

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

André Filipe da Silva Monteiro

Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2011

Resumo

O petróleo, que desde há 100 anos para cá tem possibilitado a evolução a passos largos da humanidade, irá acabar eventualmente. Calcula-se que o pico do petróleo (*peak oil*) tenha ocorrido por volta de 1970 nos Estados Unidos da América e em outros 60 países produtores de petróleo, de um total de 80, e que poderá já ter ocorrido a nível mundial (Hubbert, 1974; Energyfiles, 2007; Strahan, 2007 citados em Hall *et al.*, 2008). Segundo Campbell e Laherrère (1998) o pico de petróleo ocorrerá entre 2010 e 2015, ou seja, poderá já ter ocorrido.

É cada vez mais difícil a sua extracção. O retorno obtido face ao investimento, nos E.U.A., situa-se actualmente entre 11:1 e 18:1, contra cerca de 100:1 retirados nos anos 30 (Hall *et al.*, 2008). Este valor tem como limite a razão 1:1, isto se se considerar que um dos objectivos do petróleo é o de produzir energia através da queima dos seus produtos destilados. Passa então a ser economicamente inviável, ou seja, não lucrativa, a extracção de petróleo para produção de energia, pois investe-se mais energia na extracção do que aquela que se obtém do petróleo retirado do poço. O petróleo passará a ser encarado como uma matéria-prima nas indústrias farmacêuticas e de materiais poliméricos, entre outras, deixando por isso de ser considerado um recurso energético. É mais ou menos consensual que ao ritmo de consumo actual, em 50 anos, aproximadamente, o petróleo acabará, assim como o gás natural em 65 anos e o carvão em 200 (Soetaert e Vandamme, 2007). Torna-se imperativo portanto, o desenvolvimento de técnicas de recolha ou aproveitamento de uma nova fonte primária de energia que faça as vezes dos destilados de petróleo que têm vindo a alimentar os veículos automotrizes de há um século para cá.

O etanol tem vindo a ser estudado como uma alternativa ao petróleo desde 1826, quando Samuel Morey fez uso do etanol no primeiro protótipo do motor de combustão interna nos E.U.A. (Gnansounou, 2009). Henry Ford chegou a criar o mítico Ford T com o intuito de que este utilizasse o etanol como combustível, muito antes de se pensar no fim das reservas petrolíferas! Três dos principais argumentos a favor do etanol, aclamados pelos adeptos do mesmo, são: o seu menor valor de emissões de gases com

efeitos de estufa (CO₂, nomeadamente), a possibilidade de ser produzido a partir de biomassa (bioetanol), que é um recurso renovável, e a possibilidade de ser produzido dentro de fronteiras, ou seja, no país onde irá ser consumido, implicando uma redução da importação de combustíveis do exterior.

Portugal possui área agrícola desaproveitada tal como, por exemplo, os terrenos destinados à produção de beterraba açucareira, que acabaram por ser abandonados devido à imposição de cotas de produção de açúcar por parte da Comunidade Europeia (CE) que levaram ao término dos apoios de incentivo à produção, acarretando a consequente perda de competitividade dos agricultores portugueses face aos grandes produtores Europeus e acabando no abandono desta prática de cultivo. Desta feita, seria difícil a manutenção da refinaria de açúcar da DAI e esta acabou por ser encerrada, pois não conseguiu suportar a falta de matéria-prima a preços economicamente viáveis. O melaço de beterraba, resultante da refinação da beterraba, é uma das matérias-primas utilizadas na produção de bioetanol e é considerado como desperdício na indústria açucareira.

Além destes terrenos, cuja utilização actual é desconhecida, cada vez mais se verifica uma desertificação do meio rural no país, devido à atracção pela zona costeira por parte dos mais jovens, que apresenta melhores ofertas nas áreas do emprego, saúde, diversão, cultura, etc., levando à descontinuidade do trabalho agrícola laborado pelas gerações precedentes e ao consequente abandono de terreno arável.

Por estes motivos apresentados, este trabalho teve como objectivo avaliar as potencialidades que Portugal tem de produzir bioetanol a partir de recursos internos, ajudando a diminuir o aporte energético vindo do exterior sob a forma de petróleo, com o intuito de locomover o homem no dia-a-dia, e ajudando, porventura, a impulsionar os subdesenvolvidos sectores agrícola e empresarial português.

Abstract

Oil, which enabled the fast development of humanity in the late 100 years, will end eventually. It is estimated that peak oil occurred around 1970 in the United States and 60 other oil producing countries, out of 80, and may already have occurred worldwide (Hubbert, 1974; Energyfiles, 2007; Strahan, 2007 cited in Hall *et al.*, 2008). According to Campbell and Laherrère (1998) peak oil will occur between 2010 and 2015, or may already have occurred.

Its extraction is becoming increasingly difficult. Return on investment achieved in the U.S. currently stands between 11:1 to 18:1, compared to about 100:1 drawn out in the 30's (Hall *et al.*, 2008). This value is bound by 1:1 ratio, if one considers that the purpose of oil is to produce energy by burning its distillates. Then the extraction of oil for energy becomes uneconomical, i.e., non-profitable, because the energy investment in its extraction from the well surpasses the energy obtained from the oil. Oil will be seen as a raw material in pharmaceutical and polymer materials industries, among others, and its usage as an energy resource will be discarded. It is more or less consensual that in 50 years or so, according to the current consumption rate, oil will eventually disappear, as well as natural gas in 65 years and coal in 200 (Soetaert and Vandamme, 2007). It is imperative, therefore, to develop techniques for collection or use of a new primary energy source equivalent to petroleum distillates that have been fueling automotive vehicles from over a century ago.

Ethanol has been studied as an alternative to petroleum since 1826, when Samuel Morey made use of ethanol in the first prototype of the internal combustion engine in the U.S. (Gnansounou, 2009). Henry Ford created the legendary Model T having in mind the use of ethanol as fuel, long before scientists began thinking about the end of oil reserves! Three of the main arguments in favor of ethanol, hailed by its supporters, are the lower emissions of greenhouse gases (CO₂, namely), the possibility of being produced from biomass (bioethanol), which is a renewable resource, and the possibility of being produced within borders, i.e., in the country where it will be consumed, implying a reduction of fuel imports from abroad.

Portugal has idle agricultural land, such as, for example, land once used in the production of sugar beet, which was eventually abandoned due to the imposition of quotas for sugar production by the European Community (EC) that led to the extinction of subsidies to encourage production, leading to loss of competitiveness of Portuguese farmers against the major European producers and the abandonment of cultivation. As is, it would be difficult to maintain DAI's sugar refinery, because it did not withstand the lack of raw material at economically viable prices. Beet molasses, resulting from the refining of beet sugar is a raw material used in the production of bioethanol and it is considered a waste from sugar industry. In addition to the idle agriculture land, whose use is unknown, depopulation of rural areas increases rapidly all over the country, due to the attraction of coastal areas by the younger population, offering them better employment, healthcare, entertainment, cultural development, etc., leading to disruption of the agricultural work done by previous generations and the consequent abandonment of arable land.

The present work aimed to evaluate Portugal's potential to produce bioethanol from domestic resources, helping to reduce energy imports from abroad as oil, in order to keep humanity moving day by day, and helping, perhaps, to boost the underdeveloped Portuguese agriculture and business sectors.

Agradecimentos

Ao Prof. Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho por toda a bibliografia cedida, pelas orientações de pesquisa relacionada com o tema em questão e pelas conversas semanais nas quais aprendi um pouco mais sobre o que é ser Engenheiro.

À Eng^a. Daniela Silva, do INEGI, pela informação e dados estatísticos sobre a produção agrícola nacional.

Ao meu pai, Timóteo Monteiro, pela ajuda na pesquisa de informação do domínio da Agronomia, dados agrícolas nacionais e pelas discussões acerca da problemática da energia.

À minha mãe, Maria Helena Monteiro, pelo encorajamento.

À minha namorada, Sara Silva, pelas vezes que se privou de tempo comigo para que eu pudesse trabalhar.

A Deus, por tudo o que levou a que eu tenha chegado até aqui.

