



Projeto

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Bioenergias em Portugal – contributo para a sua divulgação

Tânia Monteiro Rodrigues

Leiria, novembro de 2013



Projeto

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Bioenergias em Portugal – contributo para a sua divulgação

Tânia Monteiro Rodriguea

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Doutor Nelson Oliveira, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, novembro de 2013

À Minha Família

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Ao Professor Nelson Oliveira, pela sua disponibilidade para orientar o Projeto, esclarecer dúvidas e dar sugestões.

Aos meus pais e irmão que sempre me apoiaram.

Aos participantes das ações de sensibilização pela sua receptividade.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

A energia elétrica é necessária para satisfazer as necessidades humanas, permitindo melhoria de vida e desenvolvimento económico-social e industrial. Desta forma a evolução da sociedade tem levado a um aumento da dependência energética o que conduz à insustentabilidade das reservas fósseis, à flutuação dos preços dos combustíveis fósseis, a emissões de gases com efeito de estufa e conseqüente aquecimento global e alterações climáticas. Estes fatores provocam e continuarão a provocar inconvenientes a nível ambiental e humano. Assim, uma opção viável para responder às necessidades energéticas de forma a preservar as reservas fósseis e a diminuir os impactes no ambiente e na saúde, é o recurso às energias renováveis. As energias renováveis podem ter vários tipos de fontes sendo que as que utilizam materiais derivados de fontes biológicas denominam-se por bioenergia, tema este que será abordado no presente estudo.

A bioenergia é o nome comum utilizado para designar a biomassa sólida e os biocombustíveis líquidos e gasosos. Esta forma de energia renovável está associada ao Ciclo do Carbono dado que a biomassa é o termo que denomina a matéria vegetal formada a partir da fotossíntese onde a energia solar converte a água e o CO₂ em matéria orgânica. Para que a biomassa seja utilizada como matéria-prima para a produção de bioenergias, recorre-se a várias tecnologias de conversão, tendo em conta os tipos específicos de matéria-prima e as características dos produtos finais pretendidos.

O presente projeto tem como objetivo estudar a bioenergia em Portugal e divulgar e desmitificar a área da bioenergia junto dos cidadãos de forma a sensibilizar para esta temática. Este projeto pretende também potencializar a aposta neste tipo de energia renovável servindo de suporte para o apoio à decisão nesta área.

Em Portugal, o biodiesel, o biogás e a biomassa sólida são as bioenergias que apresentam maior produção. O biodiesel encontra-se presente no gasóleo comercializado e a sua produção pode ser realizada a partir de culturas que se adaptam bem ao clima e ao solo de Portugal, podendo ainda este biocombustível líquido ser produzido a partir de óleos alimentares usados, dando assim um correto destino a este resíduo.

O biogás encontra-se a ser produzido em aterros sanitários, Centros de Valorização Orgânica e em unidades do sector da agricultura e da pecuária, sendo posteriormente utilizado para consumo próprio nas referidas unidades ou comercializado para posterior produção de energia elétrica. A produção de biogás a partir do processo de digestão anaeróbia permite ainda a produção de composto que apresenta um elevado valor como fertilizante. A biomassa sólida que é muito utilizada pelos portugueses na produção de calor a nível doméstico apresenta maior potencial energético do que aquele que na prática está a ser aproveitado, isto porque o território português é coberto em parte por floresta, da qual uma parte se encontra ao abandono e poderia ser mais valorizada.

O bioetanol, o hidrogénio e as microalgas são as bioenergias menos divulgadas em Portugal. No entanto, têm sido realizados estudos e projetos com resultados positivos, como é o caso do estudo da viabilidade de produção de matérias-primas, em território nacional, para a produção de bioetanol.

Também a célula de combustível associada ao hidrogénio apresentam um elevado potencial de desenvolvimento bem como a produção de microalgas, que para além de serem uma promissora matéria-prima na produção de vários produtos também desempenham um importante papel no sequestro de CO₂.

Na divulgação efetuada foi visível a falta de informação sobre as bioenergias por parte do público-alvo, tendo sido notória, no entanto, uma grande curiosidade em adquirir conhecimentos e compreender as atividades experimentais. Assim, torna-se relevante que haja uma aposta na divulgação das bioenergias de forma a acentuar esta área.

Palavras-chave: Bioenergia, Biocombustíveis líquidos, Biocombustíveis gasosos, Biomassa sólida, Biorrefinaria e Microalgas.

Abstract

Electrical energy is necessary to satisfy human needs, allowing better life, industrial and socio-economic development. Therefore the society's increasingly energy dependence is unsustainable, depleting fossil fuel reserves, price fluctuations, increasing green house emissions, causing global warming and climate change, affecting environment and human life. Therefore, viable options to reply the energy needs, in a way to preserve fossil fuel reserves and reduce environmental impacts and human health implications are the renewable energies. Renewable energies can have several types of sources, the ones which make use of biologic sources are called bioenergies. This subject will be addressed in this essay.

The bioenergy is the common name used to designate the solid biomass and the liquid biofuels and gaseous biofuels. This form of renewable energy is associated with the Carbon Cycle since biomass is the plant matter formed from photosynthesis where solar energy converts water and CO₂ into organic matter. Using biomass as feedstock for producing bioenergy, we can use various conversion technologies taking into account the specific types of feedstock and desired end products characteristics.

This project aims to study, disclose and demystify bioenergy in Portugal so the citizens are aware and subsequently bet this type of renewable energy. With this project we aim to increase the use of bioenergies as well to support decision making in this field.

In Portugal, the highest production of bioenergies are biodiesel, biogas and solid biomass. Biodiesel can be found as commercial diesel and can be produced from crops adapted to the Portuguese weather and soil. Therefore, this liquid biofuel can also be produced from waste cooking oil, reusing properly this waste. Biogas is produced in sanitary landfills, composting organic centers, in agriculture landfills and in cattle raising units. Biogas can be used in the same facilities or traded for electricity production. When produced by anaerobic digestion generates a solid residual, which is a powerful soil amendment. Solid biomass, mainly used in Portuguese domestic heat production, shows high energetic potential because of forestland coverage in Portugal, yet is not fully explored due to abandoned forestland.

Bioethanol, hydrogen and microalgae are the less disclosed bioenergies in Portugal. Though there are studies and projects with positive results, such as the plantation of crops for bioethanol production. Another examples, with high development potential, are the hydrogen fuel cell and microalgae production, this last one plays an important role in carbon sequestration.

During awareness raising was noticed the lack of information about bioenergies from targeted audience, however, a great curiosity to acquire knowledge and understand the experimental activities was demonstrated by the target audience. Thus, more awareness raising activities became important to promote bioenergies.

Key-Words: Bioenergy, Liquid Biofuel, Gaseous Biofuel, Solid Biomass, Biorefinary and Microalgae.

Índice de Figuras

Figura 1: Irradiância Horizontal global, GHI (valor anual de 2007 em kWh / m ²)	5
Figura 2: Ciclo do processamento da Bioenergia	8
Figura 3: Processos de conversão para as bioenergias.	9
Figura 4: Principais matérias-primas do bioetanol de primeira geração	23
Figura 5: Principais matérias-primas do bioetanol de segunda geração	25
Figura 6: Tipos de pré-tratamento da biomassa lenho celulósica	28
Figura 7: Processo de digestão anaeróbia.....	34
Figura 8: Central de Valorização Orgânica da Valorlis (Leiria). 1 – Digestor; 2 – Gasómetro; 3 – Valorização energética.	39
Figura 9: Diagrama do processo de valorização energética num aterro sanitário.	39
Figura 10: Biodigestor Modelo Chinês	41
Figura 11: Biodigestor Modelo Indiano.....	41
Figura 12: Processos produtivos do hidrogénio.	44
Figura 13: Esquema da produção de hidrogénio através da eletrólise da água.	47
Figura 14: Métodos de conversão de biomassa sólida.	52
Figura 15: Conceito geral de Biorrefinaria	56
Figura 16: Vista de cima de uma lagoa.....	60
Figura 17: Fotobiorreatores tubulares: a) tubos horizontais paralelos, b) tubos colocados em forma de cerca.	61
Figura 18: Produtos resultantes da Biorrefinaria baseada na gaseificação.	63
Figura 19: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados e Mostra de bioetanol produzido a partir de maçãs em fevereiro de 2011. a – poster relativa ao bioetanol; b – frasco de bioetanol; c – poster relativa ao biodiesel; d – matérias-primas (óleo alimentar usado e solução de	

metóxido de sódio); e – aquecimento da mistura de óleo alimentar usado com metóxido de sódio; f – decantação com separação do biodiesel e da glicerina.....	79
Figura 20: <i>Hydrocar</i> – O carro movido a hidrogénio.....	80
Figura 21: Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio. a - Mistura de água, resíduos de alumínio e hidróxido de sódio; b – mistura aquosa apenas para demonstrar a formação de hidrogénio que era visível com o aparecimento de pequenas bolhas de hidrogénio.	81
Figura 22: a) Ventoinha movida a partir da produção de hidrogénio. b) Célula de combustível alimentada por hidrogénio e pequena bicicleta movida a partir da produção de hidrogénio.....	81
Figura 23: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados.	83
Figura 24: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados, com linguagem gestual. .	83

Índice de Tabelas

Tabela 1: Número de artigos científicos referentes às várias Bioenergias em estudo	11
Tabela 2: Comparação do rendimento de produção de bioetanol	24
Tabela 3: Postos de abastecimento de combustível com B10 (em outubro de 2013).	68
Tabela 4: Postos de abastecimento de combustível com B15 (em outubro de 2013).	69
Tabela 5: Especificações padrão para o Biodiesel - EN 14214.	99

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Comparação entre as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, material particulado e óxidos de azoto em misturas de diferentes percentagens de biodiesel em gasóleo fóssil.....	21
--	----

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

Bx	Terminologia em que x denomina a percentagem em volume de biodiesel na mistura
CVO	Centrais de Valorização Orgânica
EN	Norma Europeia
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
Ex	Terminologia onde x designa a percentagem em volume de bioetanol na mistura
ISP	Imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos
LER	Lista Europeia de Resíduos
Norma Padrão ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
pH	Potencial de hidrogénio
RSU	Resíduos sólidos urbanos
TdB	Emissão de títulos de biocombustíveis
TMB	Tratamento Mecânico-Biológico

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
LISTA DE SIGLAS	XIV
ÍNDICE	XVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 BIOENERGIA.....	5
3. BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS.....	13
3.1 BIODIESEL	14
3.1.1 <i>Matérias-primas</i>	14
3.1.2 <i>Métodos de produção</i>	16
3.1.2.1 <i>Transesterificação</i>	16
3.1.2.2 <i>Esterificação ácida seguida de transesterificação alcalina</i>	18
3.1.2.3 <i>Utilização de ultrassons</i>	18
3.1.3 <i>Recuperação de metanol e Decantação da glicerina</i>	19
3.1.4 <i>Utilização</i>	19
3.1.5 <i>Vantagens e desvantagens</i>	20
3.2 BIOETANOL	22
3.2.1 <i>Matérias-primas</i>	22
3.2.1.1 <i>Bioetanol de primeira geração</i>	23
3.2.1.2 <i>Bioetanol de segunda geração</i>	25
3.2.2 <i>Processo de produção</i>	26
3.2.2.1 <i>Bioetanol de primeira geração</i>	26
3.2.2.2 <i>Bioetanol de segunda geração</i>	27
3.2.3 <i>Vantagens e desvantagens</i>	32
4. BIOCOMBUSTÍVEIS GASOSOS.....	33
4.1 BIOGÁS.....	33
4.1.1 <i>Processo de digestão anaeróbia</i>	34
4.1.2 <i>Factores que influenciam a produção de biogás</i>	35
4.1.2.1 <i>Temperatura</i>	35
4.1.2.2 <i>pH</i>	36

4.1.2.3	<i>Toxicidade</i>	36
4.1.3	<i>Matérias-primas</i>	37
4.1.4	<i>Processo de produção</i>	38
4.1.4.1	<i>Sector de Resíduos Sólidos Urbanos</i>	38
4.1.4.2	<i>Sector de Estações de Tratamento de Águas Residuais</i>	40
4.1.4.3	<i>Sector da agricultura, pecuária e indústria alimentar</i>	40
4.1.5	<i>Vantagens da produção de biogás e utilização de biogás</i>	42
4.2	HIDROGÉNIO	44
4.2.1	<i>Produção de hidrogénio</i>	44
4.2.2	<i>Armazenamento, distribuição e utilização do hidrogénio</i>	47
4.2.3	<i>Célula de combustível (Fuel-Cell) de hidrogénio</i>	48
4.2.4	<i>Vantagens e desvantagens da utilização do hidrogénio</i>	49
5.	BIOMASSA SÓLIDA	51
5.1	MATÉRIAS-PRIMAS	51
5.2	MÉTODOS DE CONVERSÃO	52
5.3	VANTAGENS	54
6.	BIORREFINARIA	55
6.1	MATÉRIAS-PRIMAS	56
6.1.1	<i>As microalgas como matéria-prima</i>	57
6.1.2	<i>Constituição das microalgas</i>	58
6.1.3	<i>Cultura de microalgas – Lagoas e fotobiorreactores</i>	59
6.1.4	<i>Factores que influenciam a cultura de microalgas</i>	61
6.2	BIORREFINARIAS E MICROALGAS	61
6.2.1	<i>Os processos tecnológicos nas biorrefinarias</i>	62
7.	AS BIOENERGIAS EM PORTUGAL	65
7.1	BIODIESEL	65
7.2	BIOETANOL	69
7.3	BIOGÁS	70
7.4	HIDROGÉNIO	72
7.5	BIOMASSA SÓLIDA	72
7.6	MICROALGAS	73
8.	DIVULGAÇÃO DAS BIOENERGIAS EM PORTUGAL	75
8.1	METODOLOGIA	75
8.1.1	<i>Curiosidades e mitos</i>	76
8.2	DIVULGAÇÃO	78
8.2.1	<i>Dia aberto da ESTG</i>	78
8.2.2	<i>Palestra e demonstração laboratorial relativas a bioenergias</i>	81
	CONCLUSÃO	85
	BIBLIOGRAFIA	87
	ANEXOS	99

1. Introdução

1.1 ENQUADRAMENTO

A energia é necessária na medida em que proporciona conforto pessoal e mobilidade que permite o aumento da riqueza industrial, comercial e social. Paralelamente a este cenário a produção e o consumo de energia desencadeiam no ambiente impactes ambientais (emissões de Gases com Efeito de Estufa, a utilização intensiva do solo, a produção de resíduos e derrames de petróleo) que impulsionam assim as alterações climáticas, a destruição de ecossistemas naturais e provocam ainda efeitos nocivos para a saúde humana (European Environment Agency, 2006).

A dependência energética tem aumentado com a evolução da sociedade, traduzindo-se numa crescente procura e excessiva dependência externa de combustíveis fósseis. Os conflitos internacionais que se fazem sentir no Médio Oriente têm levado a uma diminuição da produção de petróleo, diminuição esta que é superior a 2.000.000 barris/dia na Líbia, Nigéria, Irão e Iraque. Uma diminuição semelhante foi também verificada no Brasil, Canadá, México, Mar do Norte, Sudão e Iêmen onde devido a várias razões, a produção diminuiu 500.000 barris/dia. Devido aos ataques, interrupção da utilização do oleoduto que faz a ligação entre Kirkuk e o porto de Ceyhan, encerramento dos terminais de Es Sider, Ras Lanuf e Zueitina, interrupção do Estreito de Ormuz e do Canal do Suez, tem ocorrido um corte nas exportações de petróleo provocando assim um aumento dos preços internacionais do crude. Desta forma aumenta a instabilidade na produção mundial de petróleo e a pressão nos respetivos preços (Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas, 2013).

Torna-se por isso também necessário que as políticas relativas ao sector da energia sejam alteradas, caso contrário as necessidades energéticas a nível mundial poderão sofrer um aumento de 55% em 2030 comparativamente a 2005, sendo a China e a Índia a liderarem a demanda energética (European Environment Agency, 2008).

No período de 1990 a 2008 a União Europeia viu a sua importação de energia aumentar para 54,8% dado que a sua produção de energia é insuficiente para as respetivas necessidades energéticas. De forma a atender à demanda energética e a reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) o Conselho Europeu e o Parlamento Europeu adotaram, em 1997, o *Livro*

Branco para uma estratégia e Plano de Ação em que se fomentou o uso de fontes de energia renovável como forma de reduzir a dependência da importação de energia com resultados positivos ao nível da balança comercial, da segurança do abastecimento, da redução de emissões de CO₂ e da criação de emprego, respeitando desta forma a vertente ambiental e impulsionando o desenvolvimento sustentável.

Em 2009 surgiu a Diretiva Comunitária (Diretiva 2009/28/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de abril de 2009) relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. A referida Diretiva indica direções claras sobre a evolução energética e ambiental da Europa determinando no consumo energético global, até 2020, uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis e um mínimo obrigatório, a alcançar por todos os Estados-Membros, de 10% para a quota de biocombustíveis no consumo de combustíveis tradicionais no sector dos transportes até 2020 (Arnulf Jager-Waldau, 2011).

Em Portugal o consumo total de energia aumentou 66% no período 1990 a 2008. Relativamente aos sectores da Diretiva verificou-se que no ano 2008 houve uma aproximação dos valores de consumo no sector dos transportes e no sector de energia para Aquecimento e Arrefecimento com cerca de 38%, em cada sector. Em relação ao consumo de eletricidade, este correspondeu a 23% do consumo total de energia final. Quanto à divisão pelos sectores económicos notou-se que o sector dos transportes é o que apresenta maior valor (38%) do consumo total, seguindo-se o sector da indústria (31%), o sector doméstico (18%) e por fim o sector dos serviços (13%) (APREN, Roteiro Nacional das Energias Renováveis, 2010).

A nível nacional surgiu a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) que foi aprovada pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de abril de 2010. A ENE 2020 define uma agenda para a competitividade, o crescimento, a independência energética e financeira de Portugal através do uso de energias renováveis e da eficiência energética. Desta forma pretende-se garantir o abastecimento, a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético instituído contribuindo para a redução de emissões de CO₂ e para a diminuição da dependência energética do exterior. Ambiciona-se também cumprir os acordos de combate às alterações climáticas no âmbito das políticas europeias e promover o desenvolvimento sustentável de forma a criar benefícios no mercado de emissões que poderão ser investidos na promoção das energias renováveis e na eficiência energética (Resolução do Conselho de Ministros n.º 29, 2010).

Prevê-se que, não só em Portugal mas também nos restantes Estados-Membros da União Europeia, o consumo total de energia proveniente de fontes renováveis aumente, sendo a energia proveniente das fontes bioenergia, solar e eólica a representarem o maior aumento previsto. A elevada disponibilidade de matérias-primas de biomassa de baixo custo são um fator importante para a aposta na bioenergia, sendo no entanto necessários esforços e

políticas de apoio para melhorar as tecnologias de conversão e para o desenvolvimento da produção de culturas (Arnulf Jager-Waldau, 2011).

O presente projeto visa estudar o estado da arte da bioenergia, de forma a encontrar oportunidades para o desenvolvimento de bioenergias em Portugal e que seja um contributo para a sua divulgação e disseminação. O projeto encontra-se estruturado em nove capítulos sendo o primeiro referente à introdução onde é gerado um enquadramento da dependência energética e respetiva necessidade de abordar as bioenergias.

O segundo capítulo é relativo à bioenergia, expondo o conceito e as várias bioenergias que serão abordadas durante o presente projeto. Os capítulos seguintes são constituídos por uma abordagem individual a cada bioenergia.

O terceiro capítulo é alusivo aos biocombustíveis líquidos onde são apresentados os biocombustíveis líquidos tradicionais, biodiesel e bioetanol. São também apresentadas as respetivas matérias-primas, métodos de produção, utilização, vantagens e desvantagens. Relativamente ao subcapítulo bioetanol é ainda efetuada distinção entre o bioetanol de primeira geração e o bioetanol de segunda geração.

O capítulo quatro refere os biocombustíveis gasosos, principalmente o biogás e o hidrogénio, onde são expostos os processos de produção, matérias-primas, vantagens bem como respetivas particularidades destes biocombustíveis.

No capítulo cinco é realizada uma abordagem à biomassa sólida e no capítulo seis a biorrefinaria com especial incidência nas microalgas como matérias-primas.

No capítulo sete é apontado o estado das bioenergias estudadas em Portugal, fazendo referência a legislação nacional, preços nacionais e unidades de produção ou comercialização nacionais.

No capítulo oito são apresentadas algumas curiosidades, mitos e também a informação necessária para a divulgação das ações de sensibilização efetuadas e agendadas.

O capítulo nove é referente à conclusão onde são referidos os principais aspetos de cada bioenergia estudada, em Portugal, de forma a sustentar o estudo como uma base para o apoio à decisão nas bioenergias.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Revisão da literatura

2.1 BIOENERGIA

As fontes de energia renováveis derivam essencialmente da radiação solar. O Sol emite para a atmosfera terrestre, anualmente, uma quantidade de energia de $1,5 \times 10^{18}$ kWh, sendo este valor cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia anualmente. A nível europeu, Portugal é um dos países que apresenta maior disponibilidade de radiação solar (Figura 1) com um número médio anual de horas de Sol entre as 2200 e 3000 horas no continente enquanto os arquipélagos dos Açores e da Madeira apresentam entre 1700 e 2200, respetivamente, mas mesmo assim há um baixo aproveitamento deste recurso para fins energéticos. A Alemanha, que apresenta entre 1200 e 1700 horas de Sol, era um dos países que contribuía para os 60% do total de 12,3 milhões de m^2 de coletores térmicos instalados na União Europeia, juntamente com a Grécia e a Áustria em 2002. (DGEG - Energia Solar, 2013)

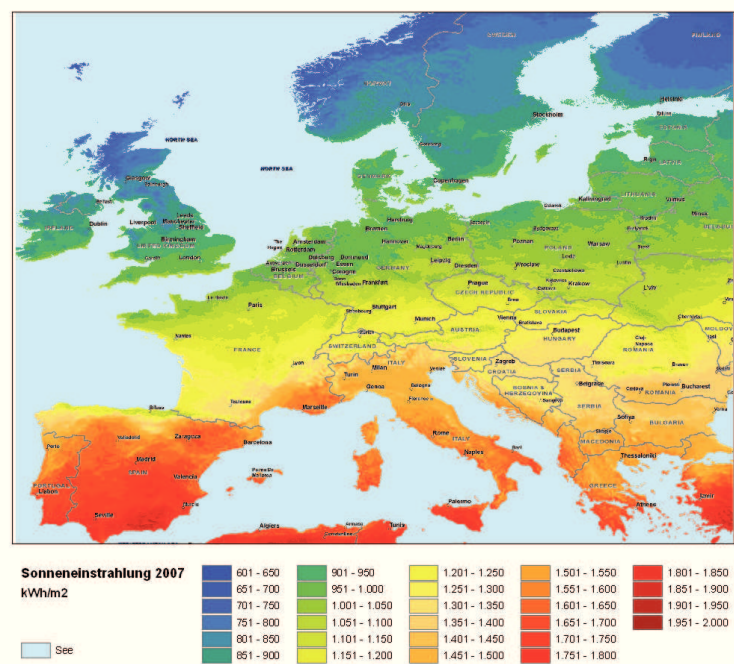


Figura 1: Irradiância Horizontal global, GHI (valor anual de 2007 em kWh / m²)

Fonte: (Focus Solar, 2011)

A energia solar, tanto na forma direta de radiação solar como nas formas indiretas (a bioenergia, a água ou o vento), foi a fonte de energia utilizada pelas primitivas sociedades humanas para sobreviverem (Castro, 2011).

O desenvolvimento das sociedades conduziu a um desenvolvimento paralelo nas tecnologias para controlar a energia do sol, da biomassa, da água e do vento de forma a contribuir para o bem-estar da sociedade. Com a Revolução Industrial (iniciada em Inglaterra no século XVIII e expandida pelo mundo durante o século XIX) surgiram alterações nos processos industriais onde as vantagens do carvão (combustível fóssil) foram vangloriadas, impulsionando ainda mais o progresso da Revolução Industrial. Os vários combustíveis fósseis, carvão, petróleo e o gás natural, eram considerados abundantes e baratos pelo que foram utilizados para satisfazer as necessidades de energia elétrica, de calor e de combustíveis no sector dos transportes. Com a própria Revolução Industrial, os vencimentos e a qualidade de vida aumentaram notavelmente, resultando num aumento de esperança média de vida em mais 20 anos, o que levou ao aumento da população mundial. Com o desenvolvimento de vários países emergentes, a demanda energética mundial irá aumentar por consequência.

Com as crises petrolíferas de 1970/1980 os preços dos combustíveis fósseis sofreram um elevado aumento, começaram a ser notórias as preocupações relativas às consequências da combustão no ambiente e a elevada quantidade extraída de combustíveis fósseis despertou a consciência de que estes têm fontes finitas, estimando-se que o pico de extração e exploração de petróleo tenha ocorrido em 2010. Devido às crises petrolíferas surgiu o interesse pelas fontes renováveis de energia que são mais sustentáveis que os combustíveis fósseis dado que não são comprometidas pelo seu uso continuado e espera-se desenvolver novas energias que emitam uma menor quantidade de gases nocivos ou outros poluentes.

As tecnologias das energias renováveis podem disponibilizar serviços de energia na forma de eletricidade, aquecimento e arrefecimento e ainda nos transportes, sendo que uma tecnologia que dá resposta a estes três sectores é a bioenergia. Pode-se dizer que bioenergia é o nome geral para designar a biomassa e os biocombustíveis líquidos e gasosos (biodiesel e bioetanol, biogás e hidrogénio), sendo que muitas vezes os biocombustíveis são abrangidos na designação de biomassa (Castro, 2011).

De acordo com a Diretiva 2009/28/CE, biomassa é a “fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da agricultura (incluindo substâncias de origem vegetal e animal), da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos”. Os biocombustíveis são definidos como “os combustíveis líquidos ou gasosos para os transportes, produzidos a partir de biomassa” (Directiva 2009/28/CE, 2009).

Segundo o Decreto-Lei n.º 142/2010, de 31 de dezembro de 2010, são considerados biocombustíveis os seguintes:

- **Bioetanol:** “etanol produzido a partir de biomassa e ou fração biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível”;
- **Biodiesel - FAME:** “éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível, cuja composição e propriedades obedecem à EN 14214”;
- **Biogás:** “gás combustível produzido a partir de biomassa e ou da fração biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até à qualidade do gás natural, para utilização como biocombustível, ou gás de madeira”;
- **Biometanol:** “metanol produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível”;
- **Bioéterdimetílico:** “éter dimetílico produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível”;
- **Bio-ETBE (bioéteretil-ter-butílico):** “ETBE produzido a partir do bioetanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-ETBE considerada como biocombustível de 47%”;
- **Bio-MTBE (bioétermetil-ter-butílico):** “combustível produzido com base no biometanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-MTBE considerada como biocombustível de 36%”;
- **Biocombustíveis sintéticos:** “hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa”;
- **Biohidrogénio:** “hidrogénio produzido a partir de biomassa e ou da fração biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível”.

A bioenergia é uma forma de energia renovável que é derivada de biomassa (Australian Renewable Energy Agency, 2012), ou seja, é a energia solar armazenada na forma química em materiais vegetais e animais. Está associada ao Ciclo do Carbono dado que a biomassa é o termo que designa a matéria vegetal formada a partir da fotossíntese onde a energia solar converte a água e o CO₂ em matéria orgânica (Demirbas A. , Importance of biodiesel as transportation fuel, 2007).

Na prática, a fotossíntese consegue reduzir o estado de oxidação do carbono. O dióxido de carbono entra na atmosfera através de processos naturais e também através da queima de biomassa ou através de outros processos de produção energética. Este gás é removido da atmosfera quando é absorvido pelas plantas no processo de fotossíntese, assim quando é utilizada biomassa para produzir bioenergia, a quantidade de dióxido de carbono libertado é sequestrado com o crescimento de plantas, tornando-se um circuito fechado com um balanço de carbono quase em equilíbrio (Figura 2) (Williams, 2013).

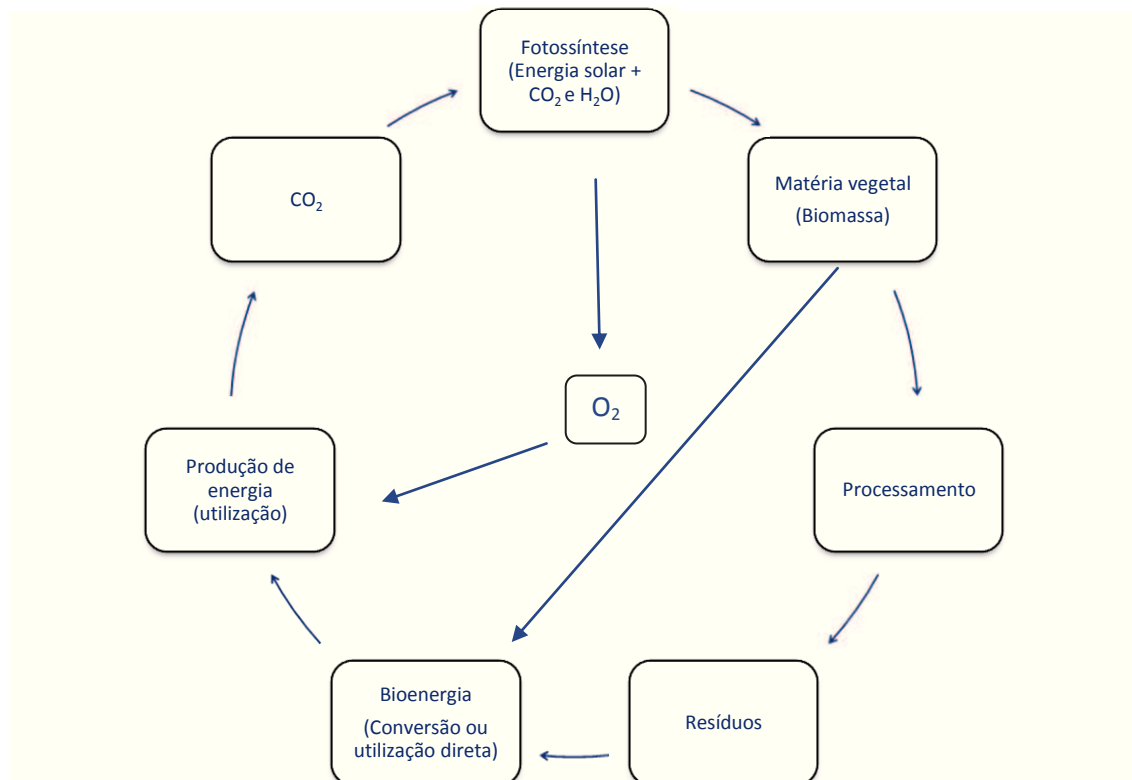


Figura 2: Ciclo do processamento da Bioenergia

Para se utilizar a biomassa como matéria-prima pode-se recorrer a várias tecnologias (Figura 3). No caso de ausência de processos químicos a biomassa é convertida em energia através da combustão pela oxidação do carbono contido na biomassa. Existem outros tipos de tecnologias de conversão disponíveis tendo em conta os tipos específicos de biomassa e produtos específicos de energia que são a conversão termoquímica, física, biológica e química. As tecnologias de conversão são classificadas em combustão direta, pirólise, peletização, gaseificação, digestão anaeróbia, fermentação, hidrólise ácida, hidrólise enzimática e transesterificação, entre outras. Estas conversões podem originar biocombustíveis como o bioetanol, biodiesel, gásóleo sintético, gasolina sintética, biometano, peletes, etc. e produtos termoquímicos como *synoil*, gás de síntese (*syngas*) e *biochar* (Demirbas, 2008).

