba de Reserva

P201 – Bomba de Filtrado

P202 – Bomba de Lamas Floculadas

P203 – Bomba de Circulação do Leite de Cal

### *Separadores*

R105 – Raspador de lamas sobrenadantes

S102 – Sedimentador Primário

S104 – Separador de Condensados

S105 – Separador de Placas Paralelas

S201 – Filtro de Lamas Primárias