Índice

Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	xii
1 O problema do petróleo.....	2
1.1 Principais fontes energéticas e o porquê dos biocombustíveis líquidos	2
1.2 Breve perspectiva histórica da origem e exploração do petróleo	7
1.2.1 A formação de petróleo	7
1.2.2 História da exploração do petróleo	9
1.3 As reservas de petróleo em queda e o retorno obtido face ao investimento	11
1.3.1 Reservas de petróleo restantes	11
1.3.2 Diminuição do retorno face ao investimento associada à exploração de petróleo	18
2 Bioetanol e outros biocombustíveis	22
2.1 Breve revisão dos principais biocombustíveis.....	22
2.2 História do etanol como combustível	25
2.3 Principais características do etanol	27
2.4 Processo de produção de bioetanol	28
2.4.1 Etanol a partir de sacarose	33
2.4.1.1 Culturas ricas em sacarose cultiváveis em Portugal e potenciais fontes de bioetanol	38
2.4.1.2 Produção de etanol a partir de beterraba sacarina	42
2.4.2 Etanol a partir de amido.....	47
2.4.2.1 Culturas ricas em amido cultiváveis em Portugal e potenciais fontes de bioetanol	51
2.4.2.2 Produção de etanol a partir de batata	59

3	Cálculos efectuados e resultados obtidos	65
3.1	Produção anual de etanol	65
3.2	Gastos energéticos na produção de beterraba e batata.....	68
4	Discussão e conclusões	85
5	Referências bibliográficas	94
6	Anexos.....	101
	Anexo A – Biocombustíveis	102
	Anexo B – Dados agrícolas nacionais	103
	Anexo C – Contas de cultura da beterraba sacarina e da batata	108
	Anexo D – Culturas exóticas alternativas.....	112
	Anexo E – Lista de unidades	118

Lista de tabelas

Tabela 1 - Biocombustíveis em produção a nível industrial e em desenvolvimento e estágio de testes (Reijnders e Huijbregts, 2009).....	24
Tabela 2 - Produção de biocombustíveis em 2009 por país (IEA, 2010).....	25
Tabela 3 - Consumo energético do processo de conversão em etanol de diversas culturas alimentares e de resíduos industriais e biológicos (Krochta, 1980)	33
Tabela 4 - Capacidade de metabolização de açúcares com 5 e 6 átomos de carbono por parte de 3 leveduras (Senn e Pieper, 2001)	35
Tabela 5 – Quantidade recomendada de nutrientes a aplicar no cultivo da beterraba sacarina sem análise prévia do solo (Velez e Canha, 2001).....	43
Tabela 6 - Produção de etanol de diversas culturas por unidade de área cultivada (Freudenberger, 2009).....	54
Tabela 7 - Área cultivada por cultura necessária destinada a produzir etanol suficiente para alimentar um automóvel de dimensão média que percorra 15.000 km/ano, consumindo para tal aproximadamente 2000 l de bioetanol (Nag, 2010).....	58
Tabela 8 - Balanço energético de diferentes culturas na produção de etanol no Chile (Contreras <i>et al.</i> , 2010).....	59
Tabela 9 - Quantidade recomendada de nutrientes a aplicar no cultivo da batata, com produção esperada de 40 a 50 t/ha (ADP Fertilizantes, 2010)	59
Tabela 10 - Produção nacional de beterraba sacarina desde 2006 a 2009, incluindo o ano de maior produção	66
Tabela 11 - Produção nacional de batata desde 2006 a 2009, incluindo o ano de maior produção	66
Tabela 12 - Produção anual de etanol a partir de beterraba.....	67
Tabela 13 - Produção anual de bioetanol a partir de batata.....	67
Tabela 14 – Operações de cultivo da beterraba sacarina.....	69
Tabela 15 - Operações de cultivo da batata	70
Tabela 16 - Consumo de combustível anual por operação de cultivo da beterraba	72
Tabela 17 - Consumo de combustível anual por operação de cultivo da batata.....	73
Tabela 18 - Consumo energético associado ao transporte da beterraba	74
Tabela 19 - Consumo energético associado ao gasto anual de combustíveis no cultivo de beterraba e batata	75

Tabela 20 - Consumo energético anual por unidade de área para a operação de rega da beterraba	76
Tabela 21 – Consumo energético anual por unidade de área para a operação de rega da batata.....	76
Tabela 22 - Consumo energético associado ao bombeamento de água para irrigação da beterraba e da batata	77
Tabela 23 - Energia específica de consumo no fabrico dos três principais fertilizantes	78
Tabela 24 - Energia associada ao consumo dos três principais fertilizantes	78
Tabela 25 - Consumo energético anual associado à utilização de fertilizantes.....	79
Tabela 26 - Consumo energético na conversão de beterraba em etanol.....	80
Tabela 27 - Consumo energético na conversão de batata em etanol	80
Tabela 28 - Consumo energético associado ao processo de conversão da matéria-prima em etanol	81
Tabela 29 - Balanço energético à produção de etanol a partir de beterraba.....	82
Tabela 30 - Balanço energético à produção de etanol a partir de batata	82
Tabela 31 – REDI da beterraba na chegada à fábrica de etanol	90
Tabela 32 – REDI da batata na chegada à fábrica de etanol	90
Tabela 33 - Comparação dos valores de REDI da beterraba e do etanol produzido a partir de beterraba.....	91
Tabela 34 - Comparação dos valores de REDI da batata e do etanol produzido a partir de batata.....	91
Tabela A35 - Problemas e adaptações necessárias a efectuar nos biocombustíveis correntes (Reijnders e Huijbregts, 2009).....	102
Tabela B36 - Produção das principais culturas no período de 2007 a 2009 (INE, 2010)	107
Tabela B37 - Consumo de fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos no período de 2006 a 2008 (INE, 2010)	107
Tabela C38 - Contas de Cultura das Actividades Vegetais da beterraba sacarina (GPPAA, 2001)	109
Tabela C39 - Contas de Cultura das Actividades Vegetais da batata (GPPAA, 2001)	111
Tabela D40 - Necessidades nutricionais do tupinambo (El Bassam, 2010).....	114
Tabela D41 - Características de três variedades de tupinambo (El Bassam, 2010)	114

Tabela D42 - Produção de etanol por unidade de massa e por unidade de área do tupinambo (Kays e Nottingham, 2008)	115
--	-----

Lista de figuras

Figura 1 – Consumo energético mundial em 2009, não contabilizando a contribuição das energias eólica, solar, geotérmica e biomassa (BP, 2010)	2
Figura 2 - Panorama do consumo energético nacional de 2000 a 2008 (DGGE, 2011) ..	6
Figura 3 – Consumo energético final nacional por sector de actividade nos anos 1974 e 2008 (IEA, 2010a)	7
Figura 4 – Energia consumida mundialmente por sector em 2005 (Olah <i>et al.</i> , 2009) ..	12
Figura 5 – Tendência de evolução, em valor absoluto, do consumo de energia por sector entre 2008 e 2035 (IEA, 2010b)	12
Figura 6 – Previsão do consumo de energia por unidade de PIB (BP, 2011)	13
Figura 7 – Previsão de 2004 das reservas de petróleo e gás natural segundo a ASPO (Hall <i>et al.</i> , 2008)	15
Figura 8 – Previsões para as reservas de petróleo ao longo dos últimos 70 anos (Olah <i>et al.</i> , 2009)	16
Figura 9 – Reservas descobertas e produção de petróleo a nível mundial (IEA, 2010b)	17
Figura 10 – Andamento da extracção de petróleo e da profundidade de perfuração anual acumulada, desde 1953 até 2005, nos Estados Unidos da América (Hall <i>et al.</i> , 2008) .	19
Figura 11 - Evolução na produção mundial de biocombustíveis na última década (IEA, 2010b)	27
Figura 12 - Fluxograma generalista da produção industrial de etanol (Nag, 2008)	29
Figura 13 - Esquema simplificado da fermentação da sacarose e do amido em etanol. Invertase e zimase são duas enzimas presentes no fermento <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , entre outros (Gupta e Demirbas, 2010)	31
Figura 14 - Molécula de glicose (Freudenberger, 2009)	34
Figura 15 - Conversão da glicose em etanol e CO ₂ recorrendo à <i>S. cerevisiae</i> em ambiente anaeróbio (Nichols <i>et al.</i> , 2006)	36
Figura 16 - Distribuição mundial da produção de cana-de-açúcar (Wikipedia, 2011f) .	39
Figura 17 - Beterraba sacarina (Salem News, 2010)	41
Figura 18 - Distribuição mundial da produção de beterraba sacarina (Wikipedia, 2011e)	41
Figura 19 - Colhedeira de beterraba acompanhada de um camião que recolhe a beterraba (ColoradoGuy.com, 2008)	44