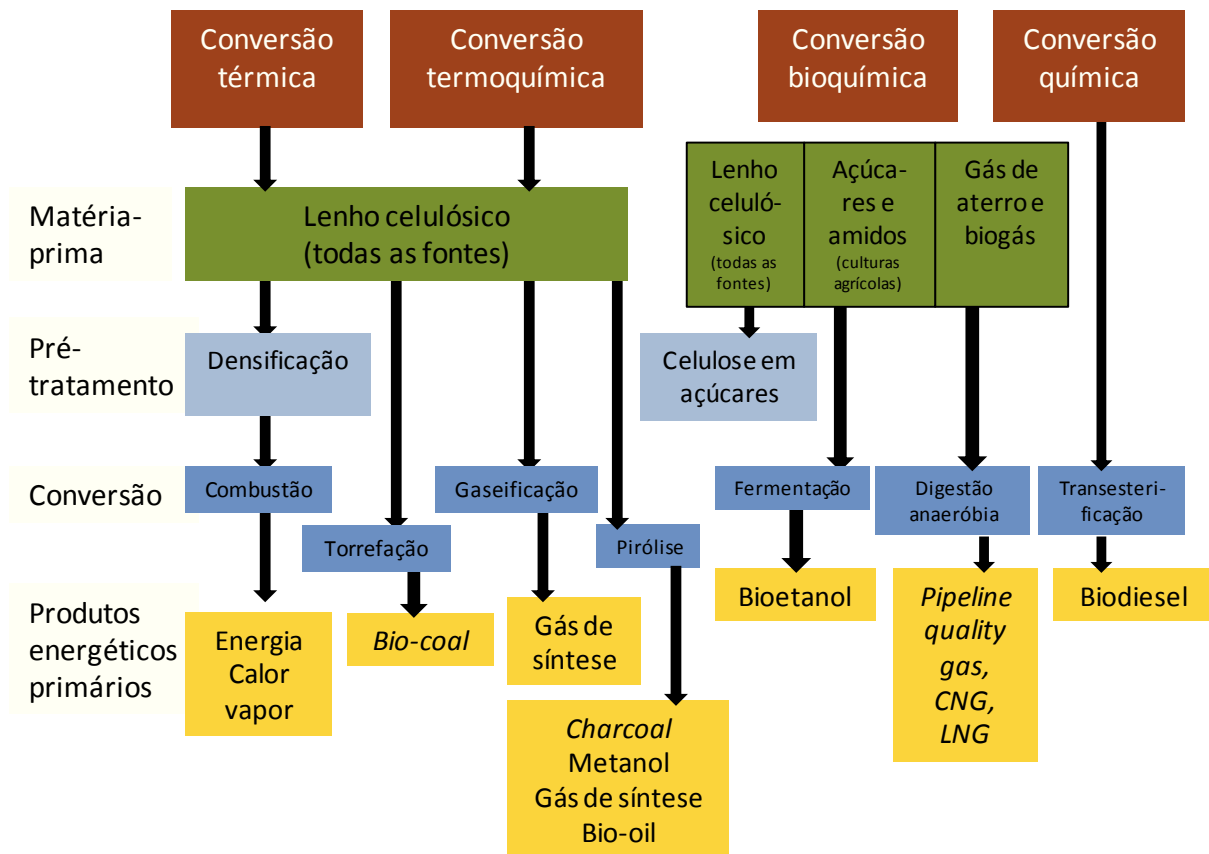


Figura 3: Processos de conversão para as bioenergias.

Adaptado de (Williams, 2013)

O hidrogénio é considerado uma fonte de energia renovável e tem de ser formado a partir de água e de uma fonte de energia, fóssil ou não fóssil. Esta energia encontra-se a um preço mais elevado que as fontes de energia convencionais mas já se encontram em progresso estudos para desenvolver tecnologias que permitam a produção de hidrogénio a partir de biomassa de forma mais económica. O hidrogénio pode ser queimado para produção de calor ou pode ser utilizado numa célula de combustível, passando por esta e produzindo eletricidade (Demirbas, 2008).

As Microalgas são organismos fotossintéticos que podem acumular uma quantidade de lípidos considerável e podem crescer em água do mar ou em água salobra não necessitando assim de água doce. Estas plantas são vistas como uma alternativa eficaz para substituir outras matérias-primas de biocombustíveis (Halim, Gladman, Danquah, & Webley, 2010) e para associar a biorrefinarias dado que as microalgas são consideradas uma potencial matéria-prima por darem origem a vários tipos de produtos. A biorrefinaria consiste no processamento sustentável de biomassa a fim de obter energia, biocombustíveis e outros produtos de alto valor, pode-se considerar assim a biorrefinaria como uma indústria baseada na biomassa (Delgado & Kafarov, 2011).

A utilização de bioenergia apresenta um potencial de redução de emissões de gases de efeito de estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nítrico). Esta tem ganho algum

destaque e tal tem sido notório pela crescente quantidade de artigos científicos que evidenciam os avanços nesta área. Estes artigos científicos englobam artigos, artigos de periódicos, comentários, comunicações em conferências, livros e textos de recursos e apresentam idiomas de origem como Alemão, Chinês, Dinamarquês, Espanhol, Francês, Húngaro, Holandês, Inglês, Italiano, Japonês, Lituano, Norueguês, Português, Romeno, Russo e Turco. A biomassa é a bioenergia que apresenta um maior número de artigos científicos, sendo um total de 374.515, seguida do biodiesel com 35.061 artigos científicos (Tabela 1). (Biblioteca do conhecimento online, 2013)

Tabela 1: Número de artigos científicos referentes às várias Bioenergias em estudo

Fonte: (Biblioteca do conhecimento online, 2013)

Bioenergia	Data	Nº de artigos (por período)	Nº de artigos (total)
Biodiesel	Anterior a 1972	167	35.061
	1973 a 1982	0	
	1983 a 1992	0	
	1993 a 2002	3.341	
	Posterior a 2003	31.553	
Bioetanol (palavra chave: <i>bioethanol</i>)	Anterior a 1972	74	10.843
	1973 a 1982	0	
	1983 a 1992	2	
	1993 a 2002	444	
	Posterior a 2003	10.323	
Biogás (palavra chave: <i>biogas</i>)	Anterior a 1972	174	22.591
	1973 a 1982	64	
	1983 a 1992	193	
	1993 a 2002	3.766	
	Posterior a 2003	18.394	
Biomassa (palavra chave: <i>biomass</i>)	Anterior a 1972	2.253	374.515
	1973 a 1982	1.419	
	1983 a 1992	5.204	
	1993 a 2002	83.722	
	Posterior a 2003	281.917	
Biometanol (palavra chave: <i>biomethanol</i>)	Anterior a 1972	1	500
	1973 a 1982	0	
	1983 a 1992	0	
	1993 a 2002	13	
	Posterior a 2003	486	
Hidrogénio (palavras chave: <i>hydrogen e microalgae</i>)	Anterior a 1972	34	2.804
	1973 a 1982	3	
	1983 a 1992	4	
	1993 a 2002	600	
	Posterior a 2003	2.163	
Biorrefinaria (palavra chave: <i>biorefinery</i>)	Anterior a 1972	36	4.173
	1973 a 1982	0	
	1983 a 1992	0	
	1993 a 2002	47	
	Posterior a 2003	4.090	

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Biocombustíveis líquidos

O termo biocombustível é referente a combustíveis líquidos ou gasosos que são produzidos a partir de biomassa. Neste capítulo serão abordados os biocombustíveis líquidos que podem ser utilizados para substituir ou para adicionar aos combustíveis derivados do petróleo, nomeadamente o biodiesel e o bioetanol.

Os biocombustíveis líquidos podem apresentar benefícios ambientais e económicos, bem como conduzir a uma maior segurança energética. A principal vantagem passa pela utilização de recursos biológicos naturais que são uma matéria-prima renovável contribuindo assim para a sustentabilidade. Os recursos biológicos naturais encontram-se geograficamente melhor distribuídos comparativamente aos combustíveis fósseis, pelo que desta forma a geografia também assume grande relevância possibilitando a produção de biocombustíveis em diversos locais tendo em conta as respetivas características geográficas que permitem a produção de matérias-primas específicas de cada local, criando ainda postos de trabalho e impulsionando zonas rurais ou zonas menos desenvolvidas mas com potencial para produção de matérias-primas (Demirbas A. , Biodiesel - A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines, 2008).

Os biocombustíveis podem ser classificados de acordo com o respetivo nível de desenvolvimento e as matérias-primas utilizadas (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). Os *biocombustíveis de primeira geração* são produzidos a partir de tecnologias convencionais como o biodiesel a partir de oleaginosas (colza, soja, girassol e palma) e gorduras animais. Também se inclui nesta geração o bioetanol a partir de açúcar (presente na cana-de-açúcar e na beterraba sacarina) e de amido de culturas (trigo, cevada, milho e batata) e o biogás (biocombustível gasoso) a partir da digestão anaeróbia de biomassa húmida (Bauen, et al., 2009 e Nigam & Singh, 2010).

Os *biocombustíveis de segunda geração* são baseados em tecnologias bioquímicas e termoquímicas e em novas matérias-primas como o pinhão-manso, a mandioca ou o *Miscanthus*. Este grupo inclui também a produção a partir de biomassa lenho celulósica (palha e madeira) como é o caso do bioetanol produzido por hidrólise enzimática (Bauen, et al., 2009 e Nigam & Singh, 2010).

Os *biocombustíveis de terceira geração* são os que incluem direções de produção ainda em desenvolvimento e em pesquisa. São exemplo, os biocombustíveis produzidos a partir de algas e o hidrogénio (biocombustível gasoso) a partir de biomassa. Os biocombustíveis de segunda e terceira gerações são baseados no conhecimento científico e nas projeções tecnológicas como uma fonte de energia alternativa viável dado que permitem produzir biocombustíveis sustentáveis com um baixo custo a partir de matérias-primas que não competem com os produtos alimentares, não contribuindo assim para a limitação de alimentos ou preço dos mesmos (Bauen, et al., 2009 e Nigam & Singh, 2010).

3.1 Biodiesel

O primeiro modelo do motor a gásóleo que funcionou de forma eficiente foi criado por Rudolf Diesel e data do ano 1893. Posteriormente, no ano 1898, o motor foi apresentado oficialmente na Feira Mundial de Paris e utilizou como combustível o óleo de amendoim. Rudolf Diesel salientou o facto de os óleos vegetais poderem ser utilizados como combustível no motor a gásóleo e realçou que este biocombustível poderia tornar-se tão importante quanto o petróleo e o carvão (Silva S. D., 2009).

O biodiesel (éster metílico ou etílico) de ácidos gordos é um combustível líquido que pode ser formado a partir de óleos, gorduras vegetais ou animais ou ainda a partir de óleos alimentares usados (OAU). O termo biodiesel pode ser definido quimicamente como um éster monoalquílico de ácidos gordos de cadeia longa formados a partir de biolípídeos renováveis (Demirbas, 2008).

3.1.1 Matérias-primas

Na produção de biodiesel, o óleo é a matéria-prima utilizada em maior quantidade. Pode ser utilizado óleo vegetal novo, óleo vegetal usado (óleo alimentar usado), gorduras ou óleo obtido de algas (Silva S. D., 2009).

Óleo vegetal novo: Relativamente ao óleo vegetal novo (proveniente de culturas) é necessário que este seja neutralizado e por isso é sujeito a um processo de refinação onde é determinado o valor de acidez (valor de ácidos gordos livres) e o fósforo.

Posteriormente o óleo é sujeito a um processo de secagem de modo a ter no máximo 0,05% de água, uma vez que a água afeta o rendimento da reação e origina ácidos gordos. Após este processo é analisada uma amostra para que os parâmetros de índice de acidez, valor de fósforo, teor de água e valor de sabões (que não pode ultrapassar 100 ppm) sejam

verificados e caso algum não esteja em conformidade, terá de ser corrigido para que o óleo possa ser utilizado no processo (Silva S. D., 2009).

Óleo vegetal usado (Óleo alimentar usado): O óleo vegetal usado também conhecido como óleo alimentar usado (OAU), é uma considerável matéria-prima na medida em que se pode aproveitar um resíduo (Silva S. D., 2009). O OAU é considerado um resíduo de acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, que define resíduo como “qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer” (Decreto Lei n.º73/, 2011). Este resíduo é considerado um resíduo não perigoso e classificado com o código LER¹ 20 01 25 (Óleos e gorduras alimentares) (Portaria n.º 209/, 2004).

Com o objetivo de estabelecer o regime jurídico da gestão de OAU produzidos pelos sectores industrial, da hotelaria e restauração e doméstico surgiu o Decreto-Lei n.º 267/2009 de 29 de setembro. Este diploma proíbe a “*descarga de OAU nos sistemas de drenagem, individuais ou coletivos, de água residuais*” de forma a evitar riscos associados à contaminação dos solos e das águas subterrâneas e superficiais e encontra-se igualmente proibida a “*deposição em aterro de OAU, nos termos do regime jurídico da deposição de resíduos em aterro*”. Assim o correto destino para este tipo de resíduo é a valorização, ou seja, a reciclagem de OAU para a produção de biocombustível, o biodiesel (Decreto Lei n.º 267/, 2009).

O OAU antes de ser utilizado para produção de biodiesel tem de ser sujeito a um pré-tratamento que é iniciado com uma filtração para remover partículas mais grosseiras. Posteriormente é necessário realizar o processo de decantação (para o qual o OAU deve sedimentar durante 24 horas para que haja uma separação por gravidade da água e das partículas existentes) ou uma centrifugação para separar a água e outras partículas grosseiras, sendo este último processo mais indicado para escalas industriais. As partículas removidas são um potencial resíduo para posterior encaminhamento para a compostagem ou em último recurso para aterro sanitário (Gomes R. , 2006).

Gorduras: As gorduras sólidas (Silva S. D., 2009) como a banha, o sebo, a margarina ou a manteiga são também uma matéria-prima que poderá ser utilizada de forma isolada ou em mistura com outras gorduras ou óleos para produzir biodiesel dando origem a ésteres mais viscosos (Gomes R. , 2006).

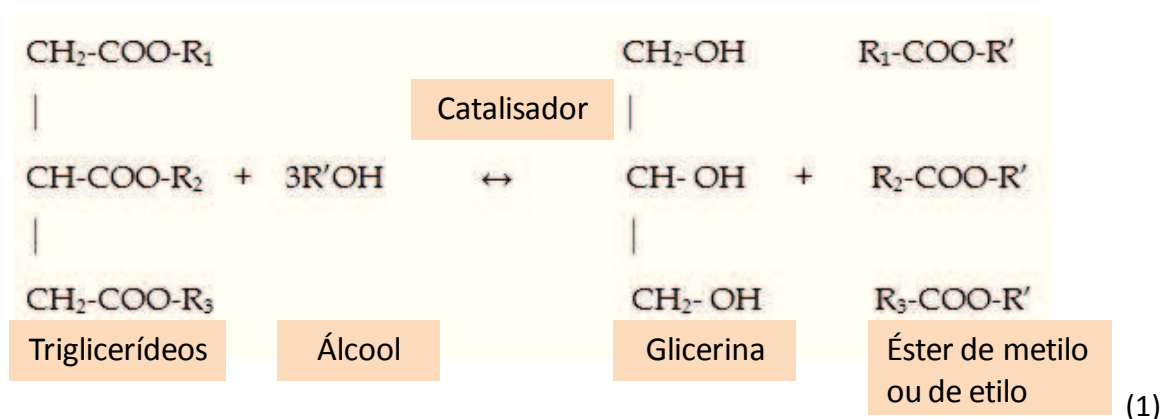
¹Lista Europeia de Resíduos: Lista harmonizada de resíduos que transposta para o Normativo Nacional através da Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março.

Microalgas: As microalgas são organismos unicelulares que apresentam um crescimento rápido e uma grande eficiência fotossintética, produzindo óleos de forma eficiente que contêm características físico-químicas idênticas às dos óleos vegetais comuns, pelo que podem ser utilizados para produzir biodiesel. Dependendo das espécies, as microalgas podem ser cultivadas em águas salgadas, salobras ou doces em que as instalações tipo são lagoas de baixa profundidade ou fotobiorreactores (Gomes R. , 2006). As lagoas funcionam em circuito fechado com uma recirculação efectuada por um agitador de pás. A profundidade das lagoas é cerca de 0,3 metros e são constituídas por betão ou terra compactada, sendo posteriormente revestidas por uma película plástica impermeável de cor branca. Os fotobiorreactores tubulares são compostos por tubos de forma paralela uns com os outros e têm um diâmetro com cerca de 0,1 metros, sendo transparentes e construídos em vidro ou em plástico. Estes funcionam em modo contínuo e a recirculação é efectuada a partir de um reservatório para o colectador solar e de volta para o reservatório (Chisti, 2007). De forma a aumentar a produtividade e o teor de ácidos gordos recorre-se à adição de CO₂ que poderá ser proveniente de unidades industriais produtoras de CO₂, pelo que este tipo de matéria-prima e respetivo processo de produção de biodiesel representam um *sumidouro* de CO₂ (Gomes R. , 2006).

3.1.2 Métodos de produção

3.1.2.1 Transesterificação

Este biocombustível é formado através de um processo denominado transesterificação onde ocorre redução do tamanho das moléculas de óleo (moléculas de triglicerídeos) em moléculas de éster de metilo ou de etilo e no subproduto, a glicerina. Esta redução é originada com a adição de um álcool (metanol ou etanol) e na presença de um catalisador em determinadas condições (Silva S. D., 2009) (Equação 1). O metanol é mais utilizado neste processo devido a ser economicamente mais acessível relativamente ao etanol (Demirbas, 2008).



A reação de produção de biodiesel pode-se dar em meio alcalino ou ácido utilizando catalisadores homogêneos ou heterogêneos. Na catálise homogênea os reagentes e o catalisador encontram-se na mesma fase, que normalmente é líquida, e os catalisadores utilizados podem ser compostos alcalinos (hidróxido de sódio – NaOH e hidróxido de potássio – KOH) ou ácidos (ácido sulfúrico – H₂SO₄ e ácido fosfórico – H₃PO₄). Neste tipo de catálise o catalisador dissolve-se no meio em que ocorre a reação formando um reativo intermediário que se rompe.

Relativamente à catálise heterogênea o catalisador e os reagentes encontram-se em fases diferentes e os catalisadores utilizados podem ser óxidos (óxido de magnésio), sais (carbonato de potássio), argilas ou enzimáticos. Este tipo de catálise apresenta as vantagens de reaproveitamento do catalisador e de facilidade na separação e purificação da glicerina mas em contrapartida a reação leva muito tempo a ocorrer e dá-se a uma temperatura muito elevada, o que leva a indústria do biodiesel a dar preferência na produção à catálise homogênea (Silva S. D., 2009).

a) **Transesterificação por catálise ácida**

Na transesterificação por catálise ácida dos triglicerídeos, o catalisador ácido e o álcool são adicionados em simultâneo dado que o álcool não reage com o ácido. As condições mais favoráveis são à pressão atmosférica e a uma temperatura de 60 °C para que a reação ocorra. Este processo por catálise ácida evita a formação de sabão e apresenta resultados eficazes com óleos que contêm grandes quantidades de ácidos gordos livres mas em contrapartida trata-se de um método mais lento comparativamente com a transesterificação por catálise alcalina pelo que o método é menos utilizado.

b) **Transesterificação por catálise alcalina ou básica**

A transesterificação por catálise alcalina apresenta taxas de conversão na ordem dos 98% pelo que se torna o método mais utilizado. Este processo inicia-se com a formação de metóxido de sódio que se forma com a reação entre um álcool com uma base forte (hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio) e para que a reação ocorra é necessária uma temperatura de 60 a 80 °C e uma pressão de 1 atm durante um intervalo de tempo de 120 minutos. É importante que esta reação ocorra da melhor forma a fim de evitar a formação de sabão.

Os produtos finais desta reação são o biodiesel e a glicerina que se encontram em duas formas distintas sendo a glicerina mais densa e a forma que engloba a maioria das impurezas (sais, sabão, álcool e metóxido de sódio que não reagiu). O biodiesel apresenta-se de forma

menos denso e engloba as moléculas de triglicéridos não convertidas, a água e algumas impurezas também presentes na glicerina mas em menor quantidade (Silva S. D., 2009).

c) Transesterificação sem catalisador utilizando fluidos supercríticos

Com este processo é utilizado metanol supercrítico e é possível obter ésteres metílicos semelhantes aos obtidos na catálise alcalina mas com a vantagem de haver uma taxa de conversão maior. É possível que a referida conversão seja mais rápida devido ao metanol supercrítico ter uma natureza hidrofílica com uma baixa constante dielétrica e também por o metanol quando se encontra na fase líquida apresentar pontes de hidrogénio o que dificulta o acesso aos triglicéridos. Este processo necessita de temperaturas e pressões elevadas e ainda de grande quantidade de metanol pelo que tal se pode tornar uma desvantagem (Silva S. D., 2009).

3.1.2.2 Esterificação ácida seguida de transesterificação alcalina

Este processo inicia-se com uma esterificação ácida onde é utilizado um catalisador (ácido sulfúrico) que é dissolvido no metanol (Biodiesel of Las Vegas, 2010). Posteriormente o metanol é removido por decantação e é adicionada uma base forte, ocorrendo a transesterificação alcalina. Durante a decantação é arrastada uma parte do ácido pelo que a quantidade de base forte a adicionar será menor e haverá uma menor formação de sais. Este processo apresenta uma velocidade de reação lenta e pode tornar-se complexo quando comparado com o processo de transesterificação alcalina (Silva S. D., 2009).

3.1.2.3 Utilização de ultrassons

A utilização da tecnologia de ultrassons é uma tecnologia promissora e útil para misturar líquidos, sendo a taxa de conversão rápida, podendo o processamento de triglicéridos em biodiesel ser em poucos minutos. A tecnologia de ultrassons é referente a ondas sonoras superiores à frequência para a audição humana e requer uma quantidade de catalisador e de metanol em menores quantidades (Department of Biological and Agricultural Engineering at the University of Idaho, 2012). O processo inicia-se com a mistura do óleo vegetal ou gordura animal com o metanol ou etanol e com metóxido de sódio ou hidróxido de potássio. A mistura é aquecida a temperaturas entre 45 a 65 °C e é sujeita a ultrassons durante 5 a 15 segundos. A glicerina é separada por centrifugação e o biodiesel é lavado com água (Hielscher Ultrasound Technology, 2013).

3.1.3 Recuperação de metanol e Decantação da glicerina

O metanol deve ser recuperado sempre que tal seja possível uma vez que é tóxico e que apresenta elevado custo de aquisição. Esta recuperação deve ser efetuada após a decantação da mistura de glicerina com biodiesel. Uma das formas de recuperação seria pelo aumento da temperatura para 66 °C durante o intervalo de tempo de uma hora, dá-se a evaporação do metanol e no caso de se efetuar recuperação do mesmo deve-se utilizar um condensador (permutador de calor) com água que deverá estar com uma temperatura inferior a 30 °C.

A glicerina e os sabões formados devem ser separados do produto final após remover o metanol. Para tal deve-se deixar sedimentar o produto durante cerca de 8 horas e sem deixar que a temperatura seja inferior a 38°C para que a glicerina não solidifique (Gomes R. , 2006).

A lavagem do biodiesel pode ser efetuada pelos métodos borbulhamento de ar, contracorrente (Silva S. D., 2009) ou pelo método lavagem por borrifação (Silva S. D., 2009)/chuveiro de água (Gomes R. , 2006). O processo de lavagem deve ser iniciado com uma lavagem ácida onde ocorre neutralização ácida, seguidamente devem ser efetuadas lavagens de neutralização para remoção do ácido, devendo o pH ser 7.

Posteriormente deverá ser realizada decantação das águas de lavagem, secagem do biodiesel que pode ser de forma rápida (evaporação) ou de forma lenta (decantação) e por fim uma filtração a frio onde a temperatura não deve ser superior a 40°C (Gomes R. , 2006).

A glicerina pode ser utilizada como co-combustível em caldeiras para aquecimento de água ou comercializada após processos de purificação para a indústria de cosmética, farmacêutica e de sabonetes (Gomes R. , 2006).

3.1.4 Utilização

O biodiesel é um combustível que pode ser adicionado ao gasóleo em várias proporções ou pode substituí-lo na totalidade. De forma a reconhecer a mistura de biodiesel ao gasóleo é utilizada a terminologia Bx, em que x denomina a percentagem em volume de biodiesel na mistura. Assim, uma mistura de 20% de biodiesel e 80% de gasóleo é denominada B₂₀. Quando o biodiesel é usado puro denomina-se por B₁₀₀ (Demirbas, 2008).

Este biocombustível pode ser utilizado sem que haja necessidade de executar alterações nos motores Diesel, no entanto é importante ter em atenção que os carros fabricados antes de 1996 podem conter materiais no sistema de combustível que sejam incompatíveis com o biodiesel pelo que se deve proceder à substituição destes por materiais que sejam

compatíveis com o referido biocombustível. Alguns fabricantes de motores criam limites máximos de quantidade de biodiesel para usar nos motores e é ainda recomendável que a mistura de biodiesel com gasóleo não seja efetuada dentro do depósito do veículo (Gomes R. , 2006). Atualmente e de acordo com a Norma Europeia que rege a qualidade do gasóleo, EN 590:2009, o gasóleo pode ter uma incorporação de 7% (v/v) de biodiesel (Denso, 2009), sendo que em alternativa, pode ser comercializado percentagens de mistura superiores desde que o equipamento de abastecimento esteja devidamente identificado (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20, 2013).

De forma a garantir um bom funcionamento em motores a gasóleo com a utilização de biodiesel é necessário que na produção deste ocorra a reação completa de transesterificação, a remoção de glicerina e do catalisador, a eliminação do álcool e a remoção dos ácidos gordos livres (Demirbas, 2008). Os requisitos mínimos para que o biodiesel produzido seja de boa qualidade são especificados por um padrão da União Europeia – EN 14214 – (Anexos) uma vez que a pureza e a qualidade do biocombustível podem ser influenciadas por diversos fatores (Atadashi, Aroua, & Aziz, 2010).

3.1.5 Vantagens e desvantagens

Uma importante vantagem do biodiesel passa pela sua origem nacional que contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis importados. Os riscos de transporte e armazenamento deste biocombustível são inferiores quando comparados com o gasóleo por apresentar um risco de explosão baixo e por ser um combustível biodegradável. O biodiesel apresenta ainda um elevado poder de lubrificação pelo que contribui para prolongar a vida do motor e para reduzir os respetivos ruídos (Demirbas A. , Importance of biodiesel as transportation fuel, 2007).

O biodiesel é considerado um bom dissolvente pelo que poderá limpar os resíduos do gasóleo, sujando assim os filtros na primeira utilização. Por este motivo, a alteração do gasóleo para biodiesel deve ser gradual, devendo começar-se por B₅ ou B₂₀ e após 500 a 1000 km dever-se-á verificar os filtros, em especial o filtro do gasóleo. Após esta revisão, o circuito do combustível estará limpo e poder-se-á utilizar qualquer mistura de biodiesel (Gomes R. , 2006).

A utilização de biodiesel permite também um melhor desempenho ambiental no transporte rodoviário dado que permite a diminuição das emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (PM), diminuição esta que será maior quanto maior for a percentagem de biodiesel na mistura de biodiesel em gasóleo fóssil. Apenas as emissões de óxidos de azoto (NOx) aumentam devido à combustão do biodiesel nos motores (Silva S. D., 2009) (Gráfico 1). Estudos revelam que este aumento poderá ser diminuído através da aplicação de catalisadores adequados, o que poderá ser viável apenas no

processo de produção de veículos novos tendo em conta que os veículos em circulação são de vários modelos e têm vários anos de uso o que torna a aplicação de catalisadores, complexa. A mudança do tempo de ignição do combustível de forma a modificar as condições de pressão e temperatura poderá também auxiliar na diminuição dos NOx (Biodieselbr, 2012).

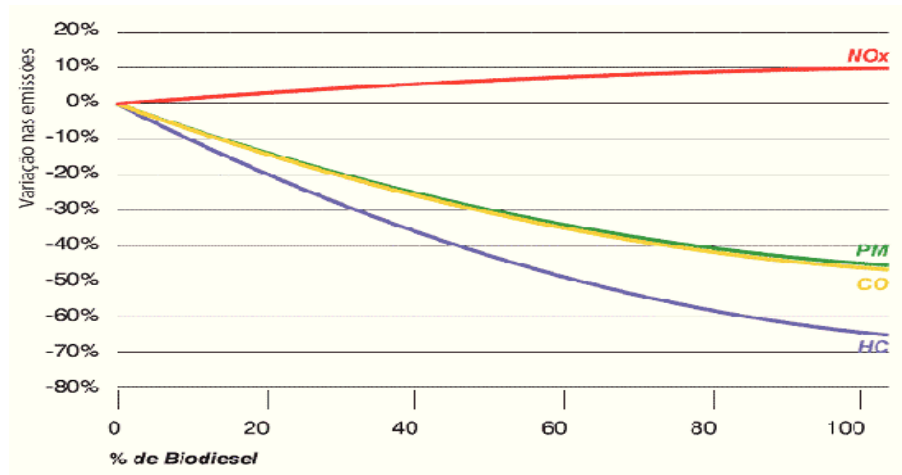


Gráfico 1: Comparação entre as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, material particulado e óxidos de azoto em misturas de diferentes percentagens de biodiesel em gasóleo fóssil.

(Biodieselbr, 2012).

Como principais desvantagens o biodiesel poderá apresentar custos elevados de produção e apresenta uma escassa disponibilidade em postos de abastecimento. Em climas frios o B₁₀₀ sem aditivo não deverá ser utilizado caso as temperaturas mínimas sejam inferiores a 0°C e o B₂₀ não deverá ser usado em climas com temperaturas mínimas inferiores a -15°C. (Gomes R. , 2006)

3.2 Bioetanol

De acordo com a Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, Bioetanol é o etanol produzido a partir de biomassa. O etanol, com a fórmula química C_2H_5OH , é um produto químico, orgânico e líquido que nas condições normais é volátil, inflamável e incolor (Leza, 2011). O bioetanol tem um elevado número de octano, apresenta um limite de inflamabilidade mais amplo e um ponto de evaporação superior ao da gasolina, pelo que permite uma maior taxa de compressão, menor tempo de combustão e uma combustão mais limpa (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

O bioetanol pode ser misturado com gasolina ou pode ser utilizado de forma pura nos automóveis (Leza, 2011) e de forma a reconhecer a mistura de bioetanol com a gasolina, utiliza-se a terminologia E_x , onde x designa a percentagem em volume de bioetanol na mistura. Assim, numa mistura de E_{85} , encontra-se 85% de bioetanol e 15% de gasolina. Nos países líderes de produção de biocombustível, o mais comum são o E_{100} (bioetanol puro) ou E_{24} (24% de bioetanol e 76% de gasolina) no Brasil e o E_{10} (10% de bioetanol e 90% de gasolina) nos Estados Unidos da América (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

A produção mundial de bioetanol apresentou uma tendência crescente nos últimos 25 anos, tendo-se verificado maior incidência a partir do ano 2000. O bioetanol apresenta a maior produção mundial de biocombustíveis, tendo sido o Brasil o maior produtor de bioetanol até 2005 e após este ano os Estados Unidos da América tornaram-se o maior país produtor (Ibrahim, 2011). A produção brasileira consegue substituir até 40% da gasolina consumida no Brasil e consegue exportar cerca de 20% para os Estados Unidos e para a União Europeia (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

A produção de bioetanol a partir de matérias-primas não alimentares torna-se primordial em países como o Brasil, Estados Unidos da América, Egito, China e Índia dado que estes ostentam grandes populações e elevados consumos de gasolina (Ibrahim, 2011).

3.2.1 Matérias-primas

Este biocombustível pode ser produzido a partir de diversas fontes de biomassa e através de várias tecnologias de conversão. O bioetanol de primeira geração é produzido a partir de matérias-primas vegetais ricas em açúcares, como a beterraba sacarina, a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino e a partir de culturas ricas em amido como o milho, o trigo, o centeio e a cevada (Figura 4) (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

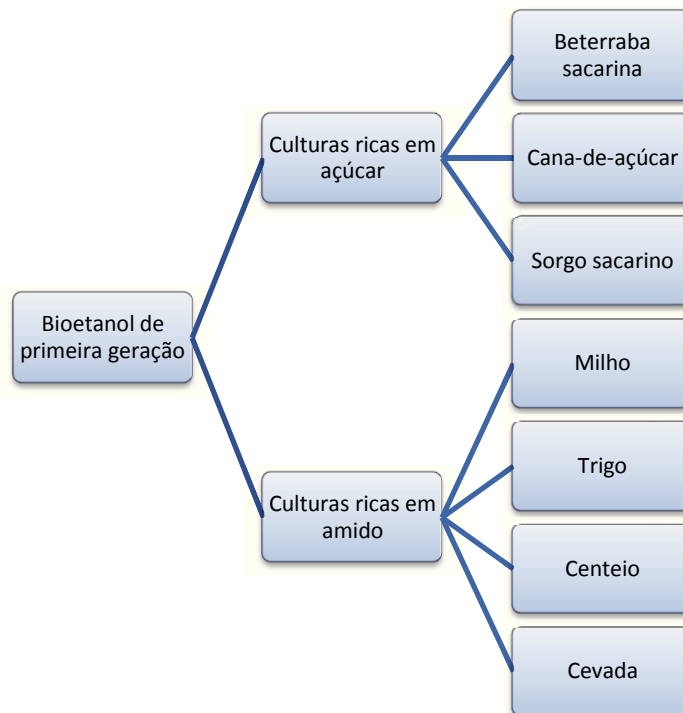


Figura 4: Principais matérias-primas do bioetanol de primeira geração

(Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

3.2.1.1 Bioetanol de primeira geração

a) Culturas ricas em açúcar

A produção de açúcar a partir de cana-de-açúcar a nível mundial representa cerca de dois terços enquanto a produção de açúcar através de beterraba sacarina é cerca de um terço. Ambas as matérias-primas são produzidas em regiões diferentes uma vez que as necessidades para o seu crescimento são provenientes de diferentes climas. Enquanto que a cana-de-açúcar necessita de países tropicais e subtropicais, a beterraba sacarina necessita de países que tenham um clima temperado. A beterraba sacarina apresenta algumas vantagens relativamente à cana-de-açúcar, nomeadamente a nível do ciclo de produção agrícola que é menor, a alta tolerância a variações climáticas e a baixa exigência de água e de fertilizantes que é cerca de 35 a 40% a menos que a cana-de-açúcar.

O sorgo sacarino é uma potencial matéria-prima que tem sido estudada pela indústria e pela área da energia, particularmente para a produção de bioetanol por ser uma das culturas agrícolas mais resistentes a situações de seca (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008). Para além da baixa exigência em água, quando comparado com a cana-de-açúcar, o sorgo sacarino também necessita de menor quantidade de azoto e é menos susceptível a pragas e doenças relativamente ao milho (Lourenço, Januário, Massa, & Palma, 2007).

b) Culturas ricas em amido

Relativamente às culturas ricas em amido, estas são constituídas por longas cadeias de glucose e através da hidrólise são convertidas em açúcares, podendo ocorrer hidrólise enzimática ou hidrólise ácida. Estas matérias-primas são muito utilizadas na América do Norte e na Europa, sendo o milho e o trigo as principais matérias-primas (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008).

De acordo com a análise em algumas culturas energéticas, a cana-de-açúcar é a que apresenta maior produção de matéria-prima (70 a 80 t/ha/ano), seguida do sorgo sacarino (35 a 69 t/ha/ano) e posteriormente a beterraba sacarina (30 a 40 t/ha/ano). No entanto são as culturas ricas em amido que apresentam uma taxa de conversão de matéria-prima em amido superior, o milho com 69% e o trigo com 66%, e uma taxa de conversão de amido para bioetanol também superior, 410 l/ton e 390 l/ton, respectivamente. Mesmo com estas taxas elevadas por parte das culturas ricas em amido, são as culturas ricas em açúcar que apresentam maior rendimento de produção de bioetanol, a cana-de-açúcar com 4900 a 5600 l/ha, o sorgo sacarino com 2800 a 5520 l/ha e a beterraba sacarina com 5000 a 6000 l/ha (Tabela 2) (Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008) e (Almodares, Hadi, & Kharazian, 2011).

Tabela 2: Comparação do rendimento de produção de bioetanol

*(Balat, Balat, & Oz, Progress in bioetanol processing, 2008) e **(Almodares, Hadi, & Kharazian, 2011)

Tipo	Produção de matéria-prima (t/ha/ano)	Taxa de conversão para açúcar ou amido (%)	Taxa de conversão para bioetanol (l/t)	Produção de bioetanol (l/ha)
Cana-de-açúcar	70 *	12,5 *	70*	4900 *
	70 a 80 **	10 a 12 **		4900 a 5600 **
Sorgo sacarino	35 *	14 1	80*	2800 *
	54 a 69 **	7 a 12 **		4320 a 5520 **
Milho *	5	69	410	2050
Trigo *	4	66	390	1560
Beterraba sacarina **	30 a 40	15 a 18	-	5000 a 6000

3.2.1.2 Bioetanol de segunda geração

O bioetanol de segunda geração é produzido a partir de matérias-primas lenho-celulósicas, ou seja, através do processamento de biomassa lenho celulósica que pode ser proveniente de resíduos florestais (resíduos de indústrias madeireiras, madeiras, palhas de celulose e papel), de culturas agrícolas (oleaginosas, grãos e gramíneas perenes e de culturas de curta rotação) e de resíduos secundários (resíduos sólidos urbanos e processamento de resíduos alimentares) (Figura 5) (Tan, Lee, & Mohamed, 2008).

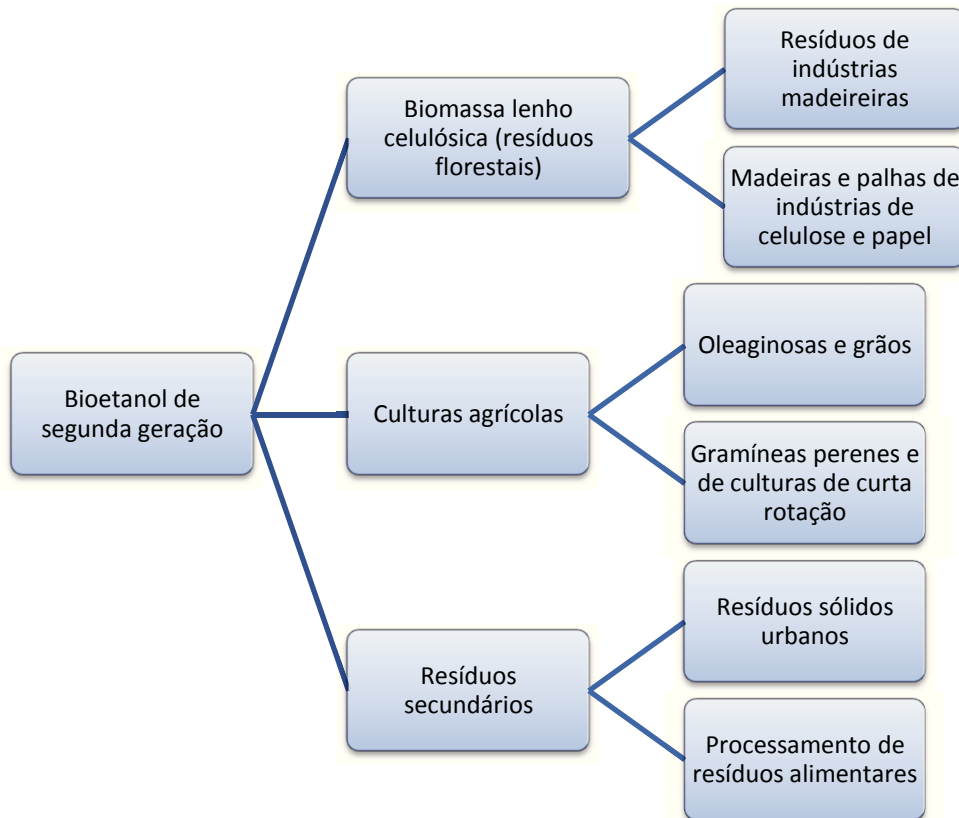


Figura 5: Principais matérias-primas do bioetanol de segunda geração

(Tan, Lee, & Mohamed, 2008).

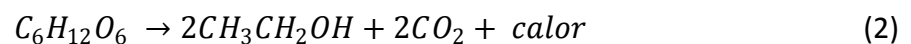
A biomassa lenhocelulósica é uma matéria-prima abundante, em especial a palha de arroz cuja produção é cerca de 731 milhões de toneladas por ano que permitem a produção de 205 milhões de litros por ano de bioetanol. As culturas perenes e de curta rotação são uma matéria-prima prometedora por causa da respectiva elevada produtividade, baixo custo e boa adaptação ao solo com baixa qualidade (Tan, Lee, & Mohamed, 2008).

Os recursos lenhocelulósicos são abundantes, baratos e também apresentam elevados rendimentos como é o caso da própria cana da cana-de-açúcar que apresenta um rendimento de 85 toneladas por hectare por ano, no entanto esta planta apresenta a

desvantagem de apenas crescer em clima tropical. O miscanthus² pode ser produzido até 40 toneladas por hectare por ano e tolera bem climas frios. O milho apresenta rendimentos mais baixos dado que apenas atinge as 10 toneladas por hectare por ano e das quais apenas 66% são amido que são a matéria-prima necessária à produção de bioetanol de primeira geração. Para além do elevado rendimento energético, o miscanthus apresenta também um elevado nível de equilíbrio de carbono de 53:1, ou seja, por cada parte de carbono que entra na atmosfera, o miscanthus tem capacidade de absorver 53 partes de carbono da atmosfera. (Tan, Lee, & Mohamed, 2008)

3.2.2 Processo de produção

Para além das diferentes matérias-primas também o modo de produção apresenta diferenças entre o bioetanol de primeira geração para culturas ricas em açúcar e culturas ricas em amido, uma vez que o amido tem de ser transformado em açúcar. O bioetanol de segunda geração também apresenta diferenças por a biomassa lenhocelulósica ser principalmente constituída por celulose, hemicelulose e linhina. A celulose e a hemilose são polissacarrídeos de cadeia longa que podem sofrer hidrólise originando pentoses (C5) e hexoses (C6). A glucose é uma hexose e é a principal matéria-prima a partir da qual se processa a fermentação para a produção de bioetanol(Tan, Lee, & Mohamed, 2008).



3.2.2.1 Bioetanol de primeira geração

a) Culturas ricas em açúcar

O processo de produção de bioetanol a partir de culturas ricas em açúcar é o mais simples e envolve menos uma etapa porque a matéria-prima já contém os açúcares. A extracção dos açúcares é realizada por trituração e posteriormente é realizada a fermentação através de enzimas produzidas a partir de leveduras. O último processo contempla a purificação do bioetanol por destilação, de onde resultam cerca de 93 a 95% de etanol e também água e outros componentes (BNDES, 2008).

² Planta perene com crescimento rápido e que pode atingir mais de 3 metros de altura. Produz uma colheita por ano sem necessidade de ser replantada e é considerada uma cultura energética de alto rendimento (IEC, 2012).

b) Culturas ricas em amido

O processo de produção de bioetanol a partir de matéria-prima que contém amido consiste em quebrar o amido em glicose (açúcares simples) e posteriormente através da fermentação, por acção de leveduras, obtém-se o bioetanol.

A moagem pode ser efectuada por via húmida ou por via seca. A moagem húmida inicia-se com uma imersão dos grãos em água de forma a suavizá-los e a torná-los mais acessíveis à fragmentação que separa o amido, as fibras e o gérmen. Na moagem seca o grão é processado inteiro e os respectivos componentes são fragmentados no final do processo. Posteriormente segue-se a fase da liquefação onde a pasta é cozida a temperaturas superiores a 100°C e os grânulos de amido e as enzimas quebram os polímeros de amido em pequenas partes. Posteriormente deixa-se arrefecer a pasta até aos 80 a 90°C e é adicionada a enzima amilase e a mistura fica a liquefazer durante cerca de 30 minutos.

O processo seguinte é a sacarificação onde a massa é arrefecida até aos 30°C e é adicionada uma outra enzima, a glucoamilase, que vai completar a quebra do amido em glicose (açúcar). Segue-se a fermentação onde são adicionadas leveduras, sendo a mais utilizada a *Saccharomyces cerevisiae*. Como o etanol ferve a uma temperatura inferior à da água procede-se à destilação podendo obter-se um bioetanol com 92 a 95% de pureza. A água e os sólidos residuais resultantes do processo podem ser utilizados para produção de ração para animais (Mosier & Lileji, 2012).

3.2.2.2 Bioetanol de segunda geração

A biomassa lenho celulósica é constituída por polissacarídeos (celulose e hemicelulose) e pela lenhina (Kahr, Jager, & Lanzerstorfer, 2012). O processo de produção de bioetanol de segunda geração compreende várias fases sendo de realçar duas dessas fases, a hidrólise e a fermentação:

- Hidrólise da celulose dos materiais lenho celulósicos em açúcares, acção esta que é catalisada por enzimas celulase;
- Fermentação dos açúcares em bioetanol através da acção de leveduras ou bactérias (Sun & Cheng, 2001).

a) Pré-tratamento

O processo inicia-se com o pré-tratamento que pode ser a nível físico, físico-químico, químico ou biológico (Figura 6). A fase de pré-tratamento tem como objectivo remover a

linhina e a hemicelulose, reduzir a cristalinidade da celulose e aumentar o tamanho dos poros da matéria-prima. Este processo visa melhorar a formação de açúcares ou a capacidade de formar açúcares através da hidrólise enzimática, evitar a deterioração ou mesmo a perda dos hidratos de carbono, evitar a formação de inibidores que possam ser prejudiciais aos processos seguintes (Sun & Cheng, 2001), produzir menor quantidade de resíduos e utilizar a menor quantidade possível de produtos químicos e na necessidade destes, utilizar os mais baratos (Karimi & Taherzadeh, 2008).

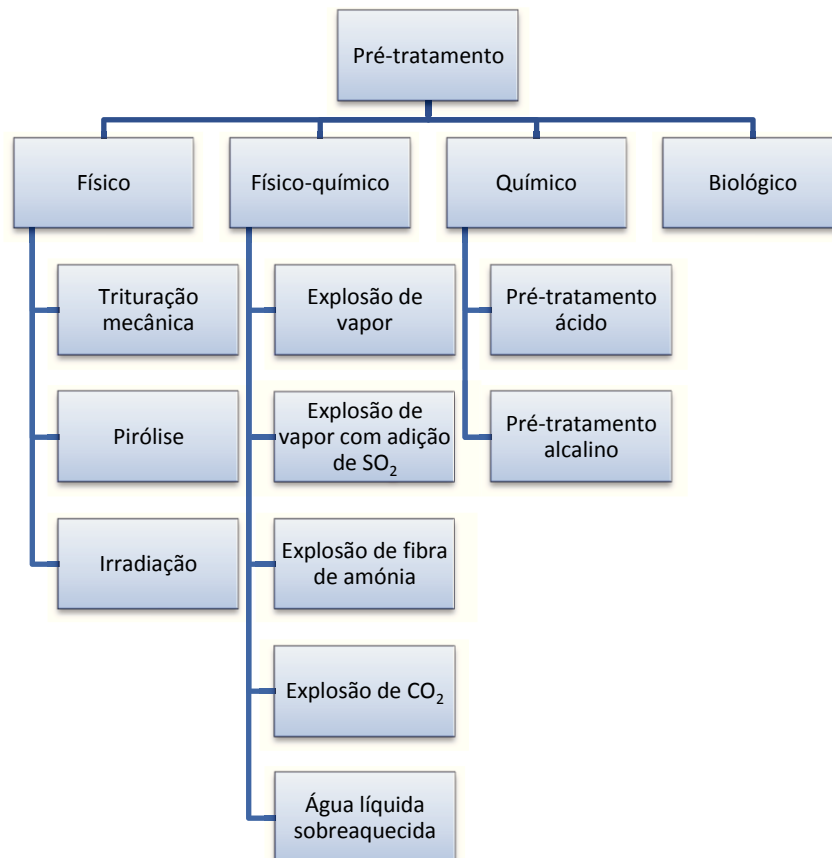


Figura 6: Tipos de pré-tratamento da biomassa lenho celulósica

(Sun & Cheng, 2001) e (Karimi & Taherzadeh, 2008).

- PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO

O pré-tratamento físico pode ser por trituração mecânica, pirólise (Sun & Cheng, 2001) ou irradiação (Karimi & Taherzadeh, 2008).

- **Trituração mecânica:** A biomassa é lascada podendo atingir dimensões entre 10 a 30 mm e posteriormente é triturada de forma a obter dimensões entre 0,2 a 2 mm, sendo por fim moída.
- **Pirólise:** Com temperaturas superiores a 300°C a celulose é rapidamente decomposta e são ainda originados os subprodutos gasosos e o carvão

residual. Este processo pode ser reforçado com a adição de oxigénio e na presença de um catalisador (cloreto de zinco ou carbonato de sódio). A decomposição necessita de temperaturas mais baixas que levam a uma menor emissão de produtos voláteis.

- **Irradiação:** A irradiação é um processo caro e abrange raios gama, feixe de electrões e microondas de forma a melhorar a hidrólise enzimática da biomassa lenho celulósica. A hidrólise enzimática pode ser acelerada caso se agregue a este processo de irradiação um tratamento com ácido, no entanto tal passo não é tão eficaz (Karimi & Taherzadeh, 2008).

- PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

Este pode ser através de explosão a vapor, explosão de vapor com adição de SO₂, explosão de fibra de amónia, explosão de CO₂ ou água líquida sobreaquecida. A explosão a vapor é o método de pré-tratamento mais utilizado e necessita de um menor consumo de energia quando comparada com o pré-tratamento físico (trituração mecânica) (Karimi & Taherzadeh, 2008).

- **Explosão a vapor:** A explosão a vapor consiste numa explosão a vapor onde a matéria-prima é exposta inicialmente a uma elevada pressão de vapor saturado e posteriormente a pressão é reduzida de forma brusca provocando uma descompressão explosiva na biomassa. A elevada temperatura ronda os 160 a 260°C durante alguns segundos ou minutos até a biomassa ser exposta à pressão atmosférica e leva à degradação da hemicelulose e à transformação da linhina. Um valor de temperatura inferior, um tempo de residência superior, a adição de H₂SO₄ ou CO₂ na explosão de vapor são condições que permitem a melhoria da hidrólise enzimática e da remoção da hemicelulose, e ainda a diminuição da produção de compostos inibidores ao processo.
- **Explosão de vapor com adição de SO₂:** Este processo contempla a adição de dióxido de enxofre de modo a melhorar a recuperação de celulose e de hemicelulose. É realizado a temperaturas entre 160 a 230°C e durante aproximadamente 10 minutos (Karimi & Taherzadeh, 2008).
- **Explosão de fibra de amónia:** A explosão de fibra de amónia é em parte semelhante ao processo de explosão a vapor, onde por cada kg de biomassa, esta é exposta à quantidade de 1 kg a 2 kg de amónia líquida a uma elevada pressão e a uma temperatura de 90°C, durante 30 minutos, sendo posteriormente provocada uma descida rápida da pressão (Sun & Cheng, 2001).
- **Explosão de CO₂:** A explosão de CO₂ é semelhante aos processos de explosão anteriormente descritos, no entanto apresenta taxas de produtividade

inferiores. Este processo intitula-se com a formação de ácido carbónico a partir do CO_2 que aumentará a taxa de hidrólise. A explosão de CO_2 não leva à formação de compostos inibidores ao processo (Sun & Cheng, 2001).

- **Água líquida sobreaquecida:** Este processo dá-se com o cozimento dos materiais lenho celulósicos em água quente e sob elevada pressão que permite remover a hemicelulose e alguma linhina, não necessitando da adição de produtos químicos (Karimi & Taherzadeh, 2008). Deve-se tentar diminuir o uso de água para que este processo seja viável economicamente a nível industrial (Volynets & Dahman, 2011).

- PRÉ-TRATAMENTO QUÍMICO

- **Pré-tratamento ácido:** Este pré-tratamento dá-se com a adição de um ácido sendo o ácido sulfúrico o mais comum, podendo no entanto utilizar-se o ácido clorídico e o ácido nítrico. Este processo pode ocorrer com uma temperatura elevada e uma concentração de ácido baixa ou com uma temperatura baixa e uma concentração de ácido alta. A utilização de uma temperatura mais baixa, cerca de 40°C , é vantajoso comparativamente ao processo de ácido diluído, no entanto a utilização de uma concentração de ácido elevada, cerca de 30 a 70% pode ser desvantajoso por se tornar corrosivo e perigoso, necessitando assim de equipamentos especializados com material não-metálico ou com ligas especializadas que são caras. A recuperação do ácido torna-se dispendiosa por questões energéticas e o elevado investimento e a manutenção também diminuem o interesse por este tipo de pré-tratamento. Este processo torna possível a remoção quase completa de hemicelulose mas não é eficaz na dissolução de linhina, podendo no entanto parti-la e potenciar a susceptibilidade à hidrólise enzimática por parte da celulose (Karimi & Taherzadeh, 2008).
- **Pré-tratamento alcalino:** Este tipo de pré-tratamento recorre à aplicação de soluções alcalinas como o hidróxido de sódio (NaOH), o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) ou hidróxido de amónia (NH_4OH) de forma a melhorar a acessibilidade das enzimas à celulose e a remover a linhina e alguma hemicelulose. Este processo é realizado com baixas temperaturas mas durante um elevado período de tempo e com uma grande concentração da base (Karimi & Taherzadeh, 2008).

- PRÉ-TRATAMENTO BIOLÓGICO

Os microrganismos utilizados neste processo degradam a linhina, a hemicelulose e apenas uma pequena parte da celulose dado que esta é mais resistente à degradação biológica. São

utilizados os fungos *brown-rot*, *white-rot* e *soft-rot*, sendo os *white-rot* os mais eficientes no tratamento do material lenho celulósico. Este pré-tratamento necessita de um baixo consumo de energia, não inclui produtos químicos mas apresenta a desvantagem de ter uma taxa de hidrólise muito baixa (Tan, Lee, & Mohamed, 2008).

- a) **Hidrólise:** A lenho celulose pode ser solubilizada por hidrólise enzimática ou química sendo originada glicose pela parte da celulose e pentoses e hexoses por parte da hemicelulose. A hidrólise química expõe o material lenho celulósico a um ácido (sendo o mais comum o ácido sulfúrico e ainda o ácido clorídrico) a uma determinada temperatura e durante um determinado período de tempo. Neste tipo de hidrólise podem ser aplicados dois tipos de hidrólise ácida – hidrólise de ácido diluído ou hidrólise de ácido concentrado. Através do ácido concentrado há um elevado consumo de ácido e de energia para recuperar o ácido, o tempo de reacção é na ordem de 2 a 6 horas, no entanto são aplicadas temperaturas baixas e resulta um grande rendimento de açúcar. No processo de ácido diluído são utilizadas temperaturas elevadas, há um baixo rendimento de açúcar e formação de subprodutos indesejáveis. Em contra partida há um baixo consumo de ácido e um curto tempo de reacção (Tahezadeh & Karimi, 2007).

- b) **Fermentação:** Para que haja produção eficiente de bioetanol as leveduras ou bactérias devem fermentar pentoses e hexoses. Os microrganismos que actuam neste processo devem ter tolerância ao açúcar, ao etanol e ainda tolerância térmica, devem ser resistentes contra vários inibidores e devem ter estabilidade durante a aplicação industrial. A hidrólise enzimática e a fermentação podem ser realizadas ao mesmo tempo e oferecendo as vantagens de apresentar maior rendimento de açúcar de produtos e de menores concentrações de enzimas, menores tempos de processamento e menor risco de contaminação. No entanto as diferentes condições ideais necessárias em cada processo podem ser uma desvantagem, dado que cada etapa deve ocorrer sob as respectivas condições de reacção óptimas (Kahr, Jager, & Lanzerstorfer, 2012).

- c) **Destilação:** Realizar a separação do etanol a partir da água requer um uso excessivo de energia pelo que têm sido procuradas soluções para reduzir este gasto. O processo de separação por membranas é um exemplo que necessita de menor quantidade de energia podendo essa redução energética ir até 50%, mas em contra partida não se encontra operacional para a escala industrial. Outras formas de reduzir a necessidade energética são através da aplicação de recompressão mecânica de vapor que pode ir até 40% de poupança e da destilação solar de etanol em

instalações mais pequenas que é um processo que se encontra em investigação (Kahr, Jager, & Lanzerstorfer, 2012).

Os resíduos provenientes do processo de bioetanol podem ser separados em fracções sólido-líquido sendo posteriormente a fracção sólida utilizada para produção de combustível sólido. A fracção líquida pode ser encaminhada para alimentar um processo de digestão anaeróbia com produção de biogás ou então após ocorrer evaporação de grande parte da água pode ser encaminhada para a produção de combustíveis sólidos juntamente com a fracção sólida (Kahr, Jager, & Lanzerstorfer, 2012).

3.2.3 Vantagens e desvantagens

A utilização de bioetanol leva a uma combustão menos poluente quando comparado com a gasolina, ou seja, tal facto pode levar à redução de emissões de dióxido de carbono considerando também que a matéria-prima de origem vegetal absorveu dióxido de carbono presente na atmosfera (Schiller, 2010). O bioetanol de segunda geração apresenta uma grande vantagem que é o facto de utilizar matérias-primas lenho celulósicas que são abundantes e diversificadas em termos de disponibilidade não comprometendo assim a produtividade de alimentos como é o caso do bioetanol de primeira geração (Tan, Lee, & Mohamed, 2008). No entanto, em ambas as gerações há a ocupação do solo por parte do cultivo da matéria-prima que pode ser visto como uma forma de ocupar solos em pousio (Denis, 2013) ou como potenciar o desenvolvimento socioeconómico das zonas rurais (Avillez, Jorge, Montes, Brandão, & Campilho, 2009). A ocupação do solo pode também ser tida como desvantagem por haver a possibilidade de levar à erosão do solo (Schiller, 2010) e por se poder gerar conflitos entre a bioenergia e a segurança alimentar e a biodiversidade em zonas naturais ou destinadas à conservação da natureza (Avillez, Jorge, Montes, Brandão, & Campilho, 2009).

4. Biocombustíveis gasosos

O biocombustível gasoso produzido a partir de biomassa mais conhecido é o biogás. Este consiste numa mistura de metano e dióxido de carbono que se forma no processo de digestão anaeróbia de matéria orgânica, de onde também resulta um composto que pode ser aplicado como fertilizante em terrenos agrícolas. Outro biocombustível gasoso é o hidrogénio, cuja produção através do processo de gaseificação a partir de carvão ou de biomassa já é usada desde longa data, podendo este biocombustível gasoso ser utilizado para aquecimento e produção de energia (Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

4.1 Biogás

O biogás é uma mistura de metano (CH_4) e de dióxido de carbono (CO_2) com pequenas quantidades de azoto (N_2), hidrogénio (H_2), amoníaco (NH_3) e sulfureto de hidrogénio (H_2S) (Ahring, 2003). A sua composição encontra-se dependente da matéria-prima utilizada no processo de produção e de parâmetros tais como a temperatura e a acidez do substrato. O biogás é resultante da digestão anaeróbia de matéria orgânica, ou seja, é resultante de um processo biológico onde ocorre a degradação da biomassa por microrganismos em condições de ausência de oxigénio e de ausência de luz (Biogasin, 2010).

O processo de produção de biogás é natural e pode ocorrer em vários tipos de ambientes anaeróbicos, desde sedimentos marinhos e de água doce a lodos de esgoto ou lama. Este processo torna-se relevante na medida em que possibilita a redução de matéria orgânica com um ligeiro aumento de biomassa bacteriana e também porque possibilita a formação de uma forma de energia como calor, eletricidade ou após processamento como combustível para veículos automóveis (Ahring, 2003).

O biogás começou a ter maior destaque devido ao aumento de preços da energia na década de 70 e como forma de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis ao evidenciar-se a procura de fontes alternativas de energia. Este biocombustível gasoso ganhou destaque não só pela produção de energia mas também por questões ambientais uma vez que o seu processo de produção permite a degradação anaeróbia de resíduos (Ahring, 2003).

4.1.1 Processo de digestão anaeróbia

O processo de degradação anaeróbia é realizado em sistemas fechados dado que é mais fácil para controlar as condições ideais para os microrganismos e trata-se de um processo de degradação rápida e eficaz para diferentes tipos de resíduos. O processo de tratamento anaeróbio é utilizado no tratamento de resíduos sólidos urbanos, de lamas (provenientes das Estações de Tratamento de Águas Residuais), de resíduos de instalações pecuárias e de resíduos da indústria alimentar (Ahring, 2003).

A digestão anaeróbia (DA) consiste num conjunto de quatro fases que são a hidrólise, a acidogénese, a acetogénese e a metanogénese (Figura 7).