Figura 20 - Esquema do processo de conversão da beterraba em etanol a 99,5 % de pureza (Šantek <i>et al.</i> , 2010).....	45
Figura 21 - Produção de etanol por hectare de terreno agrícola (El Bassam, 2010)	46
Figura 22 - Molécula de amido na qual estão indicadas as ligações glicosídicas (Gupta e Demirbas, 2010)	47
Figura 23 - Acção de enzimas sobre as moléculas de amido (Nag., 2010).....	48
Figura 24 - Fluxograma da hidrólise enzimática do amido (Freudenberger, 2009)	49
Figura 25 - Esquema da produção de etanol a partir de amido (Senn e Pieper, 2001)...	50
Figura 26 – Distribuição mundial da produção de milho (Wikipedia, 2011d).....	52
Figura 27 - Produção de etanol por tonelada de matéria-prima (El Bassam, 2010).....	53
Figura 28 – Batateiros (Wikipedia, 2011c)	56
Figura 29 - Batata (Buy Burpee Seeds Online, 2011)	56
Figura 30 - Distribuição mundial da produção de batata (Wikipedia, 2011c)	57
Figura 31 - Colhedeira de batata (Farndon Fields Farm Shop, 2011)	60
Figura 32 - Processo de cozedura a alta pressão num forno Henze (Senn e Pieper, 2001)	61
Figura 33 - Fluxograma da produção de etanol a partir de batata (Contreras <i>et al.</i> , 2010)	62
Figura B34 - Produção nacional de beterraba no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)	103
Figura B35 - Produção nacional de batata no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)....	104
Figura B36 - Produção nacional de milho no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)....	105
Figura B37 - Produção nacional de trigo no período de 1980 a 2006 (INE, 2007).....	106
Figura D38 – Tupinambo ou girassol batateiro (Wikipedia, 2011g).....	112
Figura D39 – Tubérculos de tupinambo (InfoJardim, 2005).....	113
Figura D40 - <i>Agave tequilana</i> (Wikipedia, 2011a)	116
Figura D41 - Caule de agave-azul adulto (Renewable Energy World.com, 2011).....	116

Capítulo 1

No presente capítulo pretende-se dar a conhecer o que levou à realização deste trabalho, nomeadamente as reservas de petróleo cada vez menores, que tendem a tornar-se cada vez mais escassas, face à crescente procura e incessante exploração do petróleo, desde o início da sua extracção industrial até aos dias de hoje. É necessário encontrar uma nova fonte primária de energia que faça as vezes do petróleo e o etanol é um dos candidatos.

1 O problema do petróleo

1.1 Principais fontes energéticas e o porquê dos biocombustíveis líquidos

As principais fontes energéticas dividem-se em três categorias: fóssil, renovável e nuclear. A mais importante de todas é a energia fóssil, dado que actualmente quase 90 % da energia consumida no mundo é proveniente de reservas de energia fóssil, Figura 1. Dentro das energias fósseis o petróleo assume especial relevância, pois em média cada pessoa consome 4,8 barris/ano (Gupta e Demirbas, 2010).

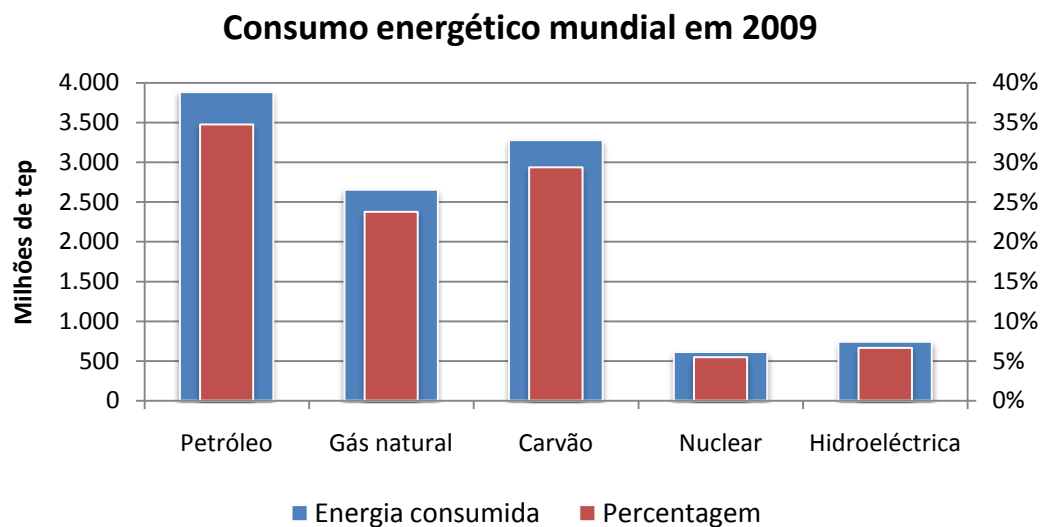


Figura 1 – Consumo energético mundial em 2009, não contabilizando a contribuição das energias eólica, solar, geotérmica e biomassa (BP, 2010)

Neste gráfico apenas se consideram as principais fontes energéticas a nível mundial, apesar de que em determinados casos poderão não ser estas as fontes primárias. A energia fóssil divide-se em várias categorias, sendo elas petróleo, gás natural, carvão, betume, xistos betuminosos e areias betuminosas.

Inicialmente, a espécie humana utilizou fontes renováveis para servir as suas parcas necessidades energéticas. A primeira terá sido a biomassa, sobretudo madeira, que seria utilizada para a produção de calor para aquecimento de água e ambiente, assim como para a confecção de alimentos. A força animal e humana também podem ser consideradas fontes renováveis, dado que a qualquer actividade era indispensável a mão-de-obra humana, assistida em tarefas pesadas por força animal, particularmente em actividades de cultivo e para transporte humano e de mercadorias. A energia hídrica e eólica também terão sido utilizadas, apesar do seu baixo rendimento, para tarefas como moagem de grão para a produção de farinha ou obtenção de energia mecânica. As energias renováveis incluem a eólica, hídrica, biomassa, solar, geotérmica e ondas. Convém salvaguardar que a energia geotérmica pode não ser considerada renovável, no sentido restrito da expressão, pois a energia retirada do interior do planeta não é renovada perpetuamente, pois esta resulta do decaimento radioactivo que tem lugar no interior do planeta, correndo-se o risco de exaurir as reservas de vapor de água se esta não for novamente injectada na crosta terrestre (Olah *et al.*, 2009).

A energia nuclear, devido às suas implicações ambientais e ao legado que deixa à descendência da actual geração, não poderá ser considerada como uma fonte viável no suprimento das necessidades energéticas do dia-a-dia tais como locomover um automóvel ou gerar energia eléctrica em locais sem acesso à rede. Esta fonte utiliza a energia contida em elementos químicos radioactivos como, por exemplo, o plutónio e o urânio.

O progresso conseguido à custa de energia de origem fóssil, sobretudo petróleo e carvão, nos últimos 100 a 200 anos, é avassalador face ao ritmo da evolução tecnológica ao longo da história humana. Para isto contribuiu muitíssimo a facilidade de transporte pessoal e de bens materiais à custa dos combustíveis líquidos. Uma das principais razões para a utilização massiva destes prende-se com a sua elevada concentração energética e portabilidade. Aqui, os produtos derivados do petróleo, como a gasolina e o gasóleo, detêm a supremacia. Considere-se o exemplo de um automóvel alimentado a derivados de petróleo e um alimentado a energia eléctrica. Se numa situação de emergência o combustível acaba a caminho do local de destino, é extremamente difícil transportar um conjunto de baterias ou um cabo de alimentação para fornecer energia

eléctrica ao veículo. Por outro lado, um combustível líquido apenas precisa de um recipiente vazio para ser transportado até ao local onde ficou parado o automóvel.

A industrialização fez com que o homem optasse por fontes de energia fóssil, de maior densidade energética, em detrimento de energias renováveis, com menor densidade energética e com fraca disponibilidade de recurso. Daí que a mera visão do fim desta fonte energética, outrora imaginada como inesgotável, seja preocupante.

No entanto, apesar das muitas vantagens dos combustíveis fósseis, existe o revés da medalha, ou seja, a sua distribuição a nível global é parca. Calcula-se que apenas 2 % da população mundial do Médio Oriente detenha cerca de 63 % das reservas de petróleo convencional (Gupta e Demirbas, 2010). As fontes de energia renováveis encontram-se distribuídas de forma mais equitativa no globo terrestre, o que traz benefícios e maior estabilidade a países dependentes do petróleo e que têm nas renováveis uma possibilidade de diminuição da importação energética. Prevê-se que por volta do ano 2040, 50 % da energia consumida tenha origem em fontes renováveis e que 80 % da energia eléctrica gerada provenha destas (Gupta e Demirbas, 2010).

Contudo, e como já foi mencionado, as energias renováveis eólica, solar e hídrica poderão não representar uma alternativa viável, a curto prazo, para a alimentação de veículos, que é um dos principais sectores consumidores de combustíveis líquidos. Em Portugal, a produção de energia eólica está prestes a atingir o seu expoente (soluções em terra) e os locais mais promissores já estão ocupados e outros restantes poderão encontrar-se em locais protegidos, como reservas ecológicas, terrenos com interesse arqueológico ou terrenos particulares. Além disso, o recurso eólico não é constante. Esta fonte de energia, o vento, falha em caso de picos de consumo, para os quais é necessário fornecer energia extra à rede, ou fases de menor consumo (durante a noite), nas quais a energia eléctrica proveniente do parque eólico não é injectada na sua totalidade na rede. Este último senão é, por vezes, atenuado utilizando a energia superabundante para bombear água para as albufeiras de barragens que se encontrem dentro do raio de influência do parque eólico (isto é, dentro da região beneficiada pela energia eléctrica gerada pelo parque eólico), armazenando assim energia sob a forma de potencial gravítico. Além destes, existe a agravante de que as zonas mais propícias começam a ficar densamente exploradas, criando impacto visual.