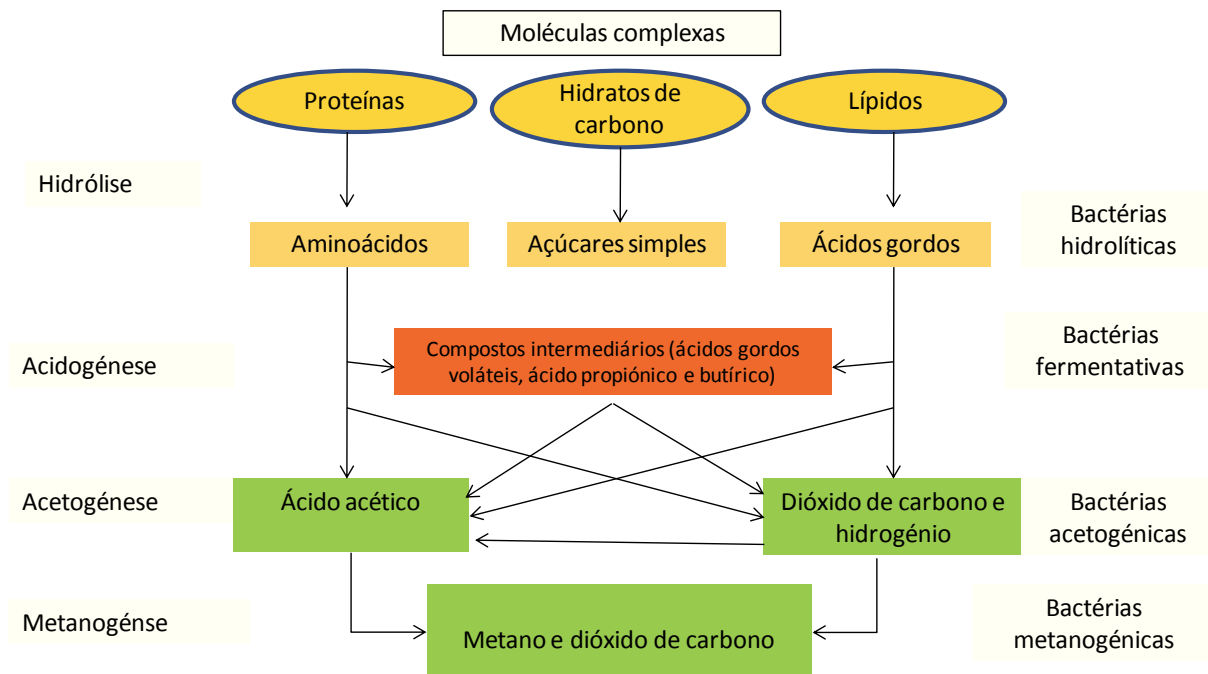


Figura 7: Processo de digestão anaeróbia.

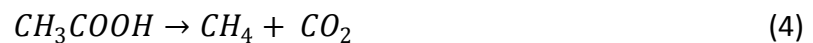
Adaptado de (Renewable Energy Concepts, 2013)

A hidrólise é realizada por bactérias hidrolíticas que convertem os polímeros orgânicos da biomassa (que por norma são de grandes dimensões) em moléculas mais simples. Assim, os hidratos de carbono são convertidos em açúcares simples, as proteínas em aminoácidos e os lípidos em ácidos gordos de cadeia longa.

A fase seguinte é a acidogénese, onde as bactérias fermentativas decompõem os compostos gerados na fase anterior (aminoácidos, açúcares e ácidos gordos de cadeia longa) formando compostos intermediários (ácidos gordos voláteis), ácido propiónico e butírico.

Na fase acetogénese, as bactérias acetogénicas metabolizam os produtos intermediários (ácidos gordos voláteis) formados na fase anterior em ácido acético (CH_3COOH), dióxido de carbono (CO_2) e hidrogénio (H_2).

A metanogénese é a última fase da digestão anaeróbia, onde o dióxido de carbono e o hidrogénio são convertidos em metano e água e o principal mecanismo nesta fase dá-se com a conversão do ácido acético em metano e dióxido de carbono, sendo os principais produtos da digestão anaeróbia o metano e o dióxido de carbono (Biarnes, 2013):



4.1.2 Factores que influenciam a produção de biogás

A produção de biogás é influenciada por vários parâmetros entre eles a temperatura, o pH, a composição do substrato e a toxicidade.

4.1.2.1 Temperatura

A temperatura é o parâmetro que mais influencia o crescimento bacteriano sendo que o aumento de temperatura leva ao aumento da atividade bacteriana. Caso a temperatura diminua, a produção de metano diminuirá ou parará conseqüentemente enquanto os níveis de CO_2 aumentarão (Renewable Energy Concepts, 2009).

As reações de digestão para tratamento de resíduos são denominadas de acordo com a temperatura de funcionamento dos digestores. A reação psicrófila apresenta uma temperatura inferior a 20°C , a mesófila apresenta-se entre os 25°C e os 40°C e a termófila apresenta uma temperatura entre 45°C a 60°C . A faixa termófila na digestão anaeróbia de resíduos apresenta diversas vantagens dada a alta temperatura, o que permite uma taxa de digestão mais rápida, tempos de retenção mais curtos e o volume dos reatores pode ser menor para tratar a mesma quantidade de resíduos. A taxa e a eficiência da hidrólise do material particulado são superiores e há uma destruição mais eficiente de agentes patogénicos (Ahring, 2003).

As fases mesófila e termófila são as mais utilizadas e estes termos são utilizados para classificar os grupos de microrganismos e para quantificar a temperatura do ambiente onde está a ocorrer o processo porque o ideal é conhecer o tipo de microrganismo utilizado e ter conhecimento do intervalo de temperatura mais adequado para as referidas espécies específicas (Biarnes, 2013). Tendo em consideração a importância da temperatura no

processo de digestão anaeróbia, esta deve ser monitorizada e mantida na gama específica de modo que a taxa de reação conduza ao máximo de produção de biogás. No entanto, o processo com elevadas temperaturas ao apresentar rendimentos de produção mais elevados também é mais caro para se poder manter a temperatura na gama específica (Biarnes, 2013).

4.1.2.2 pH

O pH no processo de digestão anaeróbia deve estar compreendido entre 6 a 8,5; caso contrário poderá ocorrer um desequilíbrio durante o processo. Os microrganismos presentes no processo apresentam cada um deles, um pH ótimo e crescem nessa gama específica de pH. Os microrganismos presentes nas fases metanogénese e acetogénese apresentam um pH de aproximadamente 7, os microrganismos da fase acidogénese têm pH aproximado de 6 e na fase metanogénese o pH é inferior a 6,6 pelo que o crescimento de microrganismos é mais lento.

As variações nos níveis de ácidos gordos voláteis (AGV) podem provocar uma acumulação de AGV que levará à acidificação (queda de pH). No entanto as referidas variações poderão não ter esta consequência devido à capacidade tampão de alguns tipos de resíduos. Assim, quando há uma queda de pH num reator anaeróbio, deve ser realizada observação da concentração de AGV (Ahring, 2003) e a referida queda de pH pode ser equilibrada e reposta pela capacidade tampão através da formação de alcalinidade da produção de CO₂ (Renewable Energy Concepts, 2009).

4.1.2.3 Toxicidade

Relativamente à toxicidade, há vários compostos que são tóxicos para os microrganismos que se encontram no processo de digestão anaeróbia. Os microrganismos da fase metanogénese são os que apresentam maior sensibilidade à toxicidade mas após uma fase de adaptação poderão tolerar elevadas concentrações de produtos tóxicos. O amoníaco é o inibidor mais comum e é muito frequente em substratos utilizados para a digestão anaeróbia, sendo normalmente provenientes de esterco de suiniculturas e de instalações avícolas, de resíduos de matadouros, de indústrias de batata e de sumo e do processo de liquefação de carvão (Ahring, 2003).

4.1.3 Matérias-primas

Mais recentemente o processo de degradação anaeróbia começou a ser utilizado no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, sendo este o sector que apresenta maior potencial de produção de biogás e posterior produção de energia elétrica (Ferreira, Marques, & Malico, 2012). Neste sector o principal objetivo da utilização do referido tratamento passa pela redução significativa da quantidade de resíduos que evita assim a excessiva deposição de resíduos em aterro e diminui também o recurso à incineração. Os objetivos complementares passam pela produção de biogás e pela produção de composto de qualidade para o sector agrícola (Ahring, 2003).

Um outro sector de tratamento de resíduos que utiliza o processo de tratamento de digestão anaeróbia é o tratamento de lamas primárias e secundárias provenientes do tratamento aeróbio de águas residuais municipais. Ocorre uma estabilização e redução da quantidade final de lamas e em paralelo é produzido biogás que poderá ser utilizado para uso energético da própria instalação de Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) (Ahring, 2003). Em zonas onde a população é compreendida entre os 10 000 e os 15 000 habitantes é viável efetuar este tipo de tratamento para produção de biogás e tendo em conta o aumento de instalações de ETAR's centralizadas assimilando vários municípios ou várias regiões geográficas o processo de DA no tratamento de lamas de ETAR's tende a aumentar (Ferreira, Marques, & Malico, 2012).

Outra aplicação é no sector pecuário, onde o gado bovino representa o maior potencial de produção de biogás neste sector. A digestão anaeróbia no tratamento de efluentes líquidos de gado permite reduzir o volume de efluentes e remover mais de 50% de matéria orgânica (Ferreira, Marques, & Malico, 2012). Este processo permite também obter uma melhor qualidade como fertilizante de estrume e ao mesmo tempo é produzido biogás que pode cobrir as necessidades energéticas das respetivas instalações (Ahring, 2003).

O sector do processamento de alimentos e das indústrias de fermentação também tem apostado na digestão anaeróbia para tratar as águas residuais para posterior lançamento no meio ambiente ou sistema de saneamento e tendo em conta as questões ambientais e os custos de eliminação alternativos à DA, torna-se um processo em destaque (Ahring, 2003). Neste momento é um sector que representa ainda um baixo valor de potencial para produção de biogás comparativamente com os sectores já referidos. Dos vários sectores da indústria alimentar o sector dos lacticínios é o que apresenta maior potencial de produção de biogás sendo o referido potencial cerca de metade do total das várias indústrias alimentares (Ferreira, Marques, & Malico, 2012).

4.1.4 Processo de produção

A matéria-prima é pré-armazenada em tanques *buffer* e posteriormente é bombeada através de permutadores de calor para os reatores anaeróbios. Após o processo, o efluente é bombeado para um tanque de pós-armazenamento para depois ser utilizado como fertilizante. A instalação onde decorre todo o processo de digestão anaeróbia pode compreender vários processos e *layouts*, dependendo das condições e das necessidades do local. Na globalidade as operações são transporte/bombeamento, agitação/mistura, trituração, troca de calor, tratamento de biogás e limpeza, compressão e transporte de biogás, armazenamento de biogás e filtração/separação (Ahring, 2003).

Habitualmente a central de biogás é composta pela unidade de produção que contempla o digestor anaeróbio e o sistema de remoção de resíduos, o sistema de armazenamento e de purificação do gás e o equipamento para a utilização do gás e dos resíduos (UC, 2006).

As tecnologias e o *design* utilizados nas centrais de produção de biogás dependem do país onde se encontram tendo em consideração as condições climáticas, a legislação, as políticas energéticas e a disponibilidade energética (Ahring, 2003).

4.1.4.1 Sector de Resíduos Sólidos Urbanos

- a) Os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser recolhidos como fluxo misto e de forma a valorizar a fracção orgânica presente nos RSU encontram-se já em funcionamento várias Centrais de Valorização Orgânica (CVO) que contemplam o Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) (Figura 8). A parte mecânica consiste na separação da matéria orgânica dos restantes resíduos que podem ser papel/cartão, vidro, plástico, metal, entre outros e que posteriormente serão encaminhados para reciclagem. O tratamento biológico baseia-se na digestão anaeróbia da fracção orgânica de onde resultará o composto com poder fertilizante para utilizar em solos agrícolas e o biogás. O biogás será utilizado para produzir energia eléctrica que será injectada na rede eléctrica. Desta forma valorizam-se os resíduos e prolonga-se o tempo de vida útil dos aterros sanitários (Águas de Portugal, 2011).



Figura 8: Central de Valorização Orgânica da Valorlis (Leiria). 1 – Digestor; 2 – Gasómetro; 3 – Valorização energética.

- b) Os RSU que são encaminhados para os aterros sanitários são decompostos por via anaeróbia que leva à produção de biogás (Figura 9). A recuperação do gás de aterro é essencial por questões ambientais na vertente da redução de emissões de metano e de outros gases para a atmosfera mas também para produção de electricidade (Al Seadi, et al., 2008). O biogás produzido é utilizado para produção de energia eléctrica e posterior injeção na rede (ALGAR, 2013).

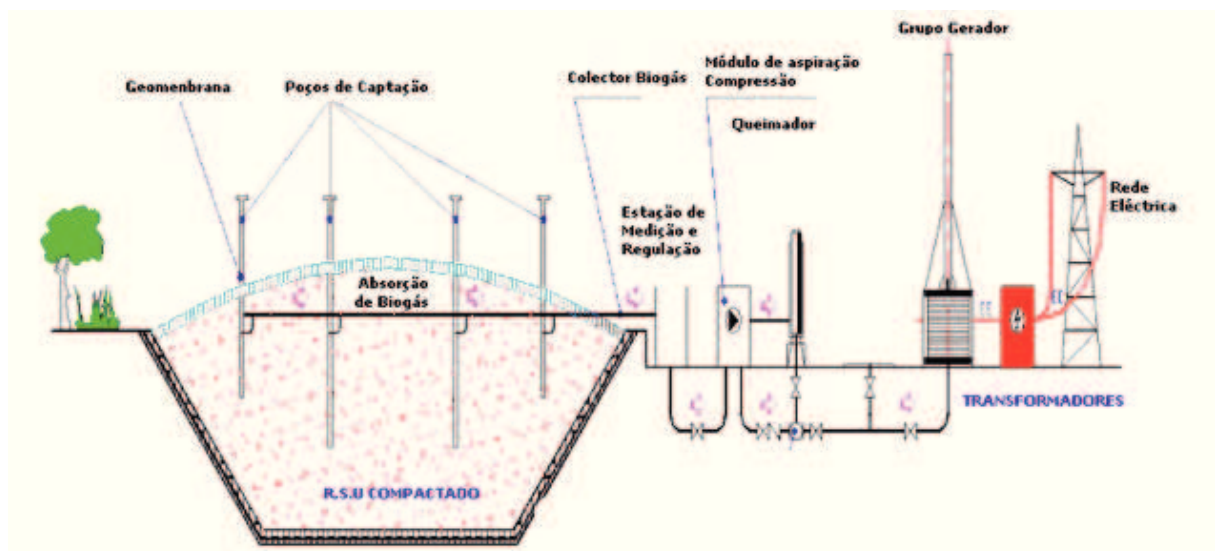


Figura 9: Diagrama do processo de valorização energética num aterro sanitário.

(ALGAR, 2013).

4.1.4.2 Sector de Estações de Tratamento de Águas Residuais

As lamas resultantes do tratamento aeróbio nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) podem ser tratadas (estabilizadas e reduzidas) por digestão anaeróbia. Cerca de 30 a 70% dos países europeus utilizam este tipo de tratamento para as lamas de ETAR's podendo posteriormente utilizar-se as lamas tratadas como fertilizante em terrenos agrícolas ou para produção de energia através da incineração (Ahring, 2003).

4.1.4.3 Sector da agricultura, pecuária e indústria alimentar

Estas centrais podem ser classificadas de acordo com a sua dimensão, função e localização agrícola, podendo ser classificadas como micro-escala (unidade familiar até 4 a 5 pessoas), escala intermédia (até 250 pessoas) ou escala industrial (superior a 250 pessoas).

1. As instalações de micro-escala são muito comuns na Índia, China e Nepal onde a matéria-prima é originária das actividades agrícolas familiares e o biogás produzido é utilizado para cozinhar e para as necessidades de iluminação da habitação familiar.

Os biodigestores são simples, fáceis de operar e manter e geralmente não apresentam instrumentos de controlo nem processos de aquecimento. Um dos biodigestores utilizados é o *Modelo Chinês* (Figura 10) que apresenta 6 a 8 m³ e a respectiva matéria-prima é fornecida por esgoto doméstico, dejectos animais e resíduos domésticos orgânicos (Al Seadi, et al., 2008). O reactor, quase todo subterrâneo, é constituído por uma câmara cilíndrica com um tecto abobadado para armazenar o biogás. A acumulação de biogás levará ao aumento da pressão no seu interior que conduzirá ao deslocamento do efluente da câmara para a caixa de saída (Silva C. A., 2009). Este reactor opera em modo semi-contínuo onde a matéria-prima é adicionada uma vez por dia e a quantidade equivalente de substrato final é removido também uma vez por dia. Como o reactor não se encontra em agitação, 2 a 3 vezes por ano deve-se efectuar uma remoção dos sólidos em suspensão que são sedimentados. Durante a referida remoção deve-se deixar no reactor uma determinada quantidade de substrato que funcionará como inóculo (Al Seadi, et al., 2008).

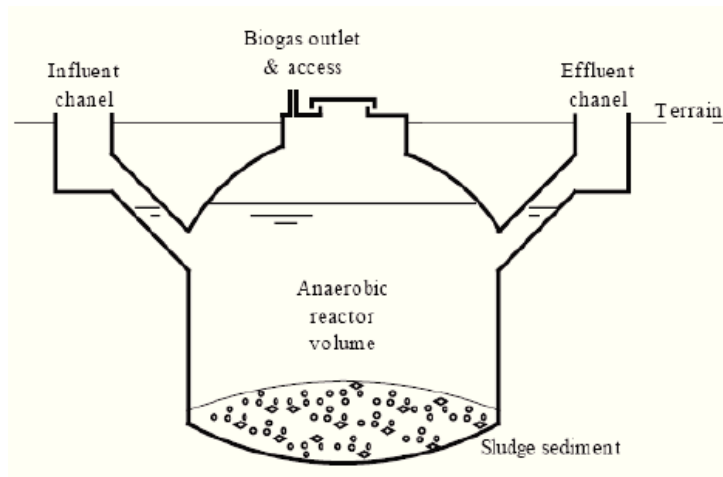


Figura 10: Biodigestor Modelo Chinês

(Al Seadi, et al., 2008).

Outro tipo de biodigestor é o *Modelo Indiano* (Figura 11) que é em parte semelhante ao Modelo Chinês por ser também subterrâneo (Al Seadi, et al., 2008). No entanto apresenta as diferenças no local de recolha do efluente que é na parte inferior do reactor e na tampa que contém uma campânula flutuante que funciona como gasómetro e que controla a pressão do biogás (Silva C. A., 2009).

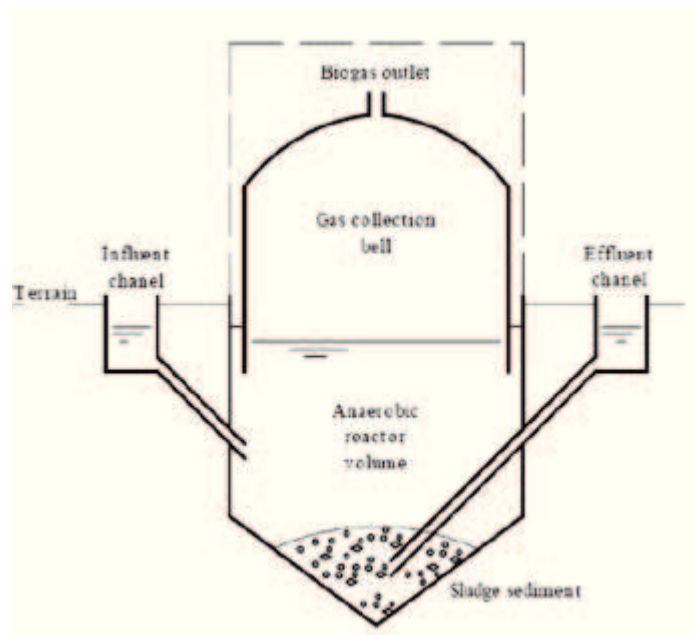


Figura 11: Biodigestor Modelo Indiano

(Al Seadi, et al., 2008).

2. As instalações de escala intermédia são muito comuns na Alemanha, Áustria e Dinamarca e a aplicação do processo de digestão anaeróbia tem ganho grande interesse por parte dos agricultores devido à valorização de resíduos para a produção de biogás e de fertilizante de grande qualidade mas também porque assim se tornam prestadores de serviços de energia renovável.

As instalações podem ser pequenas e apresentar tecnologia simples ou podem ser grandes e tecnologicamente complexas, no entanto apresentam todas o mesmo princípio de *layout*. A matéria-prima é colocada num tanque de pré-armazenamento que se situa perto do digestor e é bombeada para um digestor que é um tanque de gás estanque (constituído por aço ou betão) e isolado de forma a manter constante a temperatura do processo de digestão anaeróbia. Este biodigestor pode ser horizontal ou vertical e normalmente apresenta um sistema de agitação que é responsável pela mistura e pela homogeneização do substrato.

O composto resultante do processo de DA é utilizado como fertilizante na própria quinta ou comercializado para quintas que se encontrem próximas. O biogás produzido pode ser utilizado para produção de electricidade e de calor, sendo que cerca de 10 a 30 % do biogás é utilizado para necessidades internas das instalações agrícolas e o restante é vendido para instalações vizinhas ou para empresas de energia (Al Seadi, et al., 2008).

3. As instalações de escala industrial são muito frequentes na Dinamarca e em regiões onde há um largo número de instalações pecuárias. As instalações de escala industrial baseiam-se no processamento de resíduos de várias instalações pecuárias contemplando ainda resíduos agrícolas, resíduos de indústrias alimentares, resíduos domésticos orgânicos e águas residuais.

A matéria-prima é transportada para a instalação de produção de biogás onde é misturada com outros substratos e posteriormente homogeneizada e bombeada para o tanque digestor. O digestor funciona de forma contínua onde há abastecimento de biomassa para o processo e descarga proporcional à entrada de biomassa. O composto produzido é devolvido aos respectivos fornecedores de matéria-prima e o excedente é vendido a agricultores de zonas próximas (Al Seadi, et al., 2008).

4.1.5 Vantagens da produção de biogás e utilização de biogás

Para além da redução da dependência dos combustíveis fósseis, a produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia apresenta ainda benefícios ambientais e socioeconómicos para a sociedade e para possíveis proprietários de instalações de pecuária, de agricultura ou alimentares.

A utilização de biogás permite a redução de emissões de CO₂ dado que durante a combustão do biogás é libertado CO₂ que posteriormente será absorvido por plantas durante o processo de fotossíntese, permitindo assim fechar o ciclo do carbono (EIHP, 2010). É de salientar a diferença nas emissões de CO₂ e CH₄ uma vez que a emissão de metano pode contribuir até vinte vezes mais como gás de efeito de estufa que o dióxido de carbono (Demirbas A. , Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, 2001). Outro benefício passa pela capacidade de valorização de resíduos como matéria-prima para o processo, o que possibilita reduzir o volume de resíduos que teria como único destino o processo de eliminação (EIHP, 2010) e possibilita também a redução do consumo de energia no tratamento de resíduos (APREN, 2011). Através do processo de digestão anaeróbia é possível ainda haver uma redução da quantidade de odores provenientes dos resíduos de instalações pecuárias (EIHP, 2010).

O biogás produzido pode ser utilizado como fonte de calor, para produção de energia elétrica ou como combustível para transportes. O outro produto resultante no processo de digestão anaeróbia é o composto com elevado poder fertilizante que pode ser aplicado como corretivo em solos agrícolas de forma inodora. A nível socioeconómico há o aumento de empregabilidade e do desenvolvimento rural de zonas rurais e descentralizadas (EIHP, 2010).

4.2 Hidrogénio

O hidrogénio é o elemento mais simples (Santos & Santos, 2005) e o mais abundante no Universo (Kruger, 2006). Apesar da sua abundância, a maior parte do hidrogénio não se encontra de forma livre na Natureza, apenas combinado com outros elementos como o caso da água que contém uma grande quantidade de hidrogénio (Shinnar, 2003).

O hidrogénio, um gás incolor e inodoro, é a substância química mais leve apresentando em condições normais de temperatura e pressão uma densidade de 0,0899 g/L comparando com o ar que apresenta 1,2930 g/L (Kruger, 2006).

4.2.1 Produção de hidrogénio

A produção de hidrogénio pode ser classificada em conversão química directa dos recursos energéticos ou em conversão electro-química (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007). A conversão química directa engloba a produção a partir da gaseificação do carvão e oxidação catalítica de metano com vapor de água (*steam reforming*) (Dincer & Rosen, 2011) (Figura 12). A conversão electro-química inclui a electrólise da água (Shinnar, 2003) (Figura 12) com a utilização de electricidade de fontes convencionais, a partir de energias renováveis ou de energia nuclear (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007). Pode ainda haver produção de hidrogénio a partir de microalgas (Antunes & Silva, 2010).

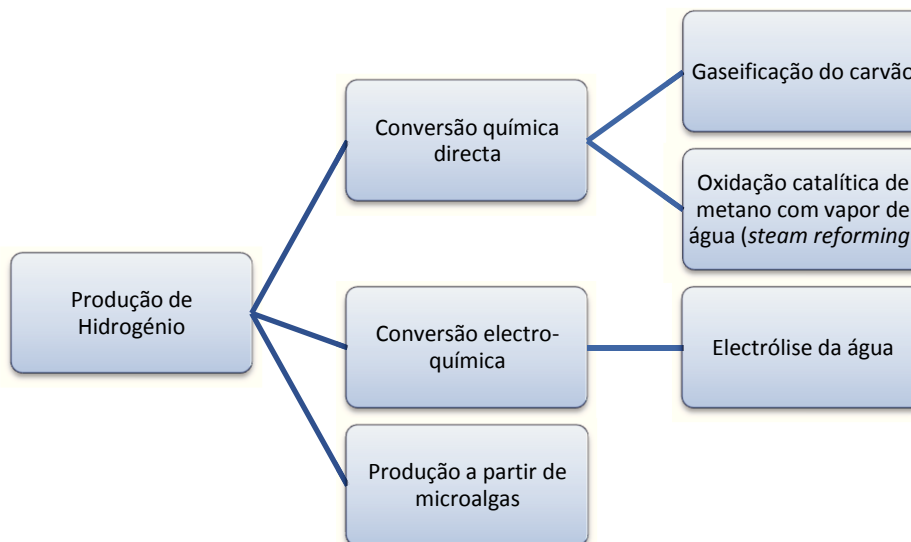


Figura 12: Processos produtivos do hidrogénio.

(Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007), (Shinnar, 2003) e (Antunes & Silva, 2010).

Atualmente, a produção em grande escala de hidrogénio é baseada maioritariamente na conversão química directa de combustíveis fósseis (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007) sendo 50% a partir do gás natural, 30% de petróleo e quase 20% de carvão, sendo apenas 4% proveniente da electrólise da água (conversão electro-química) (Lattin & Utgikar, 2007).

- **Gaseificação do carvão**

O processo de gaseificação do carvão combina uma mistura de carvão com oxigénio, ar ou vapor a elevadas temperaturas sem permitir que ocorra combustão, conduzindo a baixas emissões de gases poluentes e a uma elevada eficiência no sistema (Dincer & Rosen, 2011).

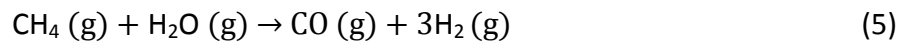
O processo de gaseificação inicia-se com a mistura do carvão com um oxidante (oxigénio, ar ou vapor) que dá origem a gás de síntese muito quente que pode atingir os 1800°C. Este gás de síntese é composto por monóxido de carbono (CO), hidrogénio (H₂), dióxido de carbono (CO₂) e reduzidas quantidades de partículas e outros gases. Posteriormente o gás de síntese é sujeito a processos de refrigeração e limpeza com o objectivo de remover alguns gases e partículas de modo a que apenas permaneçam o CO, CO₂ e H₂. O gás de síntese é depois colocado num reactor onde ocorre uma reacção entre o monóxido de carbono com vapor de água resultando uma conversão em dióxido de carbono e hidrogénio. O gás de síntese fica desta forma apenas constituído por CO₂ e H₂ e é sujeito a uma separação de CO₂ e H₂ onde o dióxido de carbono é capturado e sequestrado ou eliminado e o hidrogénio é purificado para posterior utilização (Dincer & Rosen, 2011).

- **Oxidação catalítica de metano com vapor de água (*steam reforming*)**

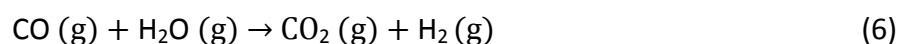
A oxidação catalítica de metano com vapor de água (*steam reforming*) pode ser em grande escala ou em pequena escala, sendo o processo em grande escala o processo responsável pela maior parte da produção de hidrogénio a nível mundial (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007).

O *steam reforming* do gás natural baseia-se na reacção endotérmica entre o metano com o vapor a uma elevada temperatura (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007), cerca de 700 a 950°C (Lattin & Utgikar, 2007), que originará gás de síntese bruto, uma mistura de CO, CO₂, H₂ e CH₄ não reagido (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007).

O processo inicia-se com o pré-aquecimento do gás natural em bombas de calor e posteriormente é adicionado vapor e dá-se a conversão em CO e H₂ na presença de um catalisador de níquel (Udengaard, 2004):



Posteriormente ocorre uma reacção exotérmica (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007) de deslocamento de água (*water-shift*) (Lattin & Utgikar, 2007) onde o monóxido de carbono reage com mais vapor originando hidrogénio, dióxido de carbono e algum metano que não reagiu, obtendo-se assim nesta reacção uma maior quantidade de hidrogénio (reacção X) (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007):



Após estas reacções o CO₂ é removido através de uma solução com base alcalina por meio de absorção química, resultando o hidrogénio que posteriormente é purificado de acordo com determinadas especificações destinadas à utilização e distribuição.

Normalmente o gás natural contém uma quantidade mínima de compostos de enxofre que devem ser eliminados através de um catalisador de óxido de zinco, eliminação esta que deve ocorrer no início do processo (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007).

- **Electrólise da água**

A electrólise da água utiliza energia eléctrica para romper as moléculas da água em hidrogénio e oxigénio (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007). A corrente eléctrica ao passar em água que contenha uma reduzida quantidade de, por exemplo sulfato de sódio, leva à produção de gases em dois eléctrodos, hidrogénio molecular num eléctrodo e oxigénio molecular num outro eléctrodo. A água pura apresenta uma baixa condução de electricidade podendo a resistência à electricidade ser diminuída através da adição de um electrólito como o ácido sulfúrico (H₂SO₄) ou o hidróxido de potássio (KOH), resultando assim posteriormente na decomposição da água (Kruger, 2006):



A electrólise da água pode incluir vários métodos, entre os quais a electrólise da água por via alcalina, electrólise de polímero sólido e electrólise de vapor a alta temperatura. Destes tipos de electrólise enumerados, a electrólise da água por via alcalina (Figura 13) é a mais utilizada (Kruger, 2006) contemplando uma célula com um ânodo, um cátodo, uma fonte de alimentação e um electrólito (Zeng & Zhang, 2009) de uma solução de 25% a 35% de KOH funcionando a uma temperatura de 80°C (Kruger, 2006). É ainda aplicada uma corrente contínua de forma a equilibrar o fluxo de electricidade e os electrões que vão do terminal

negativo da corrente para o cátodo onde são consumidos pelos iões de hidrogénio para a formação de hidrogénio (Zeng & Zhang, 2009).