Até 2008, Portugal possuía 2126 MW de potência eólica instalada, apresentando o alvo de 5100 MW em 2012 (IEA, 2009).

Quanto à energia solar fotovoltaica, o mesmo problema de armazenamento se coloca como a principal desvantagem, ao qual se juntam o facto de que a maioria das soluções comerciais possui um baixo rendimento (cerca de 10 %) e o recurso é ainda mais escasso do que a energia eólica, pois não havendo sol não há produção. Por cima disto, ainda recai o preço elevado de investimento inicial nos painéis fotovoltaicos (para cima de 500 €/m²) face a uma tão baixa densidade energética.

Finalmente, a energia hídrica tem um panorama semelhante ao sector eólico, pois as grandes barragens com elevado potencial de produção já se encontram em funcionamento – 4871 MW de potência instalada em 2007 e com 7000 MW de potência prevista para 2020 (IEA, 2009). Além disso, empreendimentos hídricos de grande dimensão estão sujeitos a grande escrutínio por parte das entidades ambientalistas, devido às implicações que uma albufeira de grandes dimensões acarreta: inundação de terrenos, destruição subsequente da fauna e da flora nativas, acumulação de detritos biológicos nas albufeiras que dão origem a superabundância de nutrientes impedindo a sobrevivência da fauna aquática, etc.

As formas de armazenamento portáteis de energia eléctrica produzida a partir destas fontes, que geralmente são baterias, ainda não são suficientemente capazes de acumular grandes quantidades de energia para serem transportadas em pequenos volumes: por exemplo, as baterias de sulfato de vanádio líquido, desenvolvidas pela empresa australiana *Pinnacle VRB*, requerem 87 l deste material para armazenar 1 kWh de energia eléctrica sob a forma de energia química¹ (Fergusson, 2008).

Para o sector doméstico, que não necessita de energia facilmente transportável como é o caso dos sectores automóvel e aeronáutico, por exemplo, estas fontes renováveis são uma alternativa viável para suprir parte do consumo actual, apesar de necessitarem de um aumento razoável na potência instalada nas próximas décadas para fazer face à crescente procura energética. Também é de vital importância o aumento da eficiência térmica dos edifícios construídos actualmente, com a utilização de materiais

¹ Valor calculado a partir de dados de um artigo publicado na revista *New Scientist*, a 13 de Janeiro de 2007, intitulado “*A Bank for the wind: at last we can store vast amounts of energy and use it when we need it*” e escrito por Tim Thwaites (Fergusson, 2008).

isolantes, uma concepção do edifício que vise o aproveitamento passivo da energia solar como forma de aquecimento (costume salutar desenvolvido ao longo de séculos e que se desvaneceu com o “boom” construtivo de há 20 anos a esta parte, em Portugal), utilização de soluções de aquecimento de água e ambiente recorrendo a colectores solares térmicos, entre outras soluções construtivas que melhoram o desempenho energético dos edifícios actuais e vindouros.

Como se pode observar no gráfico seguinte, que utiliza dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) de 2008, a contribuição das energias renováveis no mercado energético português é ainda diminuta, face à contribuição fóssil:

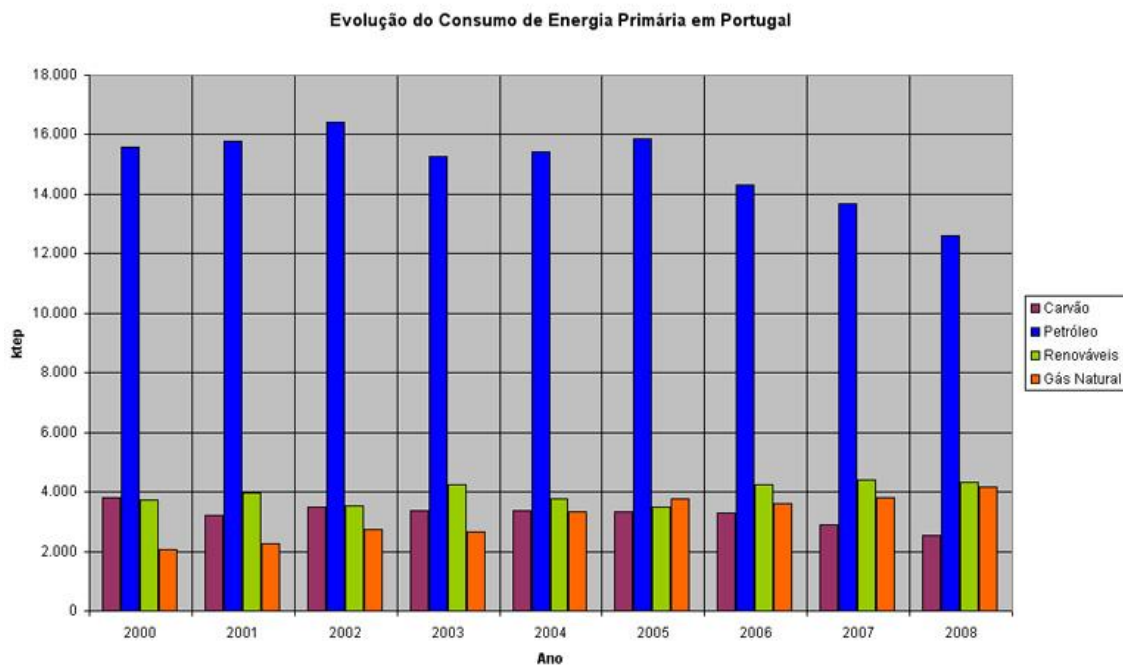


Figura 2 - Panorama do consumo energético nacional de 2000 a 2008 (DGGE, 2011)

Daí que a curto e médio prazo, os combustíveis líquidos continuem a suprir grande parte das necessidades energéticas no que toca ao sector dos transportes, um dos grandes sectores consumidores de energia da actual sociedade. Apenas uma ínfima parte é coberta por outras fontes de energia, como se pode observar na Figura 3.

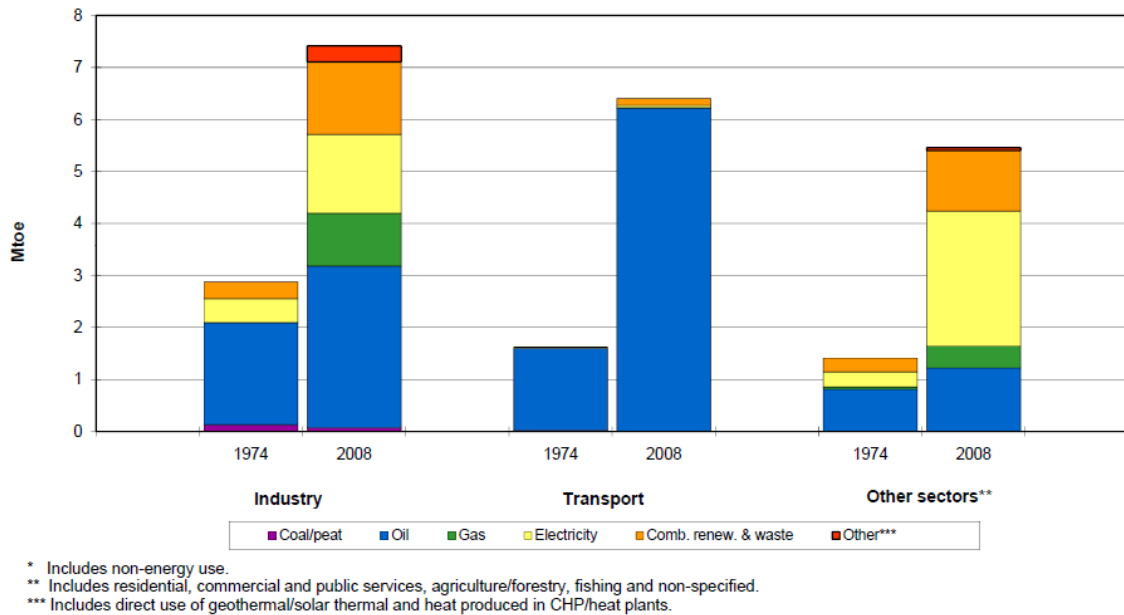


Figura 3 – Consumo energético final nacional por sector de actividade nos anos 1974 e 2008 (IEA, 2010a)

Devido ao peso que o petróleo tem nos meios de transporte e no aporte energético nacional, o trabalho que se apresenta seguidamente colocará especial ênfase no sector transportador como consumidor de combustíveis líquidos, no qual se insere o bioetanol.

1.2 Breve perspectiva histórica da origem e exploração do petróleo

1.2.1 A formação de petróleo

Existem duas explicações possíveis para a formação do petróleo, embora uma seja mais consensual do que a outra: a origem do petróleo é biológica, resultado da degradação de matéria orgânica, ou então é abiótica, resultado de reacções químicas no seio da Terra. A mais consensual, a teoria biogénica, afirma que os combustíveis

fósseis, nomeadamente petróleo, carvão e gás natural, provêm da decomposição de matéria orgânica, de origem animal e vegetal, em ambientes redutores a pressão e temperatura elevadas, tendo por exemplo o fundo dos oceanos. Ao longo de milhões de anos, os corpos de uma miríade de seres vivos acumularam-se no fundo dos oceanos que habitavam, conjuntamente com vegetação tanto marinha como terrestre. Da mesma forma que as camadas sedimentares encontradas, por exemplo, na formação de uma montanha denotam a deposição de diferentes materiais ao longo dos tempos, resultantes de cheias, erupções, aluimentos de terrenos, etc., o mesmo ocorreu na base dos oceanos, e camada de matéria orgânica após camada de matéria mineral formou-se uma base sedimentar. Estando sujeita a pressão elevada, resultante da coluna de água sobrejacente que se verifica no fundo do mar, assim como a temperatura alta, resultante de actividade geotérmica, esta mistura deu origem a um material ceroso denominado querogénio (Gupta e Demirbas, 2010), assim como à formação de rochas. Este material, querogénio, continua a decompôr-se na ausência de oxigénio até dar origem a gás e líquido, dependendo da profundidade a que os sedimentos se encontram. Se a matéria orgânica se encontrar a profundidades entre 2500 a 5000 m, aproximadamente, e a temperaturas que rodem os 80 °C, a matéria orgânica decompõe-se dando maioritariamente origem a petróleo. Caso a matéria orgânica fique retida a profundidades superiores a 5000 m e a temperaturas por volta dos 145 °C, o combustível resultante é o gás natural, pois nestas condições as ligações carbono-carbono são destruídas e dão origem a uma das mais simples ligações carbono-hidrogénio: metano (CH_4) (Olah *et al.*, 2009). Este é o composto sempre em maior proporção no gás natural, pelo que muitas vezes as propriedades deste são aproximadas às do metano, embora a composição do gás natural e do petróleo dependam do local geográfico de formação ao qual dizem respeito determinadas fauna e flora. Ambos os resultados da acção do tempo e da mãe natureza têm tendência a deslocar-se através das camadas sedimentares porosas e alojar-se em espaços limitadas por camadas impermeáveis.

Outra possível origem, ainda controversa, explicada pela teoria abiótica, afirma que a formação de ligações carbono-hidrogénio podem ter origem na reacção de carbono com metais a pressão e temperatura elevadas. O carbono pode ter origem em asteróides que colidiram com a terra e a libertação de metano nas zonas de actividade vulcânica suportam esta teoria (Gupta e Demirbas, 2010).

1.2.2 História da exploração do petróleo

O nome petróleo tem origem nas palavras gregas *petra* (pedra) e *elaion* (óleo) (Olah *et al.*, 2009). Os registos mais antigos remontam ao século V, D.C.², na China, onde este era retirado dos reservatórios para ser utilizado na produção de sal; o petróleo era queimado para aquecer e evaporar a água na qual o sal se encontrava dissolvido. O povo Persa registou o uso de petróleo com fins medicinais e para iluminação. O crude, um dos componentes pesados do petróleo, seria utilizado em Bagdad para pavimentar estradas, no século VIII. No Azerbaijão, por volta do século XIII, Marco Polo descreve a extracção de centenas de carregamentos para produção de nafta (Gupta e Demirbas, 2010).

A produção de petróleo como é hoje conhecida começou em 1846, tendo Abraham Gesner refinado querosene a partir de carvão, o que levou Ignacy Lukasiewicz a fazê-lo a partir de óleo mineral, em 1852. Em 1861, Meerzoeff construiu a primeira refinaria de petróleo em Baku, capital do Azerbaijão que possuía uma reserva considerável da matéria-prima (Gupta e Demirbas, 2010).

Na América do Norte, a exploração moderna de petróleo começou em 1858, quando James Miller Williams criou o primeiro poço de extracção, do qual o petróleo brotava à superfície (Gupta e Demirbas, 2010). Edwin Drake acabaria por descobrir petróleo em Titusville, Pennsylvania, revolucionando a extracção através do uso de tubagens metálicas, prevenindo assim o colapso das paredes do poço. Esta inovação permitiu a perfuração a maior profundidade e a produção deste poço rapidamente ultrapassou a da Roménia, na altura o maior fornecedor do território europeu (Gupta e Demirbas, 2010; Olah *et al.*, 2009). Por esta altura os processos tecnológicos necessitavam cada vez mais de petróleo para iluminação e para lubrificantes, levando a um aumento da sua exploração. A iluminação pública nos E.U.A. que era alimentada a óleo de baleia passou a utilizar querosene, um dos derivados do petróleo e do carvão betuminoso, de mais fácil obtenção e aparentemente inesgotável (Olah *et al.*, 2009).

² Depois de Cristo

A exploração industrial em larga escala iniciou-se quando John Rockefeller criou a *Standard Oil Company*, que viria a dominar a exploração e o subsequente tratamento do petróleo, muito devido à criação do motor de combustão interna, o grande consumidor de derivados de petróleo; mais tarde, em 1911, esta companhia viria a ser dividida em 7 empresas, conhecidas como as “7 irmãs”, incluindo alguns gigantes dos dias de hoje, entre as quais se destacam as Chevron, Mobile e Exxon (Olah *et al.*, 2009). A introdução do motor de combustão interna, criado por Nikolaus Otto em 1876, e a produção em massa do automóvel, idealizada e posta em prática por Henry Ford, levaram a uma dispersão do uso de gasolina. Apesar de, como também já foi mencionado, H. Ford ter criado o Modelo T tendo em mente a utilização de etanol como combustível, acabou por circunstâncias acabou por circunstâncias ligadas à disponibilidade e baixo preço da gasolina, a ser este o combustível de eleição dos automóveis.

A produção de gasolina apresentava então um rendimento muito baixo, retirando-se 10 a 20 l por cada 100 l de petróleo (Olah *et al.*, 2009). Esta era separada do petróleo através do seu ponto de ebulição, por um processo de destilação (*thermal cracking*). Obviamente, a destilação do petróleo daria origem a outros combustíveis, que seriam aproveitados em motores diesel (gasóleo) e motores de aviação (querosene). O processo de refinação de petróleo viria a ser melhorado pela introdução, em 1913, da utilização de pressão elevada associada à destilação e mais tarde, em 1936, a refinação volta a sofrer um avanço com a utilização do *catalytic cracking* (Olah *et al.*, 2009)

A exploração de petróleo tem como locais de actividade pontos muito distintos no globo terrestre, que vão desde a América do Norte até à Ásia, passando pela América do Sul (Venezuela, por exemplo), África e Mar do Norte. Os estados de Oklahoma, Texas, Califórnia e Alasca, nos Estados Unidos, os mares Negro e Cáspio e a Sibéria, na Europa e região ocidental da Ásia, nas regiões de Sumatra, Java e Bornéu, na zona oriental da Ásia, são alguns dos locais de exploração não pertencentes à Organização de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). No Médio Oriente encontram-se alguns dos maiores poços de petróleo do mundo, entre eles o al-Burgan, descoberto em 1938 no Kuwait, e o al-Ghawar, em 1948 na Arábia Saudita, que no ano 2000 se pensou conter 7 % do petróleo mundial (Olah *et al.*, 2009).

1.3 As reservas de petróleo em queda e o retorno obtido face ao investimento

1.3.1 Reservas de petróleo restantes

As reservas de petróleo que são extraídas economicamente com a tecnologia actual irão eventualmente acabar. Todo o tipo de produtos de que o homem tira proveito diariamente, nomeadamente, pacotes de iogurte, telemóveis, computadores, tintas, medicamentos, entre muitos outros, objectos e ferramentas aos quais está habituado e sem os quais não funciona, têm como matéria-prima o petróleo. No ano de 2009, o consumo mundial de petróleo situou-se em 84 Mb/d (IEA, 2010b), o que representa metade da produção anual no início do século XX. Continuando com a actual política de consumo, este valor pode aumentar para 99 Mb/d em 2035 segundo IEA (IEA, 2010b), 102 Mb/d em 2030 segundo a BP (2011), sendo estes valores impulsionados pelos países fora da zona OCDE, especialmente os asiáticos. O aumento da população mundial, acompanhado do aumento do nível de vida e evolução tecnológica, elevou o consumo de petróleo de 58 Mb/d para uns impressionantes 85 Mb/d, entre 1973 e 2006 (Olah *et al.*, 2009).