Na eletrólise da água por via alcalina os iões de hidrogénio movem-se para o cátodo e os iões de hidróxido movem-se para o ânodo e através da utilização de um diafragma o hidrogénio e o oxigénio são recolhidos por recetores de gases. As reações que ocorrem durante este processo são (Zeng & Zhang, 2009):

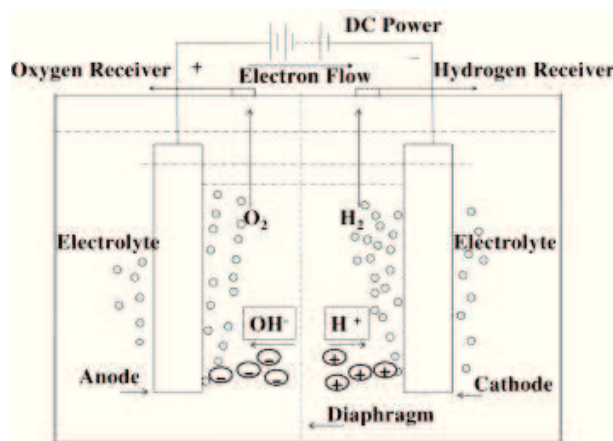
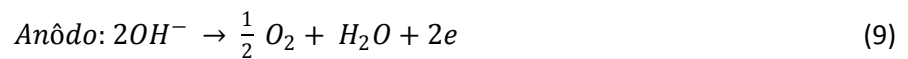


Figura 13: Esquema da produção de hidrogénio através da eletrólise da água.

(Zeng & Zhang, 2009)

- **Outros métodos de produção de hidrogénio**

O hidrogénio pode ainda ser produzido através de outros processos que não ganharam ainda muita notoriedade ou que se encontrem ainda em desenvolvimento como a gaseificação de biomassa que se encontra relacionado com o método de gaseificação do carvão (Mueller-Langer, Tzimas, Kaltschmitt, & Peteves, 2007) e a produção a partir de resíduos de alumínio.

4.2.2 Armazenamento, distribuição e utilização do hidrogénio

O hidrogénio é uma forma de energia que pode ser armazenada durante longos períodos de tempo (Dincer & Rosen, 2011), necessitando na forma gasosa de um volume de

armazenamento de 3000 vezes maior quando comparado com uma quantidade equivalente de gasolina, em condições de temperatura e pressão normais (Lattin & Utgikar, 2007).

O armazenamento pode ser realizado através de gás comprimido (Dincer & Rosen, 2011) (muito utilizado na refinação do petróleo e normalmente é comercializado em cilindros de aço de 50 litros a uma pressão de 200 bar (Kruger, 2006)), hidrogénio líquido (Dincer & Rosen, 2011) (deve ser mantido em sistemas criogénicos e poderá ser relevante na área da aviação e na área espacial (Kruger, 2006)) ou ligação química (Dincer & Rosen, 2011) (armazenamento de hidrogénio na forma sólida (Kruger, 2006)). O gás comprimido é muito utilizado na refinação do petróleo e normalmente é comercializado em cilindros de aço de 50 litros a uma pressão de 200 bar (Kruger, 2006).

O seu transporte pode ser efectuado como gás comprimido em depósitos de alta pressão, como líquido em camiões cisterna bem isolados sendo depois vaporizado para o local de utilização ou em condutas de gás (Dincer & Rosen, 2011).

O hidrogénio pode ser utilizado como matéria-prima para as indústrias química, petroquímica, alimentar, microelectrónica, metalúrgica (Lattin & Utgikar, 2007) e como agente redutor na indústria mineral (Kruger, 2006). Pode também ser utilizado para gerar electricidade, calor (Dincer & Rosen, 2011), para produção de energia através de células de combustível para utilização em veículos (Lattin & Utgikar, 2007) e futuramente poderá ser relevante na área espacial e da aviação (Kruger, 2006).

4.2.3 Célula de combustível (*Fuel-Cell*) de hidrogénio

Segundo Kruger, uma célula de combustível é um *sistema electroquímico sólido que combina hidrogénio e oxigénio para produzir água e electricidade* (Kruger, 2006), ou seja, a célula de combustível converte a energia química em energia eléctrica combinando o oxigénio do ar com hidrogénio, tendo apenas como principais saídas do processo a água e o calor e não emite substâncias poluentes típicas da combustão de combustíveis fósseis. Esta célula opera de forma contínua como uma bateria mas os volumes de produção são ainda baixos e os respectivos custos elevados, esperando-se que futuramente a utilização destas células seja superior na geração de electricidade e nos veículos movidos com células de combustível (Dincer & Rosen, 2011). Num veículo, este tipo de célula substitui a bateria eléctrica que fornecerá a corrente para o motor eléctrico que accionará as rodas (Kruger, 2006).

As células de combustível são classificadas de acordo com a temperatura de funcionamento podendo ser de temperatura baixa (60 a 250°C) ou de temperatura elevada (600 a 1000°C). Os tipos de células de combustível a temperatura baixa ostentaram progressos nas aplicações a nível de transporte por apresentarem um tempo de início de funcionamento rápido e um peso mais baixo comparativamente com o outro tipo. As mais comuns são a

membrana de troca de prótons, ácido fosfórico e tipo alcalino (Dincer & Rosen, 2011), sendo o tipo membrana de troca de prótons (*PEM – Proton Exchange Membrane*) o mais promissor nos transportes (Kruger, 2006).

As células de combustível a temperatura elevada mais comuns são a célula de carbonato fundido e a célula de óxido sólido, sendo estas consideradas mais eficientes para a produção de electricidade quando comparadas com o tipo de células de combustível de temperatura baixa (Dincer & Rosen, 2011).

4.2.4 Vantagens e desvantagens da utilização do hidrogénio

O hidrogénio é o elemento mais abundante no universo e pode ser produzido a partir de várias matérias-primas tais como a água, a biomassa, o carvão ou o gás natural. É considerado não tóxico e quando queimado, não emite gases com efeito de estufa ou outras partículas nocivas pelo que quando utilizado por veículos da NASA, o hidrogénio queimado liberta água potável para os astronautas. É considerada uma energia muito eficiente, sendo três vezes mais energética que a gasolina. No entanto, trata-se de uma produção dispendiosa e a qual ainda necessita de avanços tecnológicos os quais também são dispendiosos. O hidrogénio é altamente inflamável e os respectivos armazenamento e transporte são também difíceis e caros (Kukreja, 2013) e (Markowitz, 2013).

O hidrogénio apresenta o potencial para funcionar numa célula de combustível com maior eficiência que um motor de combustão interna. Estas células apresentam elevados níveis de confiança relativamente aos motores de combustão interna e às turbinas de combustão por não possuírem partes móveis. As células de combustível podem converter um valor superior a 90% da energia que se encontra convertida num combustível para energia eléctrica e calor. A possibilidade de substituir as centrais termoeléctricas convencionais que produzem electricidade através de combustíveis fósseis por células de combustível permitirá melhorias a nível ambiental, nomeadamente uma melhoria da qualidade do ar, redução do consumo de água, redução da descarga de água residual e eliminação de fontes de ruídos associadas aos sistemas convencionais de produção de energia por via do vapor. As células de combustível ostentam assim um grande potencial de desenvolvimento, no entanto apresentam ainda algumas desvantagens como a utilização de metais nobres, como é o exemplo da platina (catalisador) que é considerada um metal caro, raro no planeta e o seu elevado custo quando comparado com as fontes de energia convencionais (Silva V. , 2003).

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Biomassa sólida

A biomassa é um recurso renovável resultante de um processo que ocorre de forma natural e repetida no ambiente (Wereko-Brobby & Hagen, 1996) que resulta da captura de energia solar, de dióxido de carbono da atmosfera e água, o qual é denominado por fotossíntese que possibilita o crescimento de plantas (Klass, 1998). Neste processo é possível “fechar” o Ciclo do carbono dado que a biomassa pode ser utilizada directamente como fonte de energia ou pode ser convertida em outros combustíveis, sendo que durante a queima, logística ou conversão da biomassa haverá libertação de CO₂ para a atmosfera (Klass, 1998).

A biomassa é um recurso muito diverso e complexo e por ocorrer de forma natural, as proporções dos seus constituintes bem como as respectivas características morfológicas são específicas do local onde se forma a biomassa e dependentes das condições ambientais (Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

No presente capítulo será abordada a biomassa sólida, ou seja, não será referida a biomassa destinada à produção de biocombustíveis líquidos e biocombustíveis gasosos.

5.1 Matérias-primas

A biomassa sólida contempla vários tipos de matéria-prima sendo a mais notória as árvores que podem ser provenientes da silvicultura convencional, da gestão sustentável de florestas (desbaste e corte) e de operações de limpeza de parques (Biomass Energy Centre1, 2011), de jardins municipais e particulares, de podas de plantas, de limpeza de bermas rodoviárias e ferroviárias (Biomass Energy Centre2, 2011). Esta fonte de biomassa sólida inclui ainda a biomassa resultante das florestas e bosques, árvores exteriores às formações florestais como arbustos e árvores urbanas (Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

Existem outras fontes de matérias-primas de biomassa sólida como culturas agrícolas, resíduos agrícolas, resíduos de processamento, resíduos animais (Wereko-Brobby & Hagen, 1996) e resíduos alimentares (Biomass Energy Centre, 2011). As culturas agrícolas são culturas de alto rendimento cultivadas especificamente para a produção de energia (Biomass Energy Centre2, 2011). Os resíduos agrícolas são provenientes de colheitas e de

resíduos de plantas provenientes da agricultura como é o caso da palha de cereais, folhas e caules de plantas (Wereko-Brobby & Hagen, 1996). Os resíduos de processamento são referentes às actividades de processamento agroindustrial de culturas como a serragem, aparas de serrarias, bagaço ou cascas de alimentos (Biomass Energy Centre2, 2011). Os resíduos animais são provenientes das explorações intensivas e extensivas da pecuária (camas de animais e excesso de produção ou mercado insuficiente para silagem) (Wereko-Brobby & Hagen, 1996). Os resíduos alimentares são provenientes de indústrias do fabrico, preparação e processamento de alimentos e bebidas e são também incluídos os resíduos alimentares de pós-consumo (Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

5.2 Métodos de conversão

A biomassa sólida apresenta características físicas muito variáveis (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009) podendo apresentar grandes volumes o que poderá conduzir a elevados custos e elevada complexidade nos processos de manipulação, transporte e armazenamento (Coach Bioenergy, 2013). Assim a biomassa sólida pode ser sujeita a conversão física (Enersilva, 2007) para produção de peletes ou briquetes através de um processo de densificação (Coach Bioenergy, 2013) ou pode ser processada através da conversão termoquímica que engloba as tecnologias combustão, pirólise, gaseificação e torrefacção que consistem na degradação química da biomassa através de temperaturas elevadas, sendo que cada tecnologia apresenta a sua faixa de temperatura e a sua quantidade de oxigénio na reacção (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009) (Figura 14).

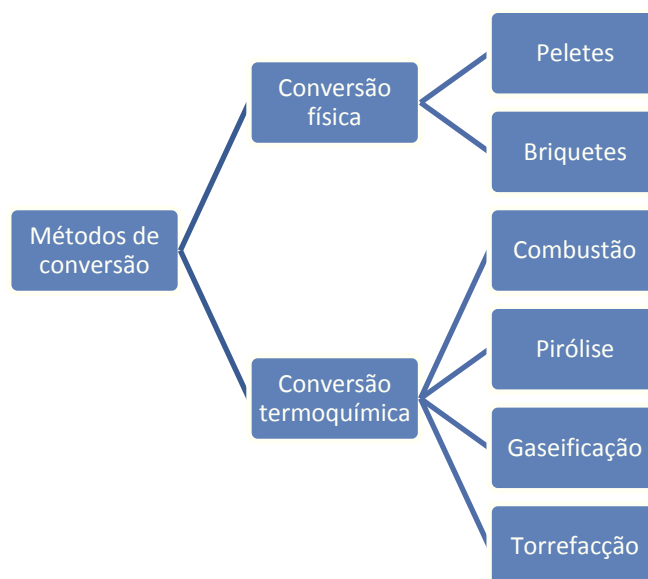


Figura 14: Métodos de conversão de biomassa sólida.

(Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009), (Coach Bioenergy, 2013) e (Enersilva, 2007).

Os peletes e os briquetes são produzidos através de resíduos e subprodutos da indústria da madeira (Enersilva, 2007) que são sujeitos a um processo de compressão a uma pressão muito elevada (Biomass Energy Centre3, 2007). Os peletes são de reduzidas dimensões apresentando um diâmetro de 6 a 8 mm para uma escala doméstica e um diâmetro de 10 a 12 mm para escala industrial (Biomass Energy Centre3, 2007). Os briquetes apresentam a diferença a nível físico devido às suas dimensões superiores, sendo que normalmente apresentam um diâmetro entre os 50 e os 100 mm e um comprimento entre os 60 e os 150 mm (Biomass Energy Centre3, 2007) e são normalmente utilizados em fogões domésticos em substituição da lenha convencional (Coach Bioenergy, 2013).

A combustão direta de biomassa sólida é um processo simples e é a forma de conversão de biomassa em energia mais antiga (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). Este processo consiste na queima da biomassa (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009) tendo como produto o calor que pode ser utilizado para fornecer calor (aplicação doméstica muito usual) ou para produzir energia, devendo este produto ser utilizado de imediato dado que a opção de armazenamento não é viável (Bridgwater, 2003).

A pirólise consiste na decomposição térmica da biomassa (Bridgwater, 2003) que é aquecida rapidamente a uma elevada temperatura (Meier, Radlein, & Bridgwater, 1999) (cerca de 500°C (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009)) e na ausência de oxigénio (Meier, Radlein, & Bridgwater, 1999), resultando deste processo bio-óleo líquido, syngas, carvão vegetal (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). A pirólise pode ser realizada por meio rápido ou lento onde as diferenças são a nível do tempo de residência no reator e na produção das proporções dos produtos (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). A pirólise rápida tem despertado grande interesse (Bridgwater, 2003) e favorece a produção do bio-óleo líquido enquanto a pirólise lenta é mais direcionada para a produção do carvão vegetal (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). Este processo é sempre a primeira etapa nos processos de combustão e gaseificação onde de seguida ocorre oxidação total ou parcial da matéria-prima (Bridgwater, 2003).

O processo de gaseificação é como uma forma do processo de pirólise mas ocorre a temperaturas mais elevadas (entre 300°C a 900°C) (Demirbas A. , Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, 2001) e baseia-se na decomposição de material orgânico (Kuçuk & Demirbas, 1997) em gás combustível (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009) num ambiente deficiente em oxigénio (Kuçuk & Demirbas, 1997). Este processo apresenta vantagens relativamente à combustão direta dado que quase todas as matérias-primas de biomassa podem ser sujeitas à conversão em gás combustível com uma elevada eficiência e também porque o gás combustível pode ser imediatamente utilizado para produção de calor ou energia (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009).

No processo de torrefacção são atingidas temperaturas de 200 a 320°C (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009) (Sector, 2013) e há conversão da biomassa num produto seco estável e resistente à água (Sector, 2013) pelo que não absorve quantidades consideráveis de água (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). Este produto pode ser transformado em forma de peletes ou briquetes de modo a apresentar uma alta densidade energética de combustível sólido que será favorável para o transporte de longas distâncias, manuseamento e armazenamento, reduzindo assim os custos inerentes (Sector, 2013) e apresentando ainda um custo competitivo com os peletes e briquetes convencionais (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009). Este processo pode ser promissor na medida em que pode incluir biomassa agrícola e florestal, sendo o seu foco principal na área dos resíduos em zonas florestais distanciadas (Bauen, Berndes, Junginger, Londo, & Vuille, 2009).

5.3 Vantagens

A biomassa sólida é um recurso renovável e sendo cultivada e utilizada de forma sustentável, pode-se considerar o dióxido de carbono neutro pelo que permitirá uma redução das emissões de gases de efeito de estufa comparativamente com os combustíveis fósseis. A utilização de biomassa sólida leva à limpeza de zonas florestais o que leva à redução do risco de incêndios (Resolução do Concelho de Ministros n.º 29, 2010) e também permite a redução da quantidade de resíduos que teriam como destino os aterros sanitários e favorecem as zonas rurais dado que é nestas onde esta matéria-prima é mais abundante (Demirbas A. , Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, 2001).

A queima de biomassa leva à libertação de alguns gases poluentes como o dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de azoto (NO_x) mas esta queima produz menos 90% de enxofre comparativamente com a queima de carvão. Há também libertação de dióxido de carbono para a atmosfera que será absorvido por plantas que posteriormente poderão ser processadas como biomassa (Demirbas A. , Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, 2001).

6. Biorrefinaria

Desde de 2001 que se debate sobre biorrefinaria no entanto apenas em 2007 esta área começou a ganhar destaque. Os Estados Unidos são o país que tem apostado mais na investigação da biorrefinaria no entanto outros países também têm mostrado algum interesse nesta área como o Canadá, a Inglaterra, a Alemanha, a China, o Japão e a Espanha (Delgado & Kafarov, 2011).

De acordo com a International Energy Agency (IEA) a biorrefinaria “é o processamento sustentável de biomassa num espectro de produtos comercializáveis (alimentos, rações e produtos químicos) e de energia (combustíveis, energia e calor)” (Delgado & Kafarov, 2011), ou seja, trata-se de uma instalação que integra os processos de conversão de biomassa e de equipamentos para a produção de produtos e energia (King, Inderwildi, & Williams, 2010). Este processamento estende-se a uma instalação ou rede de serviços incluindo ainda os processos de transformação da biomassa e os equipamentos necessários. A biorrefinaria compreende a avaliação e a utilização de diversas tecnologias para extrair e transformar a biomassa nos seus principais constituintes para posteriormente se obterem os produtos comercializáveis e de energia (Delgado & Kafarov, 2011) (Figura 15). Este conceito é idêntico à refinaria de petróleo onde são produzidos vários combustíveis e também derivados de petróleo (Cherubini, 2010). Por analogia, poder-se-ia designar os produtos comercializáveis da biomassa como derivados de biomassa.

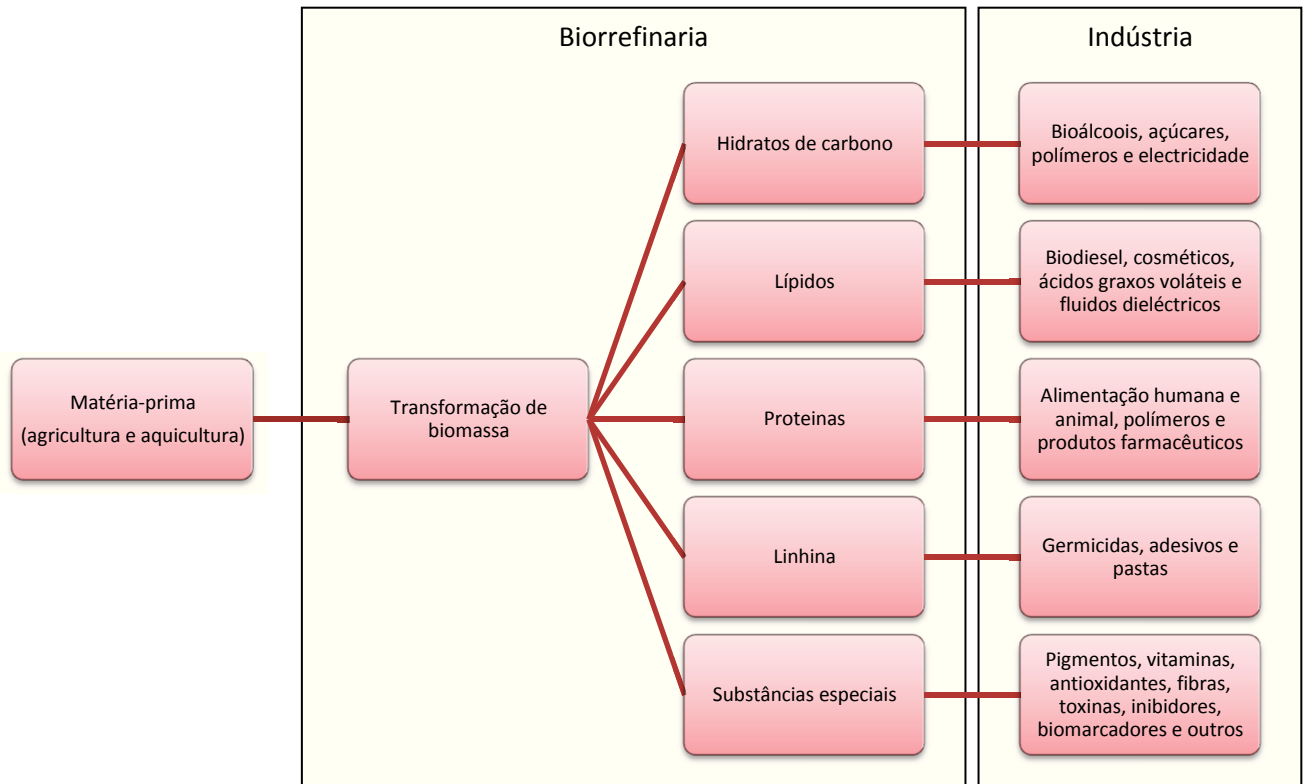


Figura 15: Conceito geral de Biorrefinaria

(Delgado & Kafarov, 2011)

A biorrefinaria apresenta como objectivo a optimização da utilização dos recursos e a minimização dos resíduos de forma a maximizar a rentabilidade. Esta optimização pode ainda ser melhorada com estudos em áreas-chave e na exploração de energia química a partir da biomassa (King, Inderwildi, & Williams, 2010).

Através da biorrefinaria é possível produzir energia na forma de calor ou a partir de biocombustíveis, moléculas para a indústria fina, aplicações cosméticas ou medicinais, plásticos e fontes alimentares para alimentação humana e para ração animal (Delgado & Kafarov, 2011).

6.1 MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas podem ser provenientes de culturas de base alimentar, de biomassa à base de celulose proveniente de culturas não alimentares (King, Inderwildi, & Williams, 2010) ou de biomassa à base de microrganismos sendo de salientar as microalgas (Veillette, Chamoumi, Nikiema, Faucheux, & Heitz, 2012).

O tipo de biorrefinaria mais comum utiliza como matérias-primas as culturas ricas em açúcar como a cana-de-açúcar, a beterraba ou o sorgo sacarino que contêm elevada quantidade de sacarose que após extracção pode ser fermentada e originar bioetanol ou outros produtos químicos. A cana-de-açúcar torna-se uma matéria-prima revelante por questões económicas e ambientais mas no entanto apresenta exigências a nível do solo e do clima o que a restringem a determinados locais. As culturas ricas em amido, como o milho, o trigo e a mandioca, também são utilizadas e após hidrólise ocorre a fermentação do açúcar que dá origem a combustíveis, produtos químicos, ração animal e energia (King, Inderwildi, & Williams, 2010).

O óleo vegetal também é uma matéria-prima com destaque, podendo ser utilizado o óleo vegetal virgem proveniente da palma, soja, colza e sementes de girassol ou os resíduos de óleo vegetal que provêm do óleo de cozinha ou gordura animal sendo esta uma forma eficaz de valorizar este tipo de resíduos.

As matérias-primas de segunda geração, ou seja, a biomassa lenho-celulósica engloba os resíduos florestais, resíduos agrícolas, papel, resíduos municipais e culturas de miscanto e *switchgrass* (*Panicum virgatum*). Trata-se de uma matéria-prima que poderá ser utilizada para produção de biocombustíveis e produtos químicos recorrendo a diferentes tecnologias de conversão (King, Inderwildi, & Williams, 2010). A biorrefinaria torna-se a tecnologia ideal para explorar o valor químico do material lenho-celulósico através da quebra da matriz lenho-celulósica, obtendo-se assim moléculas mais pequenas que podem ser utilizadas ou convertidas a produtos químicos ou biocombustíveis (Hayes, 2008).

As microalgas são organismos unicelulares que se encontram em grande número e apresentam uma fonte de energia renovável. São uma potencial matéria-prima nas biorrefinarias (King, Inderwildi, & Williams, 2010).

6.1.1 As microalgas como matéria-prima

As microalgas têm despertado grande interesse na produção de biocombustíveis por a sua composição conter grandes quantidades de lípidos, proteínas e hidratos de carbono. Devido ao aumento da população torna-se necessário encontrar fontes sustentáveis de lípidos e proteínas pelo que actualmente as microalgas representam um importante foco como uma matéria-prima promessora nos sectores alimentar, químico e farmacêutico (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

As microalgas são microorganismos fotossintéticos, podendo ser procariontes ou eucariontes, têm um crescimento rápido e devido à sua estrutura unicelular ou multicelular simples têm capacidade para viverem em diversos ambientes com condições adversas, sendo tolerantes a água imprópria ao consumo humano (Mata, Martins, & Caetano, 2009),

não necessitam de solo arável e são ainda resistentes a solos estéreis ou ao mar (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

As microalgas reproduzem-se usando a fotossíntese onde convertem a energia solar em energia química. As microalgas crescem numa menor área comparativamente a algumas plantas para a produção do mesmo volume de biocombustíveis, são resistentes a uma vasta gama de temperaturas, pH e disponibilidade de nutrientes e a sua classificação é feita com base na respectiva pigmentação, ciclo de vida, morfologia e estrutura celular. Trata-se de uma matéria-prima que não compromete a produção alimentar, é considerada uma fonte de energia contínua e contribui para a mitigação do efeito de estufa dado que absorve o dióxido de carbono atmosférico (Delgado & Kafarov, 2011). As estimativas da sua produtividade por hectare apresenta valores muito superiores às culturas convencionais. Estima-se que as microalgas poderão ter produtividades entre 95 a 150 mil L/ha/ano de biodiesel quando comparado com os 5 a 6 mil L/ha/ano de bioetanol de beterraba sacarina (França) (Sheehan, Dunahay, Benemann, & Roessler, 1998) (Almodares, Hadi, & Kharazian, 2011).

Atualmente, o processo produtivo das microalgas traduz-se em custos de investimento, de manutenção e energéticos elevados. As microalgas são cultivadas num grande volume de água e para a sua colheita é necessária uma determinada concentração sendo por isso exigido grande consumo de energia durante todo o processo. Outra fase onde é necessário o uso intensivo de energia é ao quebrar a parede celular resistente que algumas espécies contêm. Assim, torna-se essencial o desenvolvimento deste tipo de matéria-prima mas com o mínimo uso possível de energia (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

Tal facto poderá acontecer ao realizar-se a exploração máxima de todo o potencial dos ingredientes das microalgas que poderão originar diversos produtos, aumentando assim o valor de mercado e minimizando os custos de produção (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

6.1.2 Constituição das microalgas

As microalgas são essencialmente compostas por lípidos e proteínas e ainda uma menor fracção de hidratos de carbono (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012). Os lípidos são essenciais à produção de biocombustíveis e às indústrias química, alimentar e saúde. As proteínas purificadas têm relevância no mercado de produtos químicos a granel, na indústria alimentar e a nível da saúde. Os hidratos de carbono são fundamentais na produção de etanol e de produtos químicos. Os lípidos representam cerca de 30 a 50% das microalgas, em peso, e são acumulados em várias condições de cultura como um meio de elevada razão C/N ou num meio com condições de stress. Os lípidos desta biomassa podem ser classificados de acordo com o número de carbonos, sendo os ácidos gordos com 14 a 20

carbonos utilizados na produção de biodiesel onde é importante ter em consideração a percentagem de lípidos por peso seco de biomassa (teor de lípidos) e a produtividade de lípidos (quantidade de lípidos produzida por litro de volume de trabalho por dia). Os ácidos gordos poliinsaturados com mais de 20 carbonos apresentam elevado potencial para a utilização na indústria de alimentos saudáveis (Yen, Hu, Chen, Ho, Lee, & Chang, 2012).

Os hidratos de carbono são dos nutrientes energéticos e biológicos mais importantes e as microalgas têm uma elevada capacidade para acumular estes nutrientes, podendo ser superior a 50% do seu peso seco. Os hidratos de carbono são constituídos por amido e glucose (que são utilizados para a produção de biocombustíveis, nomeadamente o bioetanol e o hidrogénio) e também por celulose/hemicelulose e alguns tipos de polissacarídeos. Os polissacarídeos caracterizam-se como fontes de moléculas biologicamente activas que têm capacidade de agir como agentes terapêuticos naturais e têm aplicações em aditivos comestíveis, alimentos, têxteis, estabilizantes, emulsionantes, lubrificantes, agentes espessantes e remédios clínicos. Os polissacarídeos de algas contêm ésteres de sulfato e têm despertado grande interesse na investigação médica por terem capacidade para actuarem como antioxidantes, anti-tumor, anticoagulantes, agentes anti-inflamatórios, anti-viral e imunomoduladores. (Yen, Hu, Chen, Ho, Lee, & Chang, 2012)

6.1.3 Cultura de microalgas – Lagoas e fotobiorreactores

A produção em larga escala de microalgas é normalmente efectuada com energia solar (metabolismo fotoautotrófico) (Veillette, Chamoumi, Nikiema, Faucheux, & Heitz, 2012) e em lagoas ou em fotobiorreactores tubulares (Chisti, 2007). As lagoas e os fotobiorreactores são considerados sistemas onde existe uma conversão biológica, ou seja, onde células de algas ou de plantas são cultivadas para produzir uma reacção fotobiológica (Mata, Martins, & Caetano, 2009).

As lagoas (Figura 16) são canais de recirculação em circuito fechado que apresentam normalmente uma profundidade de 0,3 metros e são construídos em betão ou em terra compactada, podendo apresentarem-se revestidas com plástico branco. Nestas lagoas a circulação é produzida por uma roda de pás e o fluxo é controlado em torno das curvas dos canais por deflectores. A roda de pás está em movimento contínuo de forma a evitar a sedimentação da biomassa e a frente da roda de pás tem como função alimentar a cultura durante o dia enquanto a parte de trás da roda de pás colhe o caldo depois de concluir o circuito de circulação (Figura 16) (Chisti, 2007).

As lagoas apresentam a desvantagem de estarem abertas pelo que a produtividade das microalgas pode ser contaminada (por protozoários ou bactérias) e afectada pela evaporação (Veillette, Chamoumi, Nikiema, Faucheux, & Heitz, 2012).