Como já foi mencionado, o sector dos transportes representa uma grande fatia da energia gasta mundialmente, como se pode ver na Figura 4, e de acordo com dados da IEA, este valor irá aumentar entre 2008 e 2035, assim como todos os restantes sectores, Figura 5. Ainda assim, o sector transportador continuará a ser o principal consumidor.

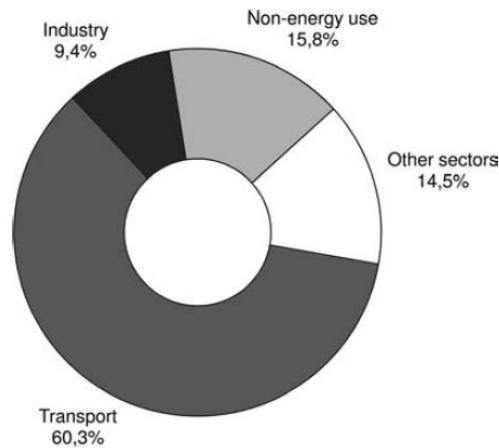


Figura 4 – Energia consumida mundialmente por sector em 2005 (Olah *et al.*, 2009)

As principais fontes energéticas dos transportes, entre os quais automóveis, embarcações e aeronaves, são os refinados de petróleo, que representam 95 % da energia que entra neste sector. Dado que existe uma tendência de aumento no número de veículos motorizados em países em desenvolvimento não-OCDE, como a China e a Índia, é de esperar um grande aumento no consumo de petroquímicos, dado que estes países contêm quase 2/3 da população mundial...

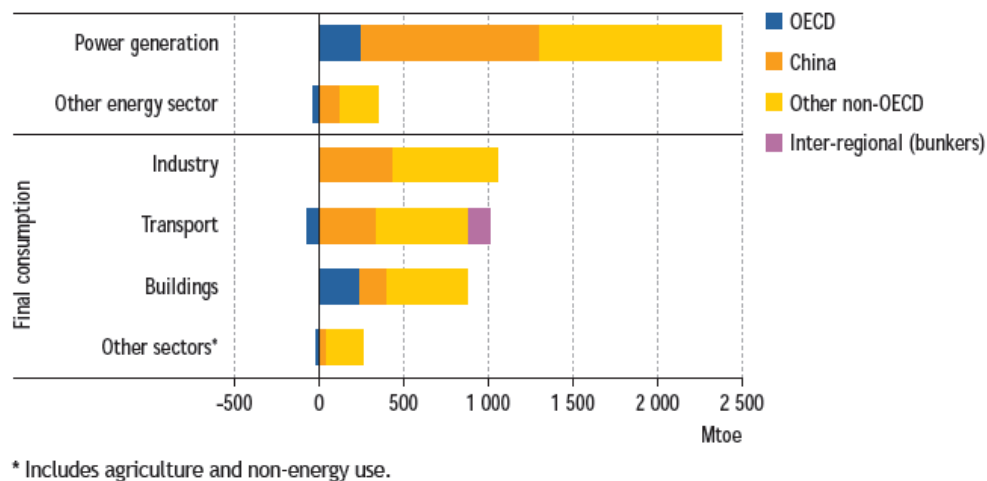


Figura 5 – Tendência de evolução, em valor absoluto, do consumo de energia por sector entre 2008 e 2035 (IEA, 2010b)

Visto que o aumento no consumo é inevitável, pois além do aumento no número de veículos o aumento do nível de vida inclui outras vertentes, desde o acesso a água canalizada até actividades de lazer, e o aumento do poder de compra é acompanhado pelo aumento do consumo de bens, que necessitam de energia para a sua fabricação, transporte e manutenção, além de que esses bens poderão ser também consumidores de energia (transporte, iluminação, aquecimento, instalações sanitárias, etc.), é necessário saber por quanto tempo se poderá contar ainda com energia e matéria-prima baratas. Cada unidade de produto interno bruto gerada tem por detrás uma cota energética que não pode ser desprezada, pelo que também é necessário estimar a energia que será gasta no futuro para produzir riqueza dentro de um país, o que se pode ver na Figura 6.

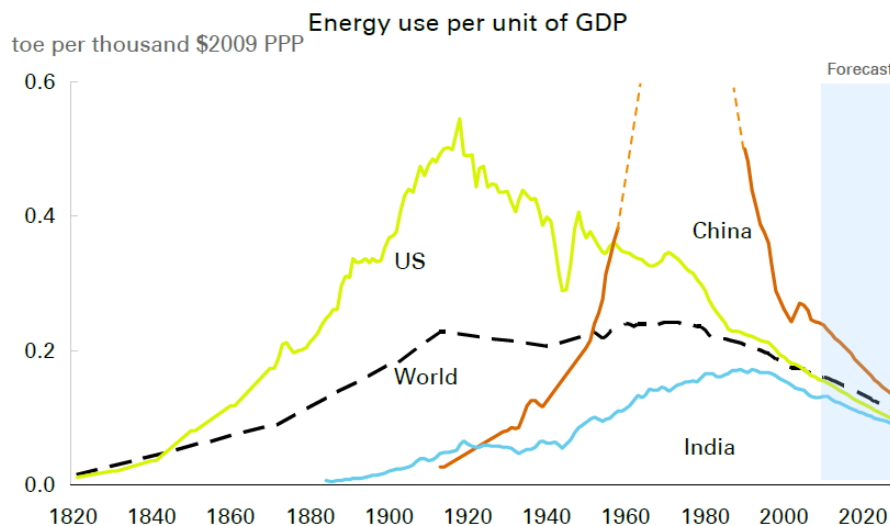


Figura 6 – Previsão do consumo de energia por unidade de PIB (BP, 2011)

Como seria expectável, a China e os Estados Unidos da América (US – *United States* – no gráfico) lideram os consumos, devido à esmagadora indústria produtora e transformadora presente nos dois países. No caso da China, verifica-se que a linha apresenta um pico por volta de 1980, o que se deve às rápidas expansão e evolução industrial à custa de energia barata e abundante: carvão e petróleo. Evidentemente, após este período de consumo excessivo existe um período de refinamento dos processos

instalados, o que leva ao aumento da eficiência energética e a consequente queda do consumo de energia por unidade de PIB³.

Então, se os consumos continuarem com o ritmo actual quanto tempo resta até chegar ao ponto em que não é energética e economicamente viável retirar petróleo dos poços? Com a tecnologia actual é possível retirar entre 40 a 60 % do volume total de um reservatório de petróleo, mas com o aumento do preço por barril vem também o maior investimento na tecnologia de extracção e reservas que eram economicamente inviáveis deixam de o ser. Existem duas ideologias que tentam dar resposta a esta questão: a dos *“technological cornucopians”* e a dos *“peak oilers”* (Hall et al., 2008).

Os primeiros afirmam que o mercado e a tecnologia permitirão os avanços necessários para extrair o petróleo que resta nos poços activos e nas fontes não convencionais, como as areias betuminosas de Alberta (em Athabaska e Cold Lake), no Canadá, que se estimam conter $2,5 \times 10^{18}$ barris de petróleo dos quais 12 % (300×10^{12} barris) se estima que sejam recuperáveis e que igualam as reservas existentes na Arábia Saudita (Olah et al., 2009). Assim, as reservas existentes permitirão uma transição suave e gradual para outras fontes energéticas, igualmente eficazes. A segunda ideologia é mais cautelosa, proclamando que o petróleo, energética e economicamente viável, se restringe a cerca de 1×10^{18} barris, a quantidade aproximadamente consumida desde os primórdios da sua exploração até aos dias de hoje. Além deste valor conservador, também proclamam que o pico de produção de petróleo irá ocorrer num futuro breve ou terá já ocorrido, segundo os principais responsáveis por esta corrente: M. King Hubbert⁴, Colin Campbell e Jean Laherrere. Os dois últimos ter-se-ão inspirado no trabalho de Hubbert, que iniciou o trabalho pioneiro nesta área e descobriu que a extracção de um recurso numa região vasta, seja ele qual for, evolui segundo a forma de um sino, com o aumento de produção seguido de um pico ou patamar, aquando da chegada a cerca de metade das reservas, e o seu posterior declínio (Olah et al., 2009). O declínio na produção não tem obrigatoriamente de seguir o mesmo ritmo que o aumento antes do pico, sendo a produção após o pico moderada de tal forma que as reservas possam ser estendidas pelo máximo período de tempo possível. A partir deste modelo o geofísico determinou que o pico de produção nos 48 estados inferiores dos Estados

³ Produto Interno Bruto

⁴ Geofísico americano que realizou trabalho de investigação científica para a *United States Geological Survey* (USGS) e para a Shell

Unidos ocorreria entre 1956 e 1972, tendo na realidade ocorrido em 1970 (Olah *et al.*, 2009). Além dos Estados Unidos, outros países entraram em remissão, entre eles o Reino Unido (em 1999), a extinta União Soviética e a Noruega.