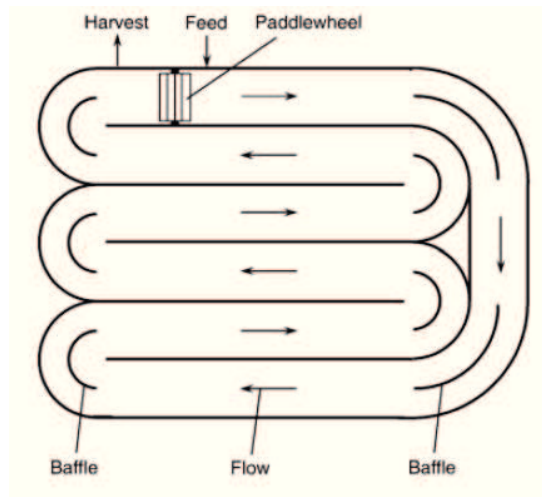
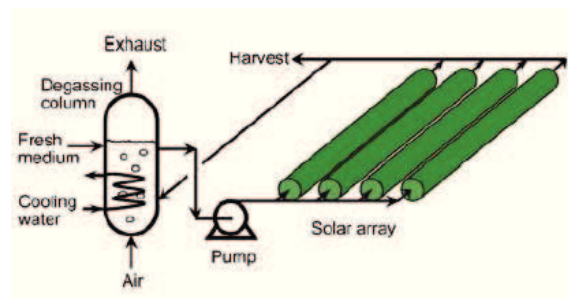


Figura 16: Vista de cima de uma lagoa

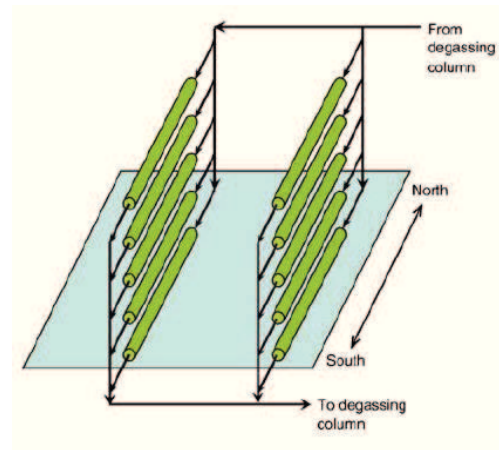
(Chisti, 2007).

Os fotobiorreactores são unidades de cultivo contínuo com água doce ou do mar e mesmo apresentando uma maior eficiência de colheita de microalgas e um melhor controlo dos parâmetros de cultura (tais como a temperatura, pH e concentração de CO₂), os respectivos custos de capital são muito superiores aos custos necessários para as lagoas (Veillette, Chamoumi, Nikiema, Faucheux, & Heitz, 2012).

Os fotobiorreactores tubulares são constituídos por uma matriz de tubos transparentes que são construídos em vidro ou em plástico e é neles que incide a luz solar. Estes tubos apresentam um diâmetro limitado sendo normalmente de 0,1 metros devido à dificuldade da luz solar atravessar a cultura densa. São colocados de forma paralela uns com os outros (Figura 17.a) e por vezes podem até ser colocados como uma vedação (Figura 17.b) com o objectivo de maximizar a área. A circulação da cultura de microalgas é em modo contínuo sendo realizada a partir de um reservatório para o colector solar e de volta para o reservatório (Chisti, 2007).



a)



b)

Figura 17: Fotobiorreatores tubulares: a) tubos horizontais paralelos, b) tubos colocados em forma de cerca.

(Chisti, 2007).

6.1.4 Factores que influenciam a cultura de microalgas

Segundo Mata *et al.* (2009) o crescimento de microalgas pode ser influenciado por alguns factores abióticos onde se salientam a luz, temperatura, concentração de nutrientes, oxigénio, dióxido de carbono, pH, salinidade e produtos tóxicos. Os factores bióticos também apresentam influência no crescimento de microalgas e pode-se enumerar os agentes patogénicos, a concorrência por parte de outras culturas de algas, a taxa de diluição, a profundidade, a frequência de colheita e a adição de bicarbonato de sódio (Mata, Martins, & Caetano, 2009).

A luz é o factor mais determinante no crescimento desta biomassa, sendo seguido da temperatura, tanto em sistemas exteriores abertos como fechados. Na produção exterior de microalgas, estas podem tolerar até 15°C abaixo a respectiva temperatura óptima mas uma subida de 2 a 4°C pode ser suficiente para perder a totalidade da cultura. Os sistemas exteriores fechados estão sujeitos ao sobreaquecimento em dias de intenso calor, podendo a temperatura no interior do reactor atingir os 55°C, pelo que se torna necessário recorrer a sistemas de arrefecimento de água através da evaporação, diminuindo assim a temperatura para 20 a 26°C (Mata, Martins, & Caetano, 2009).

6.2 BIORREFINARIAS E MICROALGAS

É ainda necessário desenvolver e explorar técnicas na biorrefinaria que tenham menos custos e apresentem um baixo valor no consumo energético para separar as diferentes fracções das microalgas. O processo produtivo na biorrefinaria inicia-se com o rompimento

celular das microalgas para libertar os produtos ou para os tornar disponíveis para posterior extracção. Após esta libertação são aplicadas diferentes técnicas de extracção e separação, que devem ser adaptadas às diferentes espécies, para o processo de purificação (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

As células das microalgas podem possuir diferentes organelas e cada uma destas contém componentes específicos. É recomendável que inicialmente se quebrem as células para libertar os lípidos, as proteínas e os hidratos de carbono a partir do citoplasma e posteriormente procede-se à divisão dos diferentes compartimentos celulares maiores para se colher os compostos específicos (Vanthoor-Koopmans, Wijffels, Barbosa, & Eppink, 2012).

6.2.1 Os processos tecnológicos nas biorrefinarias

O processamento da biomassa inicia-se com a fase de pré-tratamento onde ocorre a fragmentação da biomassa. O pré-tratamento pode ser físico com as tecnologias *redução de tamanho (size-reduction)*, *explosão a vapor* ou *água quente* ou pode ser efectuado pré-tratamento químico por *via ácida, alcalina* ou *por outros solventes* (Hayes, 2008).

Após o pré-tratamento as biorrefinarias podem operar por mecanismos hidrolíticos onde se aplica a hidrólise ácida ou a hidrólise enzimática ou podem funcionar por mecanismos termoquímicos (Hayes, 2008). A conversão termoquímica engloba a gaseificação, a pirólise ou a liquefação e são estas sub-categorias juntamente com a fermentação que distinguem as principais biorrefinarias – biorrefinaria baseada na gaseificação, biorrefinaria baseada na pirólise, biorrefinaria baseada na liquefação e biorrefinaria baseada na fermentação (Demirbas A. , Biorefineries: Current activities and future developments, 2009).

A biorrefinaria baseada na gaseificação apresenta uma grande variedade produtiva de materiais onde o processo de gaseificação pode originar eletricidade e calor, combustíveis gasosos e líquidos, produtos químicos (solventes e ácidos) e outros produtos como hidrogénio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, acetileno, etileno, benzeno, tolueno, xileno, “alcatrão” leve, “alcatrão” pesado, amónia e água (Figura 18) (Demirbas A. , Biorefineries: Current activities and future developments, 2009).

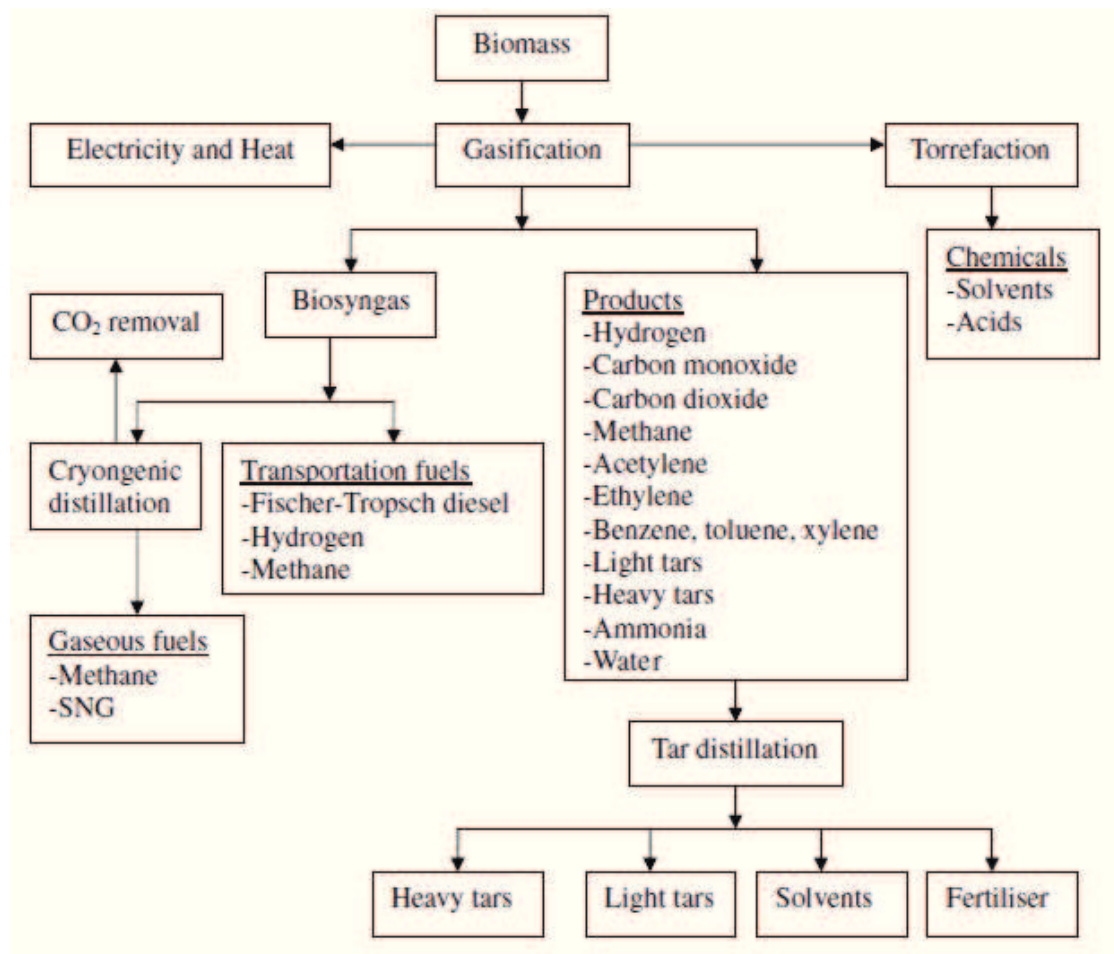


Figura 18: Produtos resultantes da Biorrefinaria baseada na gaseificação.

(Demirbas, 2009).

O processo de gaseificação ocorre a elevadas temperaturas, entre os 700 e 900°C (Taylor, 2009) e com um baixo nível de oxigénio (Demirbas M. F., 2009) originando um gás de síntese (*syngas*) que é constituído principalmente por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogénio e água (Taylor, 2009), sendo esta composição dependente do próprio processo e da composição da matéria-prima (Demirbas M. F., 2009). Também são produzidos durante o processo de gaseificação alguns sub-produtos tais como o carbonato de sódio, alcatrão, metano e alguns hidrocarbonetos (Taylor, 2009).

A gaseificação inicia-se com a entrada de biomassa num recipiente de medição através do qual é transportado com vapor ou com gás de síntese reciclado na ausência de oxigénio no gaseificador. Posteriormente a biomassa é modificada em gás de síntese quente que contém a fracção inorgânica da biomassa (cinzas) e ainda uma porção de carbono não modificado. Esta modificação dá-se através de calor que é recuperado do calor do gás de síntese. Posteriormente o gás de síntese é filtrado e são removidas impurezas secas (Demirbas A. , *Biorefineries: Current activities and future developments*, 2009).

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

7. As bioenergias em Portugal

As bioenergias em Portugal não são uma novidade, apenas se encontram pouco divulgadas e em algumas situações a legislação não é suficiente para a obrigatoriedade de produção/utilização das mesmas.

7.1 Biodiesel

- **Incentivo à produção de biodiesel**

O Decreto-Lei n.º 62/2006 de 21 de março transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2003/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio, que tinha como objetivo “a colocação no mercado de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis, em substituição dos combustíveis fósseis” (Decreto Lei n.º 62, 2006). Esta diretiva foi revogada pela Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de abril que surgiu em prol do desenvolvimento sustentável com o objetivo de promover a energia proveniente das fontes renováveis (Directiva 2009/28/CE, 2009). Esta Diretiva foi transposta parcialmente pelo Decreto-Lei n.º 117/2010, de 25 de outubro que “estabelece os critérios de sustentabilidade de produção e utilização de biocombustíveis nos transportes” e “define os limites de incorporação obrigatória de biocombustíveis para os anos de 2011 a 2020” (Decreto-Lei n.º 117, 2010).

Também em 2006, surgiu o Decreto-Lei n.º 66/2006, de 22 de Março, que estabeleceu a criação de um incentivo fiscal relativo à produção de biocombustíveis uma vez que os respetivos custos eram mais elevados do que os referentes aos combustíveis convencionais (gasolina e gasóleo). Assim, para promover o mercado dos biocombustíveis foi reduzida a carga fiscal incidente nos biocombustíveis e em particular no imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos, ISP, (Decreto-Lei n.º 66, 2006). Em 2011, de acordo com o Orçamento de Estado para 2011 e a Portaria n.º320-E/2011, apenas os pequenos produtores dedicados podem usufruir de isenções de Imposto sobre os Produtos Petrolíferos e Energéticos (Portaria n.º320-E, 2011), deixando os grandes produtores de fora da isenção de ISP.

O Decreto-Lei n.º 62/2006 de 21 de março é aplicável “aos produtores de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis, às entidades responsáveis pela sua introdução no consumo e aos retalhistas de combustíveis”. Este Diploma permite ainda que sejam celebrados acordos para a utilização de biodiesel em frotas de transportes públicos com a condição de ser contemplada “percentagem de incorporação de biocombustíveis nos carburantes fósseis superior a 10%”.

É ainda criada a categoria dos pequenos produtores dedicados que são considerados os que tenham uma “produção máxima anual de 3000 t de biocombustível” e que tenham “a sua produção com origem no aproveitamento de matérias residuais”. Esta categoria não inclui entidades públicas (sujeitas ao pagamento do Imposto Sobre os Produtos Petrolíferos e Energéticos) (Decreto Lei n.º 62, 2006), pelo que neste sentido surgiu o Decreto-Lei n.º 206/2008, de 23 de outubro, que alarga o âmbito da referida categoria (Decreto-Lei n.º 206, 2008). Assim, “a autarquia local, o serviço ou organismo dependente de uma autarquia local, e a empresa do sector empresarial local (...)” passam a pertencer à categoria dos pequenos produtores dedicados. Este facto passa a ser um incentivo para a produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados por parte destas entidades, desde que a produção seja colocada “em própria frota ou, a título não oneroso, em frotas de autarquias locais ou dos respetivos serviços, organismos ou empresas do sector empresarial local, ou, ainda, de entidades sem finalidades lucrativas” (Decreto-Lei n.º 206, 2008).

Os pequenos produtores dedicados passam a ser reconhecidos também por terem “um aproveitamento de resíduos ou detritos igual ou superior a 60%, em massa, da matéria-prima consumida na instalação para a produção de biocombustíveis na instalação para projetos de aproveitamento de resíduos ou detritos”, beneficiando da isenção do Imposto sobre os Produtos Petrolíferos e Energéticos (Decreto-Lei n.º 117, 2010).

- **Comercialização de biodiesel em Portugal**

A Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis, APPB, tem como objetivos promover e divulgar a utilização do biodiesel. Esta associação foi fundada pelos principais produtores de biodiesel a nível nacional: Iberol; Fábrica Torrejana, Prio (Grupo Martifer); Biovegetal (Grupo SGC) e Sovena (Grupo Nutrinveste). Estes produtores apresentam um total de capacidade instalada de 545 000 toneladas/ano, sendo a Iberol e a Biovegetal a apresentarem maior capacidade com 125 000 ton/ano cada, seguidas da Torrejana e da Prio com 100 000 ton/ano cada e por fim a Sovena com uma capacidade de 95 000 ton/ano (APPB, 2013).

No entanto verifica-se que a produção anual é apenas de 390 mil toneladas (Maia, 2013), sendo que a Iberol tem com clientes a GalpEnergia, a CEPSA, a REPSOL e a BP (Melo, 2011), a

Fábrica Torrejana tem como principal cliente a Galp (Garrido, 2007) e a Prio tem uma rede de postos de abastecimento.

Atualmente todo o gasóleo convencional que é comercializado em Portugal contém 7% em volume de biodiesel, ou seja, ao abastecer-se em qualquer posto de abastecimento de combustível no Território Nacional Português, está abastecer-se com uma mistura de B₇ (PrioEnergy, 2011).

De forma a comprovar a incorporação no mercado de biocombustíveis foi criado o sistema de emissão de títulos de biocombustíveis (TdB) que são válidos por dois anos e transacionáveis por produtores de biocombustíveis e incorporadores (Decreto-Lei n.º 117, 2010). O Decreto-Lei n.º 224/2012, de 16 de outubro, prorrogou o prazo de emissão destes títulos até 1 de julho de 2014 devido à falta de aprovação do Regulamento de Funcionamento da Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade e pelo facto de o preço do gasóleo poder sofrer um elevado aumento devido a esta obrigação (Decreto-Lei n.º 224, 2012). Com esta prorrogação, foram atribuídos quotas de reserva de emissão de títulos (TdB-D) aos cinco principais produtores de biodiesel e ainda aos operadores Bioportdiesel, SA e Valourdiesel – Produção e Comercialização de biocombustíveis SA (DGEG, Produtores de biocombustíveis, 2013).

Reconhecidos como Pequenos Produtores Dedicados de Biocombustíveis estão (DGEG, Produtores de biocombustíveis, 2013): Dieselbase, Lda; Bio valouro, Lda; Space, Lda; Norgen, Lda; Multirecolha, Lda; Avibom, Lda; Hardlevel, Lda; Sociopole, Lda; LinhaFusão, Unipessoal, Lda; Ares Lusitani, Lda; Ecocomb, Lda; USV, Lda; Enercais, Lda; Paisagem a Óleo, Lda e Biosarg, Lda.

Para o ano de 2010 foram ainda reconhecidos novos Pequenos Produtores Dedicados de Biocombustíveis dado que ainda havia capacidade para se libertar cerca de 17 000 toneladas da quota de isenção, uma vez que a quota global de isenção total de ISP para Pequenos Produtores Dedicados de Biocombustíveis foi de 40 000 toneladas por ano e no entanto nos anos de 2007 e 2008 as quantidades introduzidas no consumo foram de 1125 e 3584 respetivamente, pelo que para 2009 esperava-se uma produção ainda inferior às registadas nos anos anteriores. Assim, ficaram ainda reconhecidos (DGEG, Produtores de biocombustíveis, 2013): Leveforma, Lda; Bioprincipio, Lda; EGI – Energie Generation Industri, Lda; Biocanter, Lda; Biomove, Lda; BIB – Bioenergias Ibéricas, SA; Bioeste, Lda; Future Fuels, Lda; Enviroria, SA; Bio T – Biocombustíveis da Terra, Lda; Brevodisseia, Lda; Pédecão Construções, Lda e Praia Ambiente, EM.

No início de 2013 a APPB lançou uma campanha publicitária com o objetivo de incentivar a produção de matéria-prima nacional, nomeadamente soja e colza, para a produção de biodiesel. Atualmente em Portugal o biodiesel é produzido a partir de soja e colza, o que leva a uma importação anual de 350 milhões de euros de soja e colza para produzir em Portugal o biodiesel. Esta importação poderia ser evitada caso fosse realizada a plantação de

soja e colza em território português permitindo a dinamização da agricultura nacional e do comércio agrícola dando utilização a solos em pousio e combatendo o desemprego e a desertificação. Desta forma a importação de matéria-prima deixaria de ser necessária permitindo assim aumentar a riqueza nacional (APPB, 2013) e (Maia, 2013).

A 27 de maio de 2013 surgiu o Regulamento (EU) n.º 490/2013 da Comissão que “institui um direito *anti-dumping* provisório sobre as importações de biodiesel originário da Argentina e da Indonésia”. Entende-se que um produto é objeto de *dumping* quando “o seu preço de exportação para a União Europeia é inferior ao preço comparável de um produto similar, no decurso de operações comerciais normais, estabelecido para o país de exportação”, sendo o país de exportação considerado o país de origem e um produto similar “um produto idêntico, análogo em todos os aspetos ao produto considerado”. Este Regulamento refere se as importações dos países referidos foram objeto de *dumping*, originando assim prejuízo à indústria da União Europeia. Verificou-se então que durante o período 1 de julho de 2011 e 30 de junho de 2012 entre 2% e 6% das importações na União Europeia originárias da Indonésia não foram sob o efeito de *dumping* mas o restante volume de importações da Indonésia e todas as importações vindas da Argentina foram realizadas a preços de *dumping*. Este Regulamento torna-se importante na medida em que é necessário instituir medidas que impeçam as importações objeto de *dumping*, uma vez que uma situação destas conduz a um prejuízo na situação financeira da indústria da União Europeia (Regulamento (CE) n.º 1225/2009 do Conselho, 2009) e (Regulamento (UE) N.º 490/2013 da Comissão, 2013).

Pela página da Direção Geral de Energia e Geologia o B10 encontra-se disponível em vários postos de abastecimento em Portugal Continental (Tabela 3). À data de outubro de 2013, o mais barato no distrito de Leiria era comercializado pelo posto *Oleofat Outeiro de Galegas*, no concelho de Pombal, com o preço 1,419€. O B15 apenas se encontra disponível num posto (Tabela 4) e com o preço 1,384€ enquanto o B20 não se encontra à venda atualmente, segundo a DGEG.

Tabela 3: Postos de abastecimento de combustível com B10 (em outubro de 2013).

(DGEG, 2013)

	Nome do Posto	Tipo de Posto	Município	Preço	Marca	Combustível	Atualizado
+	PAGRIPACENSE	Outro	Paços de Ferreira	1.395€	Genérico	Biodiesel B10	2013-01-15 07:00
+	FAMILIA ELECTRO MOVEIS LDA	Área comercial	Oleiros	1.399€	PRIIO	Biodiesel B10	2013-10-03 23:00
+	Oleofat Monforte da Beira	Área comercial	Castelo Branco	1.409€	OLEOFAT	Biodiesel B10	2013-06-24 17:26
+	Oleofat Outeiro de Galegas	Outro	Pombal	1.419€	OLEOFAT	Biodiesel B10	2013-10-07 15:06
+	Oleofat Pinhal Fanheiro	Outro	Alcobaça	1.419€	OLEOFAT	Biodiesel B10	2013-10-07 15:06
+	Oleofat Carvoeiro	Área comercial	Mação	1.419€	OLEOFAT	Biodiesel B10	2013-10-07 15:10
+	Oleofat Soure	Outro	Soure	1.419€	OLEOFAT	Biodiesel B10	2013-10-07 15:12

Tabela 4: Postos de abastecimento de combustível com B15 (em outubro de 2013).

(DGEG, 2013)

	Nome do Posto	Tipo de Posto	Município	Preço	Marca	Combustível	Atualizado
📍	PRIO CANTARIAS	Outro	Bragança	1.384€	PRIO	Biodiesel B15	2013-09-23 23:00

Na mesma data em que os preços do B10 e B15 foram pesquisados, o preço mais económico de gasóleo no distrito de Leiria encontrava-se a €1,279. Nesta mesma data, no distrito de Leiria o posto de abastecimento *Oleofat Outeiro de Galegas*, com o preço de B10 mais baixo (€1,419), tinha o gasóleo a €1,419, ou seja, o mesmo preço do B10 (DGEG, 2013). Em alguns casos de B10, a compra deste fica igual ou superior à compra do gasóleo.

7.2 Bioetanol

Atualmente ainda não existem unidades de produção nacional para comercialização, no entanto é de salientar alguns projetos que tentam dinamizar este biocombustível líquido, por exemplo o projeto de produção de bioetanol a partir de alfarroba, por parte da Universidade do Algarve (Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo, 2012). Em 2007, estava em estudo o projeto da Global Green (EU) SA, previsto para a região de Idanha-a-Nova. Este projeto consistia numa biorrefinaria alimentada por sorgo sacarino, cana-de-açúcar e outras matérias-primas, onde o sorgo sacarino seria a matéria-prima com maior destaque dada a sua fácil propagação e a baixa necessidade de consumo de água (Monteiro J. S., 2007).

Também em Idanha-a-Nova, foi iniciada em 2012, por parte do indiano Dilipcumar Dulobdas (empresário, responsável pela empresa AADITYA) a construção de uma unidade de transformação de sorgo sacarino e cereal em álcool e de transformação de biomassa para cogeração, prevendo-se a sua conclusão no prazo de 15 meses (Semanário SOL, 2011).

Segundo José Sarreira Tomás Monteiro, a produção de sorgo sacarino na região da Beira Interior em Portugal é viável tendo em conta que esta cultura adapta-se bem às condições de solo e clima da região referida. Verificou-se que a produção de sorgo sacarino pode chegar às 93 toneladas/hectare dando origem a uma produção de bioetanol de cerca de 5100 litros/hectare. O impedimento de avançar nesta área centra-se na falta de investimento numa unidade de transformação/aproveitamento do sorgo sacarino numa escala industrial que permitiria benefícios para a população da região, bem como para o país.

A beterraba sacarina é também uma das matérias-primas para produção de bioetanol e tendo em conta que necessita de países que tenham um clima temperado (Lourenço, Januário, Massa, & Palma, 2007) poderia ser uma potencial matéria-prima para cultivar em

Portugal Continental, dado que o país é composto por duas regiões de clima temperado, uma região de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente e outra região de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2013). A beterraba sacarina também tem alta tolerância a variações climáticas e uma baixa exigência de água e de fertilizantes, o que poderia ser favorável por Portugal Continental estar sujeito a situações de seca frequentemente (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2013) e (Calhaz, 2013). Prevê-se que em 2015 Portugal volte a ser um dos maiores produtores de beterraba a nível europeu como no ano 2006, sendo que atualmente o título de maiores produtores europeus pertence a França e Alemanha (Calhaz, 2013).

Um investimento na produção deste biocombustível em Portugal poderia ser economicamente sustentável, melhorando a segurança energética nacional, permitindo o desenvolvimento socioeconómico em zonas rurais e a evolução do sector agrícola. Seria para isso necessário que existissem incentivos e legislação que aplicasse a obrigatoriedade de incorporação de bioetanol na gasolina (Avillez, Jorge, Montes, Brandão, & Campilho, 2009), havendo no entanto a possibilidade de aumentar a incorporação de bioetanol na gasolina para 5% em teor energético e “uma meta específica de 2,5%, em teor energético, para a incorporação de biocombustíveis substitutos da gasolina” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20, 2013).

7.3 Biogás

As principais fontes de produção de biogás em Portugal são o sector de Resíduos Sólidos Urbanos (Centrais de Valorização Orgânica (CVO) e aterros sanitários) e o sector da agricultura e pecuária. Entre os anos 2002 e 2009, esta fonte de energia apresentou um crescimento médio de instalação de 53,4% tendo sido a valorização a partir de aterros sanitários a ostentar um maior contributo comparativamente com a valorização de matéria orgânica (Centrais de Valorização Orgânica) (Ferreira, Marques, & Malico, 2012).

É de salientar algumas das unidades relativas ao sector de RSU como (Portal das Energias Renováveis, 2013):

- Central de Tratamento de RSU de São João da Talha (Valorsul),
- Lipor II (Maia),
- ETRSEU - Meia Serra (Madeira, GRM),
- Sistema de Aproveitamento Energético de Biogás de Palmela,
- Aterro de Trajouce (Tratolixo),
- Aterro Sanitário de Mato da cruz (Vila Franca de Xira, Valorsul),
- Aterro Sanitário de Leiria (Valorlis),

- Central Aproveitamento Biogás/Aterro Sanitário de Sermonde (Vila Nova de Gaia, Suldouro),
- Centro de Tratamento de RSU Planalto Beirão (Associação de Municípios do Planalto Beirão),
- Central de Valorização Energética Biogás/Aterro Sanitário Penafiel (Ambisousa),
- Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado (Viana do Castelo, Resulima),
- ERSUC de Coimbra (Resíduos Sólidos Urbanos do Centro SA),
- Aterro Sanitário do Barvalento (Faro, ALGAR – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos SA),
- Centro Integrado de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos do Seixal (AMARSUL).

Relativamente ao sector das Estações de Tratamento de Águas Residuais pode-se apresentar (Portal das Energias Renováveis, 2013):

- ETAR S1 Colares (Sintra, SMAS - Sintra),
- Valorização do Biogás em Cogeração da ETAR de Abrantes (Câmara Municipal de Abrantes),
- ETAR de Coimbra (Luságua – Gestão de Águas SA),
- ETAR de Olhalvas (Leiria, SIMLIS),
- ETAR de Beirolas (Loures, EMARLIS – Empresa Municipal de Águas Residuais de Lisboa EM),
- ETAR de Frielas (Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Loures) e
- ETAR de Parada (Maia, Serviços Municipalizados de Eletricidade, Água e Saneamento da Maia).

No sector agricultura/pecuária destacam-se (Portal das Energias Renováveis, 2013):

- Agraçor (São Miguel, Açores),
- Sociedade Pecuária da Torrinha Lda. (SOPET) (Sertã),
- AGROPE – Empresa Agropecuária da Várzea d Góis Lda. (Góis),
- Cruz Valente Lda. (Guarda),
- SOPECUÁRIA – Sociedade Exploradora de Pecuária Lda.,
- ACA – A Central Abastecedora de Produtos Avícolas Lda. (Cartaxo),
- Sociedade Agropecuária Hermínio Minderico (Golegã),
- Estação Coletiva de Tratamento de efluentes Suinícolas de Alcobertas (Rio Maior, ADSAICA – Associação de desenvolvimento de Serra d’Aire e Candeeiros) e
- Bernardino de Almeida costa & Filhos SA (São Pedro do Sul, Viseu).

Espera-se que com a aplicação de incentivos respeitantes às várias fontes de biogás e com a construção de novas unidades de Tratamento de RSU’s e de ETAR’s, este tipo de bioenergia

ganhe ainda mais destaque nas áreas do ambiente e da energia (Portal das Energias Renováveis, 2013).

7.4 Hidrogénio

Em Portugal surgiu em 1923 a Sociedade Portuguesa do Ar Líquido, filial da multinacional Air Liquide que comercializa oxigénio e outros gases industriais como o hidrogénio (Air Liquide Portugal, 2013). A produção de hidrogénio contempla a geração do gás até à sua purificação e adaptação aos requisitos finais de utilização. O hidrogénio é produzido através do processo químico de reformação de moléculas de hidrocarbonetos com vapor ou através da gaseificação de resíduos pesados de hidrocarbonetos (Air Liquide, 2013). A nível de serviços, esta organização apresenta oferta tecnológica a nível de pilhas de combustível, armazenamento a alta pressão e estações de serviço e pretende também implementar uma cadeia de fornecimento de hidrogénio (Air Liquide, 2013).

É de salientar os projetos de investigação do Instituto Politécnico de Portalegre, como é o caso da construção de um eletrolisador a partir de soluções alcalinas para “produzir hidrogénio com grande pureza e que seja bastante eficiente em termos energéticos” e da “construção de uma unidade de gaseificação térmica de biomassa sólida”. Através de resíduos florestais e de resíduos agroindustriais (constituídos por compostos orgânicos de carbono, hidrogénio e oxigénio) é possível através do gaseificador e por ação térmica, quebrar as ligações em compostos mais simples e “produzir um gás rico em metano, monóxido de carbono e hidrogénio” (Alves, 2013) e (Alves, Investigadores do Politécnico de Portalegre estudam sistema inovador de produção de hidrogénio, 2013)

7.5 Biomassa sólida

A combustão de biomassa para produção de calor a nível doméstico sempre teve grande destaque mas esta matéria-prima também é bastante utilizada em centrais termoelétricas para produção de eletricidade (Rosillo-Calle, Groot, Hemstock, & Woods, 2007). A primeira central termoelétrica a biomassa em Portugal surgiu em Vila Velha de Ródão, em 1997, e é explorada pela *Centroliva, S. A.*, utilizando como matéria-prima resíduos florestais, casca de pinheiro, serradura e bagaço de azeitona (Centroliva) e tem uma capacidade de 6 MW (Santos P. P., 2013). Em 1999 foi inaugurada a central termoelétrica de Mortágua, projeto este desenvolvido pela EDP (Eletricidade de Portugal) em consórcio com o Centro da Biomassa para a Energia (CBE). Esta central utiliza como matéria-prima a biomassa florestal primária proveniente das florestas de eucalipto que se encontram em zonas próximas (Enersilva, 2007) e tem uma capacidade de 9 MW (Portal das Energias Renováveis, 2013).

Em 2006, foi lançado um concurso para a construção de 15 novas centrais termoelétricas a biomassa (Enersilva, 2007), em que duas já não foram concretizadas, algumas já estão em funcionamento e as restantes encontram-se em projeto/construção (Santos P. P., A biomassa como fonte energética – uma realidade?, 2010). Surgiu na Sertã a central *Palser – Bioenergia e Paletes, Lda.* que utiliza como matéria-prima resíduos florestais e subprodutos que resultam da atividade da indústria, a fabricação de paletes (Palser - Bioenergia e Paletes, 2013), tendo uma capacidade de produção de 4MW (Santos P. P., 2013). O grupo TAVFER inaugurou também uma central em Belmonte, em 2010, com capacidade para produzir mais de 2 MW e utiliza como matéria-prima resíduos florestais produzidos nas zonas de Belmonte, Covilhã, Guarda, Sabugal e Penamacor (Martins, 2010). Em Oliveira de Azeméis surgiu a Central Termoelétrica de Biomassa de Terras de Santa Maria com capacidade de 10 MW (Santos P. P., 2013), que recebe biomassa de origem florestal por parte de fornecedores das zonas de Oliveira de azeméis, Arouca, Vale de Cambra e Santa Maria da Feira (Nunes, 2013).

O Grupo *Portucel Soporcel* produz também energia elétrica a partir de biomassa em Centrais de Cogeração que combinam a energia elétrica e térmica que se torna mais eficiente relativamente à produção exclusiva de energia elétrica convencional. O Grupo tem as centrais termoelétricas a biomassa nas fábricas de Cacia, de Setúbal e Figueira da Foz. Uma parceria entre o Grupo EDP e a Altri, através da EDP Bioelétrica, projetaram outras Centrais como é o caso de Cabeceiras de Basto (10,2 MW), Gondomar (13,5 MW), Oleiros (9,3 MW), Monchique (14,6 MW) e Constância (12,1 MW) (EDP & Altri, 2007). Estas centrais favorecem a criação de emprego, contribuem para a diminuição da dependência externa de combustíveis fósseis e contribuem para o cumprimento das metas ambientais/energéticas a nível nacional (EDP & Altri, 2007).

Portugal tem cerca de 38% do seu território coberto por floresta, sendo essencialmente pinhal e resinosa, montados, soutos, carvalhais e eucalipto, sendo que uma parte da floresta nacional encontra-se ao abandono o que dificulta a quantificação de todo o potencial energético por parte da biomassa florestal. Apesar da elevada quantidade desta matéria-prima a nível nacional, o respetivo aproveitamento não está a ser usufruído (Portal das Energias Renováveis, 2013), facto este que poderá ser alterado com medidas de promoção da produção e utilização de biomassa florestal (Resolução do Conselho de Ministros n.º 29, 2010).

7.6 Microalgas

No âmbito das microalgas, existe em Portugal a Algafuel, SA, que se baseia no desenvolvimento de projetos que utilizam as microalgas como elementos sequestradores de CO₂ e de produção de biomassa como matéria-prima para a produção de biodiesel (AlgaFuel, 2011). A Algafuel em parceria com a SECIL desenvolveram na Fábrica de cimento Cibra-

Pataias (em Alcobaça) um projeto de captação de CO₂ e produção de biomassa através da produção industrial de microalgas.

As algas utilizadas neste projeto são mantidas em laboratório com luz artificial de modo que se reproduzam exponencialmente e depois são colocadas nos fotobiorreactores que são constituídos por uma série de tubagens transparentes, com várias centenas de metros. Estes contêm água doce tratada e com uma composição química controlada, estando com orientação para o sul de forma que as microalgas recebam o máximo de luminosidade. O CO₂ proveniente das emissões da fábrica encontra-se armazenado em depósitos que se encontram associados aos fotobiorreactores e é injetado de forma a ser capturado pelas microalgas. É utilizado um sistema de ventilação para movimentação das microalgas de modo que se mantenham em suspensão evitando assim a estagnação nas tubagens e são também utilizadas micropartículas circulantes para efectuar a limpeza dos canos.

O oxigénio resultante do processo é libertado para a atmosfera e por cada três toneladas de CO₂ absorvido é realizada a produção de 1 tonelada de biomassa. Esta é centrifugada ou seca podendo ser posteriormente utilizada para alimentação, estética, biocombustíveis, entre outras finalidades (Santos, Augusto, Raposo, Amado, Carreira, & Calado, 2012).

Este projeto com uma instalação protótipo de produção de microalgas e com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ para a atmosfera, foi distinguido com o Prémio EEP – Environmental Innovation for Europe 2009, pelo bom desempenho ambiental (SECIL, 2009).

8. Divulgação das Bioenergias em Portugal

O projeto encontra-se dividido em duas partes sendo a primeira correspondente a pesquisa relativa ao tema Bioenergia e uma segunda parte respeitante à divulgação junto de público-alvo de faixa etária jovem que é facilmente uma chave para posterior propagação da informação.

8.1 Metodologia

Para encontrar toda a informação necessária para a divulgação junto do público-alvo, efetuou-se uma intensa pesquisa de modo a fazer um levantamento das várias bioenergias e das respetivas matérias-primas, métodos de produção disponíveis e algumas particularidades. A pesquisa também englobou informação relativa às bioenergias em Portugal de forma a tomar-se conhecimento da realidade nesta vertente a nível nacional. Efetuou-se também um levantamento de algumas curiosidades, mitos e questões relevantes na área das várias bioenergias que poderão funcionar como uma ferramenta interessante para o público-alvo na medida em que terá o potencial de despertar o interesse nesta área.

Com base na informação recolhida elaboraram-se algumas propostas de divulgação:

- **A. Produção de biodiesel, bioetanol e hidrogénio:** esta divulgação será realizada num formato de Workshop com o objetivo de mostrar a produção destas bioenergias em escala laboratorial, sendo para isso necessário material de laboratório bem como as matérias-primas;
- **B. Jogo de tabuleiro:** com o objetivo de incutir a curiosidade em pesquisar as várias particularidades de cada bioenergia, sendo essa pesquisa realizada em livros disponibilizados no momento. Esses jogos consistiriam num jogo de correspondência com cartas, onde a correspondência teria de ser realizada entre as várias bioenergias e respetivas particularidades (Anexo 2) e num jogo de tabuleiro, do tipo *Trivial Pursuit*, em que as várias bioenergias teriam cada uma, uma respetiva cor e o objetivo seria ser o primeiro jogador/equipa a completar uma resposta certa de cada bioenergia;

- **C. Atividade “Produz uma bioenergia”:** o público-alvo teria à disposição protocolos e material/matérias-primas necessárias para produzir biodiesel ou bioetanol num laboratório com ajuda de um docente. O objetivo não seria terminar a atividade em menor tempo possível mas sim desenvolvê-la de forma correta seguindo todos os passos explícitos no protocolo bem como responder às questões colocadas no mesmo;
- **D. Dia aberto da ESTG:** realização de atividades experimentais alusivas às bioenergias e uma breve abordagem teórica às mesmas;
- **E. Palestra e demonstração laboratorial relativas a bioenergias:** realização de uma palestra intitulada “Bioenergia é o Nosso Futuro” e de atividades laboratoriais.

As atividades A, B e C são propostas de divulgação que poderão ser realizadas em escolas desde o 1º Ciclo do Ensino Básico até ao Ensino Secundário em dias a definir com as mesmas. Das 5 propostas apresentadas, apenas as atividades D e E foram realizadas durante o ano de 2013 e serão apresentados os resultados da divulgação no subcapítulo 8.2 de divulgação.

8.1.1 Curiosidades e mitos

O biodiesel suscita ainda algumas questões/receios relativas à sua utilização apesar de ser já comercializado a nível nacional pelo que foi realizado um levantamento mais exaustivo relativo a esta bioenergia (Gomes R. , 2006):

- **O biodiesel pode ser usado nos carros?** Todos os carros a Diesel podem usar o B₅. O B₂₀ também pode ser utilizado em todos os carros, no entanto é necessário que durante as revisões se verifique os vedantes. O B₁₀₀ pode ser utilizado em todos os carros exceto os fabricados antes de 1993 dado que estes ainda utilizam vedantes de borracha no circuito de combustível.
- **É necessário efetuar alterações nos carros para começar a utilizar o biodiesel?** Não são necessárias alterações, no entanto deve-se iniciar a utilização com o B₅ ou o B₂₀ e após 500 a 1000 km deve-se verificar os filtros do combustível uma vez que o biodiesel é um bom solvente pelo que limpará os resíduos do gasóleo sujando assim os filtros na primeira utilização. Após esta limpeza o circuito de combustível estará limpo e pronto para utilizar qualquer proporção de mistura.
- **Pode-se utilizar o biodiesel em climas frios?** Em climas frios o B₁₀₀ sem aditivo não deverá ser utilizado caso as temperaturas mínimas sejam inferiores a 0°C e o B₂₀ não deverá ser usado em climas com temperaturas mínimas inferiores a -15°C. De qualquer modo, as temperaturas mínimas de bom funcionamento dependem fortemente do tipo de óleo utilizado na produção do biodiesel sendo que o óleo de palma não é aconselhado para climas frios dado que a sua viscosidade é elevada

(3,961 mPa.s a 40°C) e inadequada com temperaturas inferiores (Sekularac, 2012) e (Pinto, 2012). O biodiesel produzido a partir de óleo de colza apresenta uma viscosidade mais baixa (3,942 mPa.s), seguido do biodiesel produzido a partir de óleo de girassol (3,636 mPa.s), comparativamente ao biodiesel produzido a partir de óleo de palma. O biodiesel produzido a partir de óleo de soja apresenta um valor de viscosidade mais baixo (3,548 mPa.s) e não apresenta restrições nem em climas quentes nem em climas frios (Dall'Agnol, 2007) e (Pinto, 2012).

- **Ao utilizar biodiesel reduz-se o desgaste do motor?** Foram realizados estudos científicos em 1996 que mostraram uma redução do desgaste dos motores e uma redução de acumulação de sujidades nos mesmos.
- **Ao utilizar o biodiesel no carro anula-se a garantia do fabricante?** Todos os fabricantes aceitam o B₅ mas para proporções superiores é necessário contactar o fabricante para conhecer as condições específicas da garantia.
- **O biodiesel cheira a fritos caso seja fabricado a partir de óleos alimentares usados?** Não.
- **Caso seja utilizado biodiesel fabricado a partir de óleos alimentares usados, o escape do carro cheirá a fritos?** Não. O cheiro será ainda menos intenso comparado com o cheiro do gasóleo queimado.
- **O biodiesel é tóxico ou perigoso se entrar em contacto com a pele?** Não (não é mais perigoso que o vulgar sal de cozinha).

O hidrogénio é o elemento mais abundante no Universo, no entanto há ainda falta de divulgação enquanto uma bioenergia, tendo sido utilizado como tal há muito tempo (Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio, 2013):

- O enchimento do primeiro balão com hidrogénio foi em 1783 por Jacques Charles.
- O primeiro dispositivo de combustão interna movido por uma mistura de Hidrogénio e oxigénio foi construído em 1806 por François Isaac de Rivaz.
- A energia contida em 1kg de hidrogénio é equivalente a 2,84kg de gasolina.
- A primeira utilização de hidrogénio foi realizada em balões e veículos de passageiros.
- A NASA foi pioneira na utilização desta bioenergia em aplicações práticas de pilha de combustível.

A biomassa é provavelmente a bioenergia mais conhecida por parte do público-alvo tendo em conta o aquecimento doméstico, suscitando por vezes algumas questões relativas às emissões da respetiva queima:

- A biomassa quando decomposta naturalmente leva à produção de metano que pode ser até vinte vezes mais perigoso como gás de efeito de estufa que o dióxido de carbono, ou seja, será preferível a utilização da biomassa como matéria-prima para produção de calor ou energia (Demirbas A. , Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, 2001).

8.2 DIVULGAÇÃO

Foi realizada divulgação na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria no âmbito do Dia aberto da ESTG e uma palestra e demonstração laboratorial relativas a bioenergias na Escola Secundária Afonso Lopes Vieira no âmbito da comemoração do Dia Mundial da Energia (29 de Maio).

8.2.1 Dia aberto da ESTG

O Dia Aberto da ESTG realizou-se nos dias 13, 14 e 16 de março de 2013 onde foram realizadas actividades experimentais alusivas às bioenergias e uma breve abordagem teórica às mesmas com a aplicação de um jogo de cartões com curiosidades alusivas às bioenergias (Anexo 3).

As actividades experimentais contemplaram:

- a) Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados (Figura 19),
- b) Mostra de bioetanol produzido a partir de maçãs em fevereiro de 2011 (Figura 19),
- c) Mostra de microalgas,
- d) *Hydrocar* – O carro movido a hidrogénio (Figura 20),
- e) Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio (Figura 21 e Figura 22).

No geral houve uma grande curiosidade por partes dos alunos relativamente às bioenergias, notando-se no entanto um grande desconhecimento relativamente às mesmas. Das várias bioenergias apresentadas apenas o biodiesel era conhecido e ainda assim por poucos alunos que apenas sabiam que este poderia ser utilizado como combustível e facilmente o associaram à matéria-prima “óleos alimentares usados”. O facto de este biocombustível ser produzido em Portugal e já se encontrar incorporado no gasóleo comercializado nos postos de abastecimento nacionais, era desconhecido por parte do público-alvo. A mostra de bioetanol e de microalgas foram uma novidade para todos os participantes bem como as

atividades que envolveram a produção que hidrogénio, atividades estas que foram as que suscitaram maior interesse, uma vez que o *Hydrocar* (Figura 20), a ventoinha e a bicicleta (Figura 22) eram movidas sem nenhuma ligação a corrente eléctrica.

a) Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados:

Nesta atividade foi efetuada uma mistura de metanol com hidróxido de sódio para produzir metóxido de sódio e colocou-se o óleo alimentar usado num balão Erlenmeyer a aquecer com um agitador magnético numa placa de aquecimento (Figura 19). Quando este atingiu aproximadamente 45°C adicionou-se com cuidado o metóxido de sódio. Passados cerca de 20 minutos e a uma temperatura constante, retirou-se a mistura da placa de aquecimento e verteu-se no decantador, passados alguns minutos foi possível observar a separação das fases, ou seja, uma separação do biodiesel e da glicerina. O tempo de repouso a nível industrial é superior mas dado que se pretendia mostrar no momento a separação das fases, este tempo de repouso foi reduzido, sendo apenas o essencial para apresentar a separação entre o biodiesel e a glicerina.

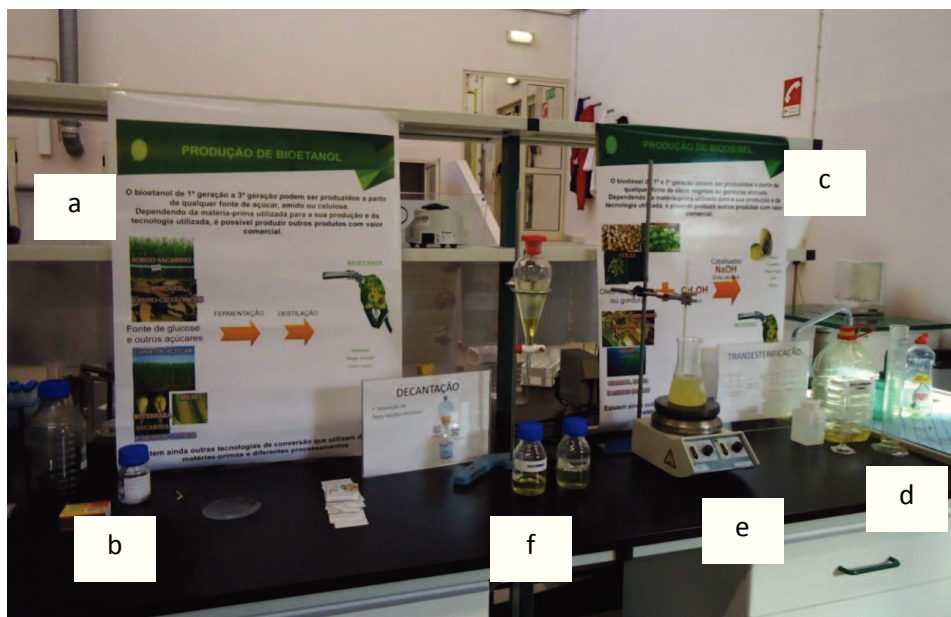


Figura 19: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados e Mostra de bioetanol produzido a partir de maçãs em fevereiro de 2011. a – poster relativa ao bioetanol; b – frasco de bioetanol; c – poster relativa ao biodiesel; d – matérias-primas (óleo alimentar usado e solução de metóxido de sódio); e – aquecimento da mistura de óleo alimentar usado com metóxido de sódio; f – decantação com separação do biodiesel e da glicerina.

b) Mostra de bioetanol produzido a partir de maçãs:

De forma a demonstrar que o bioetanol é uma bioenergia (Figura 19), colocou-se uma porção num vidro de relógio e acendeu-se com fósforos para mostrar a sua queima através de uma chama clarinha. A conversão de maçãs em bioetanol foi efetuada anteriormente em fevereiro

de 2011. Para a conversão de açúcares em bioetanol é necessário alguns dias ou semanas de fermentação pelo que se optou por não fazer a demonstração da fermentação neste tipo de divulgação.

c) Mostra de microalgas:

A mostra de microalgas encontrava-se num frasco e num reactor construído nos laboratórios da ESTG/IPL, tendo sido explicado o que eram microalgas e que eram uma potencial matéria-prima para a produção de bioenergias, referindo o conceito de biorrefinaria.

d) *Hydrocar* – O carro movido a hidrogénio:

Na apresentação do *Hydrocar* (Figura 20) foi explicado que este é um veículo de demonstração que utiliza uma Célula de Combustível de Hidrogénio para produzir eletricidade e posteriormente alimentar o motor elétrico. Este veículo utiliza a água como fonte de hidrogénio e oxigénio sendo utilizado um pequeno painel solar fotovoltaico para gerar a energia necessária para promover a dissociação do hidrogénio e do oxigénio da água.

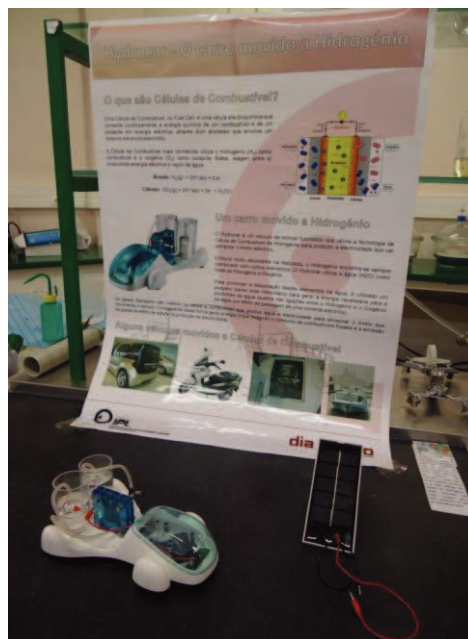


Figura 20: *Hydrocar* – O carro movido a hidrogénio

e) “Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio”:

Esta atividade teve como objetivo demonstrar que os resíduos podem ser valorizados para produção de energia. A atividade consistia na mistura de água com resíduos de alumínio

(latas de refrigerantes e papel de alumínio vulgar da cozinha), com a adição de hidróxido de sódio (NaOH), dentro de um balão de fundo redondo originando-se precipitado de óxido de alumínio e hidrogénio (Figura 21). Este balão encontrava-se ligado a uma célula de combustível (*fuel cell*) onde era produzida energia elétrica que fazia mover uma ventoinha (Figura 22, a) ou uma pequena bicicleta (Figura 22, b).

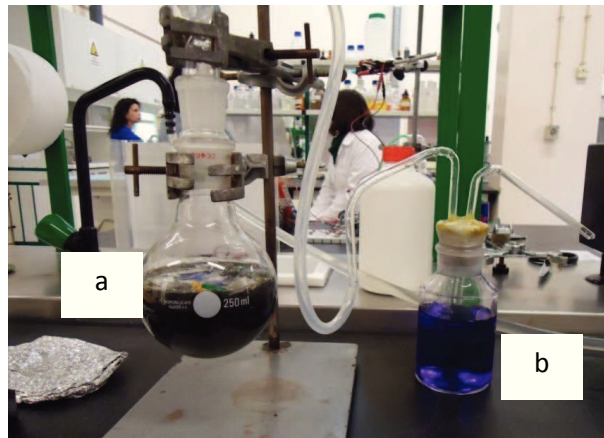


Figura 21: Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio. a - Mistura de água, resíduos de alumínio e hidróxido de sódio; b – mistura aquosa apenas para demonstrar a formação de hidrogénio que era visível com o aparecimento de pequenas bolhas de hidrogénio.

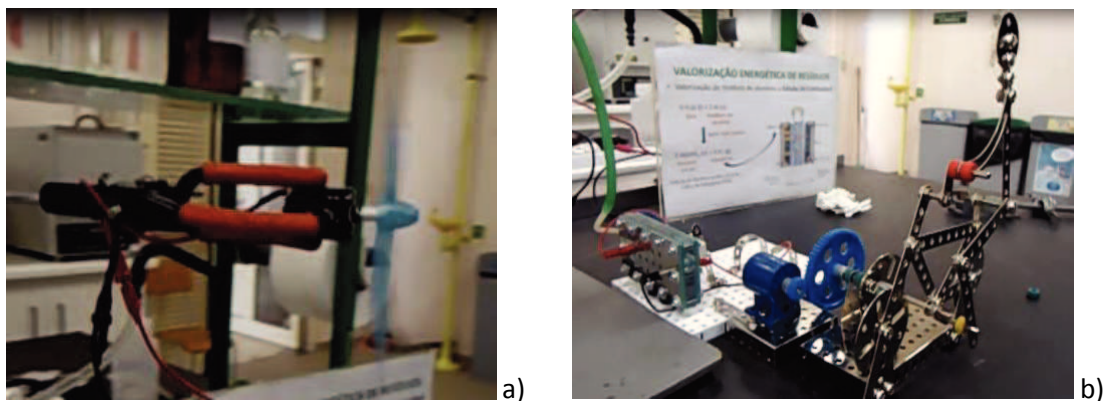


Figura 22: a) Ventoinha movida a partir da produção de hidrogénio. b) Célula de combustível alimentada por hidrogénio e pequena bicicleta movida a partir da produção de hidrogénio.

8.2.2 Palestra e demonstração laboratorial relativas a bioenergias

No âmbito da comemoração do Dia Mundial da Energia (29 de Maio) foi realizada na Escola Secundária Afonso Lopes Vieira uma acção intitulada “Bioenergia é o Nosso Futuro” para um público-alvo constituído por estudantes do 8º ano e 12º ano e por alguns docentes.

A acção teve como objectivos divulgar e desmitificar a área das energias renováveis com especial incidência nas bioenergias e nas energias renováveis no sector dos transportes. Este seminário consistiu numa palestra e em atividades laboratoriais:

- a) Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados (Figura 23),
- b) Visualização microscópica de microalgas,
- c) Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio.

As acções foram repetidas com linguagem gestual (com o auxílio de uma tradutora especializada) destinadas a uma turma de alunos com dificuldades auditivas, os quais demonstraram grande interesse e curiosidade nos temas abordados (Figura 24).

Os alunos e professores participantes manifestaram interesse e alguns conhecimentos relativos à área das bioenergias, sendo de salientar as várias questões que foram colocadas durante toda a acção, tanto na palestra como nas atividades laboratoriais. Notou-se que o biodiesel foi a bioenergia mais conhecida por parte do público-alvo e a produção de hidrogénio levantou uma elevada curiosidade. A visualização microscópica de microalgas também suscitou alguma curiosidade uma vez que os alunos recorriam ao microscópio para visualizar uma potencial matéria-prima para as bioenergias.

No geral, a avaliação por parte dos professores foi positiva tendo ainda em conta que a curiosidade e a importância da acção suscitaram o interesse em ver um relatório realizado pelos alunos relativamente à acção. É de salientar que a palestra com uma componente teórica é bastante auxiliativa nestas acções dado que facilita uma melhor compreensão das atividades laboratoriais, reforçando ainda mais as noções adquiridas.

a) Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados:

Esta atividade (Figura 23 e Figura 24) processou-se da mesma forma como no Dia aberto da ESTG.



Figura 23: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados.



Figura 24: Produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados, com linguagem gestual.

b) Visualização microscópica de microalgas:

Foi colocada uma amostra de microalgas numa lâmina para posterior observação ao microscópio por parte dos alunos.

c) Produção de hidrogénio a partir da valorização energética de resíduos de alumínio:

Esta atividade processou-se da mesma forma como no Dia aberto da ESTG.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Conclusão

Das bioenergias estudadas, o biodiesel é a que apresenta maior número de documentos legislativos sendo também o que apresenta maior produção e utilização em Portugal. Há cinco grandes produtores de biodiesel e vários Pequenos Produtores Dedicados de Biocombustíveis sendo que a matéria-prima soja e colza são importadas, quando no entanto o país apresenta elevado potencial de produção destas matérias-primas o que poderia dinamizar a agricultura, o comércio, a empregabilidade e a riqueza nacional. A incorporação de 7% de biodiesel em volume no gasóleo convencional, pelos dados recolhidos da divulgação, é um facto pouco conhecido e a oferta de B10 e B15 é muito reduzida a nível nacional, sendo que os respetivos preços em alguns casos são iguais ou superiores ao preço do gasóleo comercial.

O bioetanol ainda não ganhou tanto destaque como o biodiesel, no então são já notórios alguns projetos de produção e estudos relativos ao potencial da plantação de matérias-primas, como é o caso do sorgo sacarino e da beterraba sacarina. O sorgo sacarino adapta-se bem às condições de solo e clima da região da Beira Interior e apresenta ainda bons valores de produção de bioetanol. A beterraba sacarina também é uma cultura que se adapta bem ao clima de Portugal Continental tendo em conta a sua alta tolerância a variações climáticas e a sua baixa necessidade de água e de fertilizantes.

A produção de biogás tem apresentado uma crescente produção em Portugal no sector dos resíduos sólidos urbanos e no sector da agricultura e pecuária apresentando a vantagem de em simultâneo à sua produção, valorizar os resíduos que de outra forma teriam como destino um processo de eliminação. O biogás produzido pode ser utilizado para consumo próprio da unidade produtiva ou para venda à rede de gás natural na forma de biometano ou para posterior produção de energia elétrica. Do processo produtivo do biogás por via anaeróbia resulta também o composto que tem elevado poder fertilizante e que pode ser utilizado em solos agrícolas ou jardins como corretivo.

O hidrogénio convencional já se encontra a ser produzido e comercializado em Portugal pela empresa *Air Liquide*. No entanto, o biohidrogénio é ainda caso de estudo em projetos de investigação do Instituto Politécnico de Portalegre. Esta bioenergia apresenta um grande potencial de desenvolvimento nomeadamente em conjunto com as células de combustível,

no entanto os elevados custos associados podem ainda colocar um obstáculo neste desenvolvimento.

A biomassa sólida é a bioenergia mais conhecida e mais utilizada pelos portugueses dado que desempenha um importante papel na produção de calor a nível doméstico. Ainda assim o seu potencial energético não está devidamente aproveitado tendo em conta que o país tem uma grande área de floresta da qual uma parte se encontra ao abandono ou deficiente exploração/gestão. A utilização deste recurso natural permite a limpeza de zonas florestais e possibilita a redução da quantidade de resíduos que teriam como destino os aterros sanitários. Com o aproveitamento da biomassa sólida previne-se a decomposição natural desta que leva à produção de metano que é mais prejudicial como gás de efeito de estufa quando comparado com o dióxido de carbono produzido na produção de calor ou energia a partir da biomassa sólida.

As microalgas são uma matéria-prima muito promissora para a produção de vários produtos e representa um importante papel no sequestro de CO₂. Projetos na área das microalgas poderão permitir a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera e a consequente produção de biomassa, aliando-se dois benefícios ambientais. Em Portugal, pela empresa Algafuel, esta matéria-prima encontra-se na vanguarda com projetos promissores.

Da divulgação efetuada no âmbito das bioenergias foi notória a falta de informação nesta área por parte dos alunos mas em simultâneo, uma grande curiosidade em adquirir a informação e perceber as atividades experimentais, tendo sido este facto visível pelas várias questões que foram colocadas durante as ações tanto por parte de docentes como alunos. Devido ao baixo conhecimento relativo às bioenergias torna-se pertinente a continuação da divulgação das bioenergias para que este tema ganhe destaque e comece a ser mais explorado, por todo o público-alvo, em especial a camada mais jovem que mais facilmente propaga a informação.