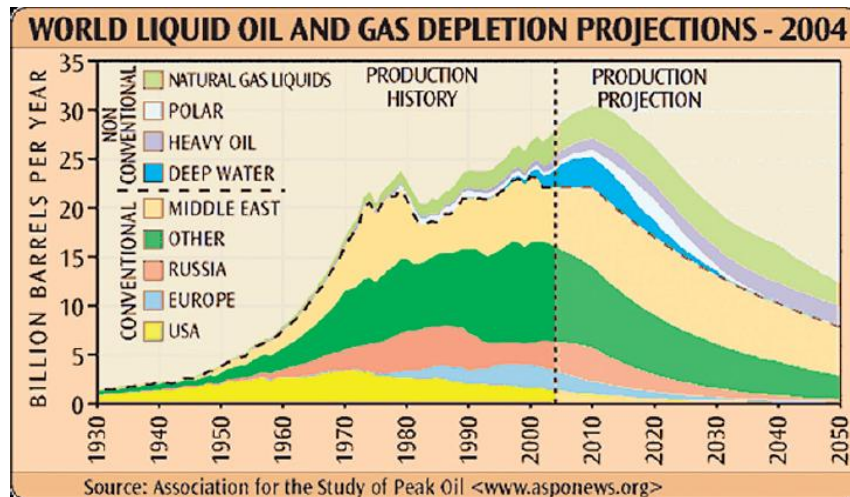


Figura 7 – Previsão de 2004 das reservas de petróleo e gás natural segundo a ASPO (Hall *et al.*, 2008)

Campbel e Lahèrre aplicaram o método de Hubbert e obtiveram uma estimativa para as reservas de petróleo economicamente recuperável de $1,9 \times 10^{15}$ a $2,1 \times 10^{15}$ barris (Olah *et al.*, 2009). Muitos outros tentaram prever ao longo da história por quanto tempo ainda existiria petróleo para suprir as suas necessidades. Compilando os dados das previsões nos últimos 70 anos, obteve-se uma linha de tendência crescente para as reservas convencionais e não convencionais, representada na Figura 8.

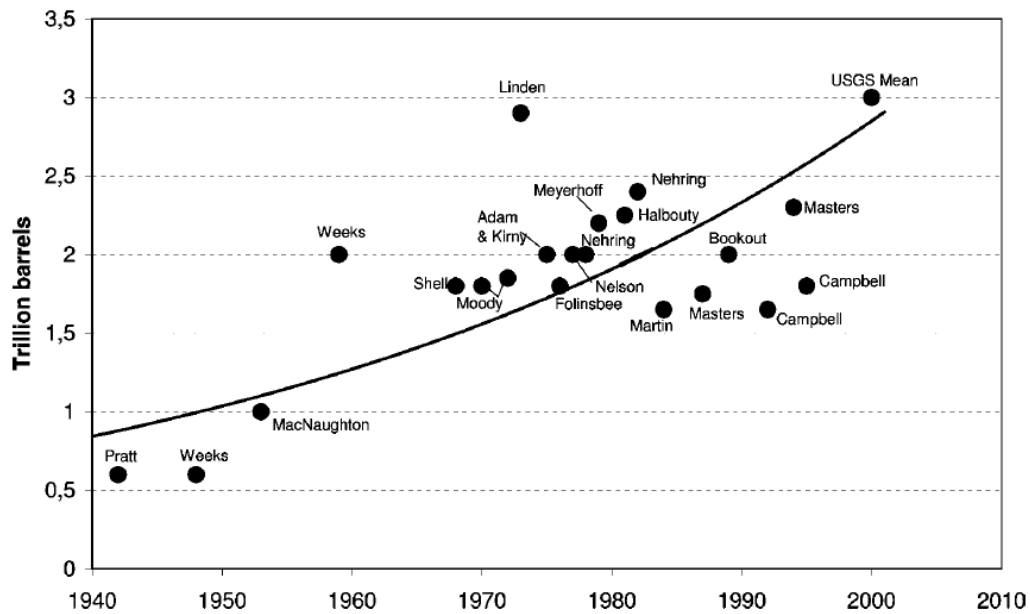


Figura 8 – Previsões para as reservas de petróleo ao longo dos últimos 70 anos (Olah *et al.*, 2009)

Cada vez menos se encontram novas reservas, pois os lugares com melhor acessibilidade e maiores dimensões já foram descobertos e são o alimento do mundo (cerca de 370 poços gigantes), contando apenas com fontes convencionais; cerca de 80 % do petróleo produzido provém de fontes descobertas antes de 1970, a maioria das quais já entrou em declínio (Olah *et al.*, 2009). O mais importante não é a quantidade de petróleo que é possível extrair, mas sim a relação entre a produção e a quantidade requerida para manter a sociedade em movimento. O pico de descobertas de novos campos petrolíferos ocorreu entre 1960 e 1969, vindo a decair desde então, Figura 9.

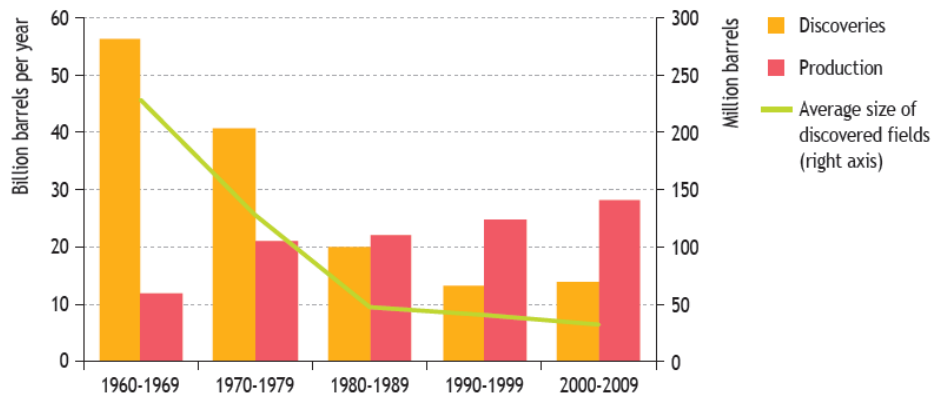


Figura 9 – Reservas descobertas e produção de petróleo a nível mundial (IEA, 2010b)

A produção tem vindo a aumentar progressivamente apesar da diminuição no número de descobertas de novas reservas, o que, como foi dito atrás, resulta do aumento no consumo de derivados de petróleo. Uma das formas de controlar o consumo e obrigar a uma melhoria na eficiência do uso de combustíveis é a variação da produção: aumenta-se a produção e o preço por barril diminui, e vice-versa. A diminuição da produção faz com que o preço aumente, que por sua vez leva as petrolíferas a investir no desenvolvimento, pesquisa e perfuração de novos poços, apesar de não existir uma relação directa entre perfuração e produção, Figura 10. Aumentado a produção, baixa novamente o preço do barril e aumenta o consumo, num ciclo vicioso. Esta estratégia é adoptada pelos países OPEC como uma forma de controlo geopolítico, dado que a maioria do petróleo convencional provém destes países e muitos deles são politicamente instáveis. O Médio Oriente possui alguns dos poços mais produtivos e também algumas das mais complicadas ideologias, por vezes associadas ao poder governativo vigente. Caso estes decidam fechar a torneira do petróleo, todo o mundo retrai e entra em colapso, como aconteceu em Cuba, em 1991, quando a antiga União Soviética se debateu com falhas no abastecimento e barrou aos cubanos o acesso a petróleo subsidiado (Hall *et al.*, 2008). Os países produtores de petróleo têm vindo a consumir internamente uma cota cada vez maior da sua própria produção, o que diminui a oferta para o exterior. E tanto se vê que a simples especulação sobre a oferta aumenta imediatamente a entropia no preço do barril de petróleo nas bolsas de Nova Iorque e Londres.

1.3.2 Diminuição do retorno face ao investimento associada à exploração de petróleo

Quando um poço de petróleo começa a ser explorado, o precioso líquido de cor acastanhada jorra, normalmente, do chão com grande violência. A razão, já mencionada, é a elevada pressão a que se encontram os líquidos e gases resultantes da decomposição da matéria orgânica aprisionados na crosta terrestre. O início da exploração de um poço é precedido pela perfuração desde a superfície do solo até à profundidade à qual o reservatório se encontra. A perfuração é executada por maquinaria pesada, que por si só necessita de quantidades razoáveis de combustível para cumprir a sua tarefa de perfurar o solo a 5000 metros de profundidade, ou mais, por vezes em terrenos rochosos que implicam a constante manutenção e renovação das ferramentas de corte. Além disso, é necessária toda uma logística relacionada com os trabalhadores e a maquinaria cujos gastos associados são avultados, nomeadamente nas plataformas petrolíferas fora da costa, que necessitam de providenciar alojamento e alimentação de qualidade aos funcionários aí residentes.