Bibliografia

- Águas de Portugal, A. (2011). Central de Valorização Orgânica de Leiria em pleno funcionamento. Obtido em Junho de 2013, de <http://www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=2842&t=Central-de-Valorizacao-Organica-de-Leiria-em-pleno-funcionamento>
- Ahring, B. K. (2003). Biomethanation II (Vol. edit. Birgitte K. Ahring). Berlim: Springer.
- Air Liquide. (2013). Hydrogen-Energy. Obtido em 2013 de outubro, de Sectores de actividade: <http://www.airliquide.pt/pt/sectores-de-actividade/hydrogen-energy.html#.Um1A3vIM9EY>
- Air Liquide Portugal. (2013). Obtido em outubro de 2013, de Quem somos:<http://www.airliquide.pt/pt/quem-somos/air-liquide-portugal.html#.Um1BKflM9EY>
- Air Liquide. (2013). Produção de Hidrogénio e Monóxido de Carbono. Obtido em novembro de 2013, de <http://www.airliquide.pt/pt/produtos-e-servicos/fornecimento-canalizado/producao-de-h2-e-de-co.html#.Un6lrflM9EY>
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., et al. (2008). Biogas Handbook. Esbjerg, Dinamarca: University of Southern Denmark.
- AlgaFuel. (2011). Quem somos - O que fazemos. Obtido em Outubro de 2013, de <http://www.a4f.pt/>
- ALGAR. (2013). Valorização Energética no Aterro Sanitário do Barlavento. Obtido em Junho de 2013, de <http://www.algar.com.pt/pt/subsubmenutopo.asp?idtopo=5&idsubmenu=22&idsubsubmenu=17>
- Almodares, A., Hadi, M. R., & Kharazian, Z. A. (2011). Sweet Sorghum: Salt Tolerance and High Biomass Sugar Crop. Biomass - Detection, Production and Usage, , Dr. Darko Matovic (Ed.), InTech .
- Alves, L. V. (setembro de 2013). Investigadores do Politécnico de Portalegre estudam sistema inovador de produção de hidrogénio. Obtido em novembro de 2013, de TV Ciência On-line: <http://www.tvciencia.pt/tvctec/pagtec/tvctec03.asp?codtec=40129>
- Alves, L. V. (setembro de 2013). Unidade de gaseificação de biomassa sólida do IPP dá apoio a indústria. Obtido em novembro de 2013, de TV Ciência On-line:<http://www.tvciencia.pt/tvctec/pagtec/tvctec03.asp?codtec=40130>

- Antunes, P., & Silva, I. C. (2010). Utilização de algas para a produção de biocombustíveis. Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
- APPB. (2013). Associação Portuguesa de Produtores de Biocombustíveis. Obtido em 2013, de <http://www.appb.pt/>
- APREN, A. d. (2011). Biogás. Obtido em Outubro de 2013, de <http://www.apren.pt/dados-tecnicos/index.php?id=51&cat=34>
- APREN, A. d. (2010). Roteiro Nacional das Energias Renováveis.
- Arnulf Jager-Waldau, M. S.-F. (6 de agosto de 2011). Renewable electricity in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , pp. 3703-3716.
- Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas. (setembro de 2013). Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas. Obtido em novembro de 2013, de A influência de conflitos Internacionais no preço do petróleo:http://www.apetro.pt/documentos/conflitos_internacionais_petroleo.pdf
- Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio. (2013). Sobre o Hidrogénio. Obtido em outubro de 2013, de http://www.ap2h2.pt/SOBRE_H2.html
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., & Aziz, A. A. (10 de março de 2010). High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* .
- Australian Renewable Energy Agency. (2012). Australian Energy Resource Assessment - Chapter 12: Bioenergy. Australian Energy Resource Assessment.
- Avillez, F., Jorge, M. N., Montes, D., Brandão, A. P., & Campilho, P. (2009). Sustentabilidade da Produção de Bioetanol em Portugal. Cascais: Agro.ges - Sociedade de Estudos e Projectos.
- Balat, M., Balat, H., & Oz, C. (28 de janeiro de 2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*.
- Balat, M., Balat, M., Kirtay, E., & Balat, H. (16 de Setembro de 2009). Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 2: Gasification systems. *Energy Conversion and Management*.
- Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., & Vuille, F. (2009). Bioenergy - A Sustainable and Reliable Energy Source (A review of status and prospects). IEA Bioenergy.
- Biarnes, M. (2013). Biomass to Biogas - Anaerobic Digestion. Obtido em março de 2013, de E Instruments International: <http://www.e-inst.com/biomass-to-biogas/>
- Biarnes, M. (2013). Biomass to Biogas - Anaerobic Digestion. Obtido em Março de 2013, de E Instruments International: <http://www.e-inst.com/biomass-to-biogas/>.
- Biblioteca do conhecimento online. (2013). Biblioteca do conhecimento online. Obtido em 8 de novembro de 2013, de <http://www.b-on.pt/>.

- Biodiesel of Las Vegas. (2010). About the Biodiesel Process. Obtido em outubro de 2013, de <http://www.biodieseloflasvegas.com/biodiesel-process.aspx>.
- Biodieselbr. (2012). Biodieselbr.com. Obtido em julho de 2013, de Emissão de Gases Poluentes e Biodiesel: <http://www.biodieselbr.com/efeito-estufa/gases/emissoes.htm>.
- Biogasin. (Outubro de 2010). Did you know that Biogas...? Obtido em março de 2013, de Biogasin - Sustainable Biogas Market Development in Central and Eastern Europe: http://www.biogasin.org/files/pdf/WP2/D2.7_BrochureEN.doc.pdf.
- Biomass Energy Centre. (2011). Sources of biomass. Obtido em setembro de 2013, de http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,15174&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Biomass Energy Centre1. (2011). Trees. Obtido em setembro de 2013, de http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,225235&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Biomass Energy Centre2. (2011). Sources of biomass. Obtido em setembro de 2013, de http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,15174&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Biomass Energy Centre3. (2007). Wood Pellets and briquettes. Reino Unido: Biomass Energy Centre.
- BNDES. (2008). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES e CGEE.
- Bridgwater, A. V. (2003). Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering Journal .
- Calhaz, J. (24 de janeiro de 2013). Produção de beterraba pode voltar em força aos campos do Ribatejo e Alentejo. Obtido em novembro de 2013, de O Mirante - Semanário Regional: <http://semanal.omirante.pt/index.asp?idEdicao=584&id=88792&idSeccao=9968&Action=noticia>
- Castro, R. (2011). Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica. Lisboa: IST Press.
- Centroliva, I. e. (2013). Centroliva, S. A. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.centroliva.pt/>.
- Cherubini, F. (6 de março de 2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. Energy Conversion and Management.
- Chisti, Y. (fevereiro de 2007). Biodiesel from microalgae.
- Coach Bioenergy. (2013). Pelleting and briquetting. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.coach-bioenergy.eu/en/cbe-offers-services/technology-descriptions-and-tools/technologies/231-pab.html>.

- Dall'Agnol, A. (14 de dezembro de 2007). Biodieselbr.com. Obtido em 2013 de novembro, de Porque fazemos biodiesel de soja: <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>.
- Decreto Lei n.º 267/. (setembro de 2009). Decreto-Lei n.º 267/2009. D.R. n.º 189, Série I de 2009-09-29. Obtido em novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2009/09/18900/0699106997.pdf>.
- Decreto Lei n.º 62. (21 de março de 2006). Decreto-Lei n.º 62/2006. D.R. n.º 57, Série I-A de 21 de março de 2006. Obtido em 2012, de <http://dre.pt/pdf1s/2006/03/057A00/20502053.pdf>.
- Decreto Lei n.º 62. (21 de março de 2006). Decreto-Lei n.º 62/2006. D.R. n.º 57, Série I-A de 21 de março de 2006. Obtido em 2012, de <http://dre.pt/pdf1s/2006/03/057A00/20502053.pdf>.
- Decreto Lei n.º 73/. (junho de 2011). Decreto-Lei n.º 73/2011. D.R. n.º 116, Série I de 2011-06-17. Obtido em novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/06/11600/0325103300.pdf>.
- Decreto-Lei n.º 117. (25 de outubro de 2010). Decreto-Lei n.º 117/2010, de 25 de outubro Diário da República, 1.ª série - N.º 207 - 25 de outubro de 2010. Obtido em outubro de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/10/20700/0478204795.pdf>.
- Decreto-Lei n.º 142. (31 de dezembro de 2010). Decreto-Lei n.º 142/2010. D.R. 1.ª série - N.º 253 de 31 de dezembro de 2010. Obtido em outubro de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/12/25300/0609806119.pdf>.
- Decreto-Lei n.º 206. (23 de outubro de 2008). Decreto-Lei n.º 206/2008, de 23 de outubro Diário da República, 1.ª série - N.º 206 - 23 de outubro de 2008. Obtido em 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2008/10/20600/0750107501.pdf>.
- Decreto-Lei n.º 224. (16 de outubro de 2012). Decreto-Lei n.º 224/2012, de 16 de outubro Diário da República, 1.ª série - N.º 200 - 16 de outubro de 2012. Obtido em outubro de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2012/10/20000/0590605907.pdf>.
- Decreto-Lei n.º 66. (22 de março de 2006). Decreto-Lei n.º 66/2006. D.R. n.º 58, Série I-A de 22 de março de 2006. Obtido em 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2006/03/058A00/20792081.pdf>.
- Delgado, Á.-D. G., & Kafarov, V. (2011). Microalgae Based Biorefinery: Issues To Consider. *Journal Ciencia, Tecnología Y Futuro*.
- Demirbas, A. (2008). *Biodiesel - A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*. Londres: Springer.
- Demirbas, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*.
- Demirbas, A. (30 de julho de 2009). Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*.
- Demirbas, A. (18 de maio de 2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*.
- Demirbas, M. F. (27 de maio de 2009). Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. *Applied Energy*.

Denis. (2013). WiseGEEK. Obtido em outubro de 2013, de What are the advantages and disadvantages of ethanol fuel?: <http://www.wisegeek.org/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-ethanol-fuel.htm>.

Denso. (setembro de 2009). Fuel Requirements for Diesel Fuel Injection Systems. Obtido em setembro de 2013, de http://www.globaldenso.com/en/topics/091012-01/documents/common_position_paper.pdf.

Department of Biological and Agricultural Engineering at the University of Idaho. (maio de 2012). Faster Biodiesel Processing with Ultrasound-Assisted Reactors. Biodiesel TechNotes.

DGEG - Energia Solar. (2013). Energia Solar. Obtido em fevereiro de 2013, de <http://www.dgeg.pt/>.

DGEG. (23 de setembro de 2013). Preço dos Combustíveis Online. Obtido em 10 de outubro de 2013, de <http://www.precoscombustiveis.dgeg.pt/>.

DGEG. (5 de maio de 2013). Produtores de biocombustíveis. Obtido em novembro de 2013, de Direcção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgeg.pt/>.

Dincer, I., & Rosen, M. A. (22 de abril de 2011). Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. Energy for Sustainable Development.

Directiva 2009/28/CE. (23 de abril de 2009). EUR-Lex - Directiva 2009/28/CE Do Parlamento Europeu E Do Conselho. Obtido em 2012, de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pt:PDF>.

DR267/2009. (setembro de 2009). Decreto-Lei n.º 267/2009. D.R. n.º 189, Série I de 2009-09-29. Obtido em novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2009/09/18900/0699106997.pdf>.

DR4. (21 de março de 2006). Decreto-Lei n.º 62/2006. D.R. n.º 57, Série I-A de 21 de março de 2006. Obtido em 2012, de <http://dre.pt/pdf1s/2006/03/057A00/20502053.pdf>.

DR73/2011. (junho de 2011). Decreto-Lei n.º 73/2011. D.R. n.º 116, Série I de 2011-06-17. Obtido em novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/06/11600/0325103300.pdf>.

EDP, & Altri. (2007). Rede de Centrais de Biomassa Florestal. Bioelétrica.

EIHP, E. I. (2010). Did you know that Biogas...? Sustainable biogas market development in Central and Eastern Europe.

Enersilva. (2007). Enersilva - Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa (2004-2007). Projecto Enersilva.

European Environment Agency. (2006). Energy and Environment in the European Union. Copenhaga.

European Environment Agency. (2008). Energy and environment report 2008. Copenhaga.

Ferreira, M., Marques, I. P., & Malico, I. (2012). Biogas in Portugal: Status and public policies in a European context. Energy Policy.

Focus Solar. (2011). Know-how - Solar Maps. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.focus-solar.de/Maps/RegionalMaps/Europe/Europe>.

- Garrido, N. (12 de agosto de 2007). Público.pt. Obtido em novembro de 2013, de Fábricas nacionais produziram cerca de 68 mil toneladas de biodiesel no primeiro semestre: <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/fabricas-nacionais-produziram-cerca-de-68-mil-toneladas-de-biodiesel-no-primeiro-semester-1302010>.
- Gomes, B. M. (2010). Potencial de Redução de Emssões de GEE do Bioetanol: Contributo da análise de ciclo de vida da beterraba sacarina e do cardo como fontes de biomassa nacionais. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Gomes, R. (2006). Manual do Biodiesel. Litexa Editora.
- Halim, R., Gladman, B., Danquah, M. K., & Webley, P. A. (23 de Julho de 2010). Oil extraction from microalgae for biodiesel production. Bioresource Technology.
- Hayes, D. J. (junho de 2008). An examination of biorefining processes, catalysts and challenges. Catalysis Today.
- Hielscher Ultrasound Tecnhnology. (2013). Ultrasonic Processors for Biodiesel Production. Obtido em outubro de 2013, de Ultrasonic Lab Devices and Industrial Processors: http://www.hielscher.com/biodiesel_transesterification_01.htm.
- IBEROL. (2011). Apresentação Institucional IBEROL. Vila Franca de Xira : IBEROL.
- Ibrahim, H. A.-H. (2011). 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering.
- IEC, I. E. (2012). What is Miscanthus? Obtido em junho de 2013, de http://www.energycrops.com/?page_id=53.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2013). Área educativa - Causas da seca em Portugal Continental. Obtido em outubro de 2013, de <http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=seca.causas.xml>.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2013). Área educativa - Clima de Portugal Continental. Obtido em outubro de 2013, de <http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>.
- Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo. (26 de dezembro de 2012). Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo - Ciência Hoje. Obtido em outubro de 2013, de Universidade do Algarve produz bioetanol: <http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=56545&op=all>.
- Kahr, H., Jager, A., & Lanzerstorfer, C. (fevereiro de 2012). Bioethanol Production from Steam Explosion Pretreated Straw. Obtido em junho de 2013, de Bioethanol, Prof. Marco Aurelio Pinheiro Lima (Ed.), In Tech: http://cdn.intechopen.com/pdfs/27354/InTech-Bioethanol_production_from_steam_explosion_pretreated_straw.pdf.
- Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2008). Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. International Journal of Molecular Sciences.
- King, D., Inderwildi, O. R., & Williams, A. (2010). The Future of Industrial Biorefineries. Genebra: World Economic Forum.

- Klass, D. L. (1998). Biomass for renewable energy, fuels and chemicals. San Diego, California: Academic Press.
- Kruger, P. (2006). Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kuçuk, M. M., & Demirbas, A. (1997). Biomass conversion processes. Energy Convers.
- Kukreja, R. (2013). What is Hydrogen Energy? Obtido em outubro de 2013, de Conserve Energy Future: http://www.conserve-energy-future.com/Advantages_Disadvantages_Hydrogen_Energy.php.
- Lattin, W., & Utgikar, V. (12 de abril de 2007). Transition to hydrogen economy in the United States: A 2006 status report. International Journal of Hydrogen Energy 32 .
- Leza, H. A. (2011). Process Development for Bioethanol Production Using Wheat Straw Biomass. Minho: Universidade do Minho.
- Lourenço, M. E., Januário, M. I., Massa, V., & Palma, P. M. (2007). Potencialidades do sorgo sacarino. Seminar "Energy Crops, Biomass and Biofuels". Évora: Universidade de Évora.
- Maia, P. (06 de agosto de 2013). Boas notícias - Um mundo em crescimento. Obtido em novembro de 2013, de Campanha quer promover biodiesel em Portugal:http://boasnoticias.sapo.pt/noticias_Campanha-quer-promover-biodiesel-em-Portugal_16776.html?page=0.
- Markowitz, M. B. (2013). Fuel Cell Hydrogen Energy Association. Obtido em outubro de 2013, de Hydrogen Benefits: <http://www.fchea.org/index.php?id=47>.
- Martins, L. (2010). Primeira central de biomassa funciona em Belmonte. Jornal O Interior, Lda.
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (13 de Julho de 2009). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Meier, D., Radlein, D., & Bridgwater, A. V. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. Organic Geochemistry .
- Melo, S. M. (2011). Análise Multivariada no diagnóstico da Produção de Biodiesel, Dissertação apresentada para provas de Mestrado em Química. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Monteiro, J. S. (2013). Instituto Politécnico de Castelo Branco. Obtido em novembro de 2013, de Doutoramento revela viabilidade da produção de sorgo sacarino na Beira Interior: <http://www.ipcb.pt/index.php/consultar-todas-notas-informativas/537-tese-de-doutoramento-revela-viabilidade-da-producao-de-sorgo-sacarino-na-beira-interior>.
- Monteiro, J. S. (2007). Valorização industrial do sorgo sacarino. Seminário Culturas energéticas, biomassa e biocombustíveis. Évora: Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Mosier, N. S., & Lileje, K. (Junho de 2012). How Fuel Ethanol Is Made from Corn. BioEnergy.

- Mueller-Langer, F., Tzimas, E., Kaltschmitt, M., & Peteves, S. (27 de setembro de 2007). Techno-economic assessment of hydrogen production processes for the hydrogen economy for the short and medium term. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Nigam, P. S., & Singh, A. (4 de maio de 2010). Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*.
- Nunes, G. (2013). Família Alegria "investiu" 25 milhões no futuro. *Jornal Correio de Azemeis*.
- Palser - Bioenergia e Paletes, L. (2013). Bioenergia. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.palser.pt/bioenergia/>.
- Pinto, M. J. (2012). *Formulação de biodiesel*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Portal das Energias Renováveis. (18 de maio de 2013). Biomassa - Central Termoelétrica de Mortágua. Obtido em setembro de 2013, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheEstados.asp?ID_conteudo=22&ID_area=2&ID_sub_area=37.
- Portal das Energias Renováveis. (18 de maio de 2013). Biomassa. Obtido em outubro de 2013, de http://www.energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID_area=2.
- Portal das Energias Renováveis. (2013). Biomassa, Estado em Portugal - Actualidade: Biomassa sólida. Obtido em setembro de 2013, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=5&ID_area=2&ID_sub_area=3.
- Portal das Energias Renováveis. (26 de Maio de 2008). Dossier: Os biocombustíveis em Portugal. Obtido em outubro de 2013, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=66&ID_area=15.
- Portal das Energias Renováveis. (18 de maio de 2013). Futuro: Biocombustíveis gasosos. Obtido em outubro de 2013, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=73&ID_area=2&ID_sub_area=3.
- Portaria n.º 209/. (3 de março de 2004). Portaria n.º 209/2004. D.R. n.º 53, Série I-B de 2004-03-03. Obtido em novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2004/03/053B00/11881206.pdf>.
- Portaria n.º 320-E. (30 de dezembro de 2011). Portaria n.º 320-E/2011. D.R. n.º 250, 1.ª Série de 30 de dezembro de 2011. Obtido em outubro de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/12/25003/0028900290.pdf>.
- Portaria n.º 209/2004. (3 de Março de 2004). Portaria n.º 209/2004. D.R. n.º 53, Série I-B de 2004-03-03. Obtido em Novembro de 2012, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2004/03/053B00/11881206.pdf>.
- PrioEnergy. (2011). Produção de biodiesel. Obtido em 2013, de <http://www.prioenergy.com/produtos-e-servicos/producao-de-biodiesel/>.
- Regulamento (CE) n.º 1225/2009 do Conselho. (30 de novembro de 2009). Regulamento (CE) n.º 1225/2009 do Conselho. Obtido em novembro de 2013, de EUR-Lex: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009R1225:PT:NOT>.

Regulamento (UE) N.º 490/2013 da Comissão. (27 de maio de 2013). Regulamento (UE) N.º 490/2013 da Comissão de 27 de maio de 2013. Obtido em novembro de 2013, de Jornal Oficial da União Europeia: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:141:0006:0025:PT:PDF>.

Renewable Energy Concepts. (2013). Anaerobic Digestion. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.renewable-energy-concepts.com/biomass-bioenergy/biogas-basics/anaerobic-digestion.html>.

Renewable Energy Concepts. (2009). What is Biomass Energy? - About Biogas. Obtido em maio de 2013, de <http://www.renewable-energy-concepts.com/biomass-bioenergy/biogas-basics/about-biogas.html>.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 29. (15 de abril de 2010). Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de abril de 2010. Diário da República, 1.ª série - N.º 73 - 15 de abril de 2010. Obtido de Diário da República: <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/04/07300/0128901296.pdf>.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 20. (10 de abril de 2013). Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. D.R, 1.ª série - N.º 70 de 10 de abril de 2013. Obtido em outubro de 2013, de <http://dre.pt/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf>.

Rosillo-Calle, F., Groot, P. d., Hemstock, S. L., & Woods, J. (2007). The Biomass Assessment Hand book - Bioenergy for a sustainable environment. UK: Earthscan.

Santos, C., Augusto, C., Raposo, V., Amado, J., Carreira, J., & Calado, D. (04 de dezembro de 2012). Mesozoico. Obtido em novembro de 2013, de Fixação de CO2 através de microalgas - Do tubo de ensaio à escala industrial: <http://mesozoico.wordpress.com/2012/12/04/fixacao-de-co2-atraves-de-microalgas-do-tubo-de-ensaio-a-escala-industrial/>.

Santos, F. M., & Santos, F. A. (maio de 2005). Educação, Ciência e Tecnologia - O combustível "Hidrogénio". Millennium - Revista do ISPV - n.º 31.

Santos, P. P. (2010). A biomassa como fonte energética – uma realidade? 6º Workshop da Plataforma do Empreendedor "Call dor action - EMP, Sector da Energia - dos desafios às oportunidades de Negócios!".

Santos, P. P. (2013). Biomassa florestal - O Regresso ao Futuro. Associação dos Produtores de Energia e Biomassa.

Schiller, M. (2010). EasyChem. Obtido em outubro de 2013, de Advantages and disadvantages of ethanol as a fuel: <http://www.easychem.com.au/production-of-materials/renewable-ethanol/advantages-and-disadvantages-of-ethanol-as-a-fuel>.

SECIL. (2 de dezembro de 2009). Informação à Imprensa - SECIL. Obtido em outubro de 2013, de Bioenergia e mitigação de CO2 com microalgas : http://www.secil.pt/pdf/PR_Projecto_Microalgas_DEZ09.pdf.

Sector, P. o. (2013). Torrefaction. Obtido em setembro de 2013, de <http://www.sector-project.eu/torrefaction.32.0.html>.

- Sekularac, I. (16 de outubro de 2012). Oil World vê aumento da dependência global por óleo de palma. Obtido em novembro de 2013, de <http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRSPE89F06Z20121016>.
- Semanário SOL. (24 de novembro de 2011). Empresário indiano investe em produção de bioetanol em Idanha-a-Nova. Obtido em outubro de 2013, de Economia: http://sol.sapo.pt/inicio/Economia/Interior.aspx?content_id=34606.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., & Roessler, P. (1998). A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Shinnar, R. (setembro de 2003). The hydrogen economy, fuel cells and electric cars. Technology in Society .
- Silva, C. A. (2009). Limpeza e Purificação de Biogás. Trás-Os-Montes e Alto Douro: Escola de Ciências e Tecnologia.
- Silva, S. D. (2009). Breve enciclopédia do biodiesel. Porto: Vida Económica - Editorial SA.
- Silva, V. (2003). Células de Combustível - Energia do futuro, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em novembro de 2013, de Vantagens e desvantagens?: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/vantagens.html>.
- Sun, Y., & Cheng, J. (31 de outubro de 2001). Hydrolysis of ligocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology.
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2007). Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. Bioresources.
- Tan, K. T., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (26 de junho de 2008). Role of energy policy in renewable energy accomplishment: The case of second-generation bioethanol. Energy Policy.
- Taylor, E. (2009). Coproducts and Byproducts of Woody Biorefinery Processing. Transition to a Bio Economy - The Role of Extension in Energy. Arkansas.
- UC, D. d. (março de 2006). EFIPRE - Eficiência Energética e Integração Sustentada de PRE. Coimbra.
- Udengaard, N. R. (2004). Hydrogen production by steam reforming of hydrocarbons. Obtido em setembro de 2013, de Argonne National Laboratory: http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/49_2_Philadelphia_10-04_1205.pdf.
- Vanthoor-Koopmans, M., Wijffels, R. H., Barbosa, M. J., & Eppink, M. H. (2012). Biorefinery of microalgae for food and fuel. Bioresource Technology.
- Veillette, M., Chamoumi, M., Nikiema, J., Fauchaux, N., & Heitz, M. (2012). Production of Biodiesel from Microalgae. Obtido de Advances in Chemical Engineering, Dr Zeeshan Nawaz (Ed.), In Tech: : <http://www.intechopen.com/books/advances-in-chemicalengineering/production-of-biodiesel-using-triglycerides-from-microalgae>.

- Volynets, B., & Dahman, Y. (2011). Assessment of pretreatments and enzymatic hydrolysis of wheat straw as a sugar source for bioprocess industry. *International Journal of Energy and Environment*.
- Wereko-Brobby, C. Y., & Hagen, E. B. (1996). *Biomass conversion and technology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Williams, C. (2013). Wisconsin Grasslands Bioenergy Network. Obtido em fevereiro de 2013, de Bioenergy 101: <http://www.wgbn.wisc.edu/producers/bioenergy-101#>.
- Yen, H.-W., Hu, I.-C., Chen, C.-Y., Ho, S.-H., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2012). Microalgae-based biorefinery - From biofuels to natural products. *Bioresource Technology*.
- Zeng, K., & Zhang, D. (1 de dezembro de 2009). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

ANEXO 1

Tabela 5: Especificações padrão para o Biodiesel - EN 14214.

(Fonte: Atadashi, Aroua e Aziz 2010)

Property	Units	Lower limit	Upper limit	Test-method
Ester content	% (m/m)	96.5	-	Pr EN 14103 d
Density at 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675/EN ISO 12185
Viscosity at 40 °C	mm ² /s	3.5	5.0	EN ISO 3104
Flash point	°C	>101	-	ISO CD 3679e
Sulfur content	mg/kg	-	10	-
Tar remnant (at 10% distillation remnant)	% (m/m)	-	0.3	EN ISO 10370
Cetane number	-	51.0	-	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% (m/m)	-	0.02	ISO 3987
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662
Copper band corrosion (3 h at 50 °C)	rating	Class 1	Class 1	EN ISO 2160
Oxidation stability at 110 °C	h	6	-	pr EN 14112 k
Acid value	mgKOH/g	-	0.5	pr EN 14104
Iodine value	-	-	120	pr EN 14111
Linoleic acid methyl ester	% (m/m)	-	12	pr EN 14103d
Polyunsaturated (P4 double bonds) methylester	% (m/m)	-	1	-
Methanol content	% (m/m)	-	0.2	pr EN 141101
Monoglyceride content	% (m/m)	-	0.8	pr EN 14105m
Diglyceride content	% (m/m)	-	0.2	pr EN 14105m
Triglyceride content	% (m/m)	-	0.2	pr EN 14105m
Free glycerine	% (m/m)	-	0.02	pr EN 14105m/pr EN 14106
Total glycerine	% (m/m)	-	0.25	pr EN 14105m
Alkali metals (Na+K)	mg/kg	-	5	pr EN 14108/pr EN 14109
Phosphorus content	mg/kg	-	10	pr EN14107p

ANEXO 2 – EXEMPLO DE JOGO DE CORRESPONDÊNCIA

BIODIESEL	BIOETANOL
Biocombustível líquido que pode ser produzido a partir de óleos alimentares usados.	Biocombustível líquido que pode ser produzido a partir de culturas ricas em açúcar, culturas ricas em amido, biomassa lenho celulósica, culturas agrícolas ou resíduos secundários.
BIOGÁS	HIDROGÉNIO
Biocombustível gasoso que se forma por digestão anaeróbia de matéria orgânica.	Biocombustível gasoso cuja produção em grande escala é baseada maioritariamente na conversão química directa de combustíveis fósseis (50% a partir do gás natural, 30% de petróleo e quase 20% de carvão, sendo apenas 4% proveniente da electrólise da água (conversão electro-química)).

ANEXO 3 - JOGO DE CARTÕES COM CURIOSIDADES ALUSIVAS ÀS BIOENERGIAS



hidrogénio a partir de resíduos de alumínio?



biocombustíveis?



Onde devem ser colocados os óleos alimentares usados (OAU)?

A molécula de H_2O liga-se a dois pontos do aglomerado de alumínio, um dos quais se comporta como um ácido ao atrair um eletrão; e o outro como uma base ao libertar um eletrão. O ácido liga-se ao oxigénio da água e a base liberta um átomo de hidrogénio. Cada conjunto de duas reações gera uma molécula de gás de hidrogénio (H_2).

Sim, fixa objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes”, estabelecendo ainda “critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis. Houve também a criação de um incentivo fiscal relativo à produção de biocombustíveis. Assim, para promover o mercado dos biocombustíveis foi reduzida a carga fiscal incidente nos biocombustíveis e em particular no imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos.

No óleo - o correto destino para este tipo de resíduo é a valorização, ou seja, a reciclagem de OAU para a produção de biocombustível, o biodiesel.

O Decreto-Lei n.º 267/2009, de 29 de Setembro, proíbe a “descarga de OAU nos sistemas de drenagem, individuais ou coletivos, de água residuais” de forma a evitar riscos associados à contaminação dos solos e das águas subterrâneas e superficiais e proíbe também a “deposição em aterro de OAU, nos termos do regime jurídico da deposição de resíduos em aterro”



Conhecem a Energia do Hidrogénio?

A energia do hidrogénio é a energia que se obtém da combinação do hidrogénio com o oxigénio produzindo vapor de água e libertando energia que é convertida em energia elétrica. Existem vários veículos automóveis que são movidos a hidrogénio.

Embora não seja uma fonte primária de energia, o hidrogénio constitui uma forma conveniente e flexível de transporte e uso final da energia, uma vez que pode ser obtido de diversas fontes energéticas, como o petróleo, o gás natural, a eletricidade e a energia solar. A combustão do hidrogénio não é poluente pois é produto da combustão da água.



Quais as vantagens do biodiesel?

Vantagens: Origem nacional que contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis importados. Os riscos de transporte e armazenamento deste biocombustível são inferiores quando comparados com o gasóleo por apresentar um risco de explosão baixo e por ser um combustível biodegradável. O biodiesel apresenta ainda um elevado poder de lubrificação pelo que contribui para prolongar a vida do motor e para reduzir os respetivos ruídos.

A eficiência na combustão é significativa e a diminuição das emissões poluentes permite um melhor desempenho ambiental no transporte rodoviário.



Quais as desvantagens do biodiesel?

Desvantagens: Poderá apresentar custos elevados de produção e apresenta uma escassa disponibilidade em postos de abastecimento. Em climas frios o B100 sem aditivo não deverá ser utilizado caso as temperaturas mínimas sejam inferiores a 0°C e o B20 não deverá ser usado em climas com temperaturas mínimas inferiores a -15°C.