Quanto à extracção de petróleo, inicialmente e frequentemente é simples, dado que normalmente este sobe à superfície por si só, pelo que o gasto energético diz respeito à recolha e subsequente tratamento. No entanto, quando a pressão interna do reservatório começa a decair para a pressão atmosférica, passa a ser necessário aumentar a pressão através da injeção de gás ou água no seu interior. À medida que o reservatório amadurece, aumenta a dificuldade de extracção, pois a restante porção de petróleo começa a compactar e grande parte encontra-se preso nas paredes porosas do reservatório. Para facilitar a extracção são utilizados fluidificantes (*detergents*), vapor ou CO₂, permitindo a extracção de mais algum petróleo (Hall *et al.*, 2008).

Todas estas operações necessitam de energia para serem executadas, pelo que o conceito de Retorno Energético do Investimento (REDI) (*Energy Return On Investment* (EROI), em inglês) é importantíssimo para justificar a exploração ou não de um poço, uma região petrolífera ou uma fonte energética como o gás natural e o petróleo, entre outros tipos de exploração. O REDI não é mais do que a energia que se obtém da fonte energética em questão face à energia que despende na sua exploração; é um quociente

adimensional, pois as unidades em que o numerador e o denominador são expressas são iguais, mas pode ser utilizada qualquer escala (J, cal, etc.). O REDI tem vindo a diminuir desde 1970, altura em que com pouco esforço se encontrava e retirava petróleo do subsolo, pelo que nos Estados Unidos chegava a atingir valores de 100:1, valor que posteriormente diminuiu para os valores actuais a variar entre 18:1 e 11:1 (Hall *et al.*, 2008). Em alturas de menor esforço de pesquisa e perfuração verifica-se o aumento deste valor, pois a menor quantidade de energia despendida deve-se à extracção de petróleo em poços já perfurados e a debitar continuamente, com toda a logística já instalada no local. Na Figura 10 é possível observar que os picos de produção não coincidem propriamente com os picos de pesquisa.

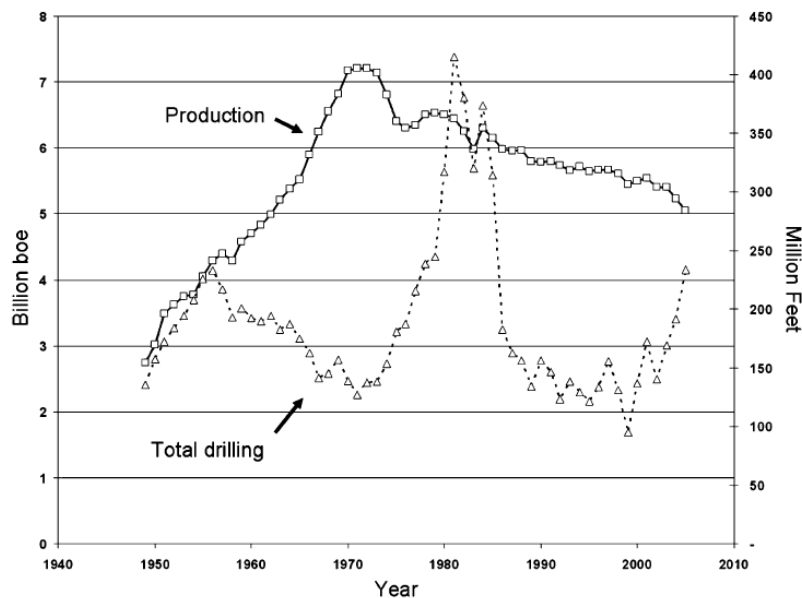


Figura 10 – Andamento da extracção de petróleo e da profundidade de perfuração anual acumulada, desde 1953 até 2005, nos Estados Unidos da América (Hall *et al.*, 2008)

De acordo com cálculos efectuados por Hall *et al.* (2008), o valor do REDI conjunto para a exploração de gás e petróleo ronda os 19:1, hoje em dia. Obviamente, com o passar do tempo e com o ritmo assustador com que as petrolíferas, a mando da sociedade consumista actual, estão a exaurir as reservas, será inevitavelmente atingido o ponto em que não fará sentido utilizar o petróleo como fonte energética, pois é gasta tanta energia na sua exploração quanto aquela que é possível retirar dele – o REDI

atingirá 1:1. Antes de este valor ser atingido, provavelmente outras formas de energia tomarão as rédeas da oferta energética, pois terão um valor de REDI superior ao do petróleo.

A energia nuclear apresenta um valor entre 5:1 e 15:1 (Hall *et al.* 2008), embora não seja consensual e acarrete um enorme fardo para as gerações vindouras, devido aos resíduos radioactivos resultantes. O próprio combustível é um pomo de discórdia, pois é a mesma matéria-prima que dá origem a armas de destruição massiva (bomba atómica, nomeadamente). A energia eólica, com o aperfeiçoamento tecnológico dos últimos 20 anos, passou a oferecer um bom retorno, da ordem de 15:1 a 20:1 (Hall *et al.*, 2008), mas peca pelo recurso eólico intermitente que leva à necessidade de estar associada ao armazenamento de água em albufeiras para posterior turbinagem. É então necessário que o parque se situe perto do recurso hídrico, logicamente, pois como já foi abordado, a tecnologia de armazenamento de energia eléctrico em baterias ainda não se encontra suficientemente desenvolvida. A energia produzida através de colectores solares fotovoltaicos (CSV), por sua vez, continua dispendiosa, pois o investimento inicial é ainda avultado e a densidade energética do colector é ainda baixa. A acrescentar a este senão, os CSV comuns incorporam matérias-primas raras e dispendiosas, como o telúrio, um metal alcalino-terroso cuja produção em 2007 não passou das 147 toneladas, um valor 15 vezes inferior ao do ouro (Olah *et al.*, 2010). Por outro lado, a densidade energética de colectores solares térmicos (CST) é o dobro da dos CSV (Hall *et al.*, 2008) e são bastante mais económicos por unidade de potência. No entanto, os CSV e CST apenas funcionam com luz solar, colocando-se novamente a questão do armazenamento de energia.

É, portanto, necessário encontrar um sucessor que faça as vezes dos combustíveis líquidos derivados do petróleo, cuja atractividade se prende com o seu fácil transporte e densidade energética.

Capítulo 2

No presente capítulo pretende-se dar a conhecer o etanol como combustível, nomeadamente os processos químicos e o processamento industrial que dão origem a este álcool. Outros biocombustíveis são também mencionados com as suas vantagens e desvantagens mais relevantes. São também postas em confronto diversas culturas energéticas que servem de base à produção do bioetanol e são descritas as mais relevantes características de cada uma.

2 Bioetanol e outros biocombustíveis

2.1 Breve revisão dos principais biocombustíveis

Os biocombustíveis actuais para o sector transportador podem ser divididos em três categorias: biocombustíveis obtidos através da transformação bioquímica de biomassa (etanol e metanol, por exemplo), biocombustíveis com base em óleos vegetais que são utilizados directamente ou após processamento tecnológico (biodiesel) e biocombustíveis resultantes da pirólise ou gasificação térmica de biomassa (Reijnders e Huijbregts, 2009).

Outra divisão que é geralmente aplicada aos biocombustíveis, cuja cisão acontece graças às matérias-primas a partir da qual são obtidos, permite a formação de dois grandes grupos: os biocombustíveis de primeira geração e os de segunda geração. Os de primeira geração são obtidos a partir da fermentação de hidratos de carbono sólidos, nomeadamente amido de milho e açúcar de beterraba ou de cana, ou da extracção de óleos vegetais de culturas ricas em lípidos, como o óleo de girassol e de palma; enquanto os de segunda geração são obtidos a partir de biomassa rica em matéria lenho-celulósica, não só por queima directa desta mas também por fermentação, à semelhança do amido e do açúcar (Gupta e Demirbas, 2010). O açúcar encontrado na beterraba sacarina (ou açucareira), cana-de-açúcar e sorgo doce, e o amido encontrado no milho, batata e tupinambo, são parte da panóplia de matérias-primas utilizadas na fabricação de álcoois combustíveis. A transformação do açúcar e amido presente nestas culturas em álcool é feita através de fermentação e hidrólise destes hidratos de carbono, com a ajuda de leveduras, como por exemplo a *Saccharomyces cerevisiae*, utilizada na produção de bebidas alcoólicas e na indústria panificadora para levedar massa de pão e bolos. Além da fermentação por leveduras, outra solução adoptada para produzir combustíveis alcoólicos é a fermentação bacteriana. Através desta fermentação é possível obter uma mistura de acetona (CH_3COCH_3), butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) e etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), comumente designada por ABE. Pode ser misturado até 18 % de ABE no gasóleo comercial, sem que as características da mistura levem à alteração do motor diesel; o butanol, de per si, pode ser adicionado à gasolina para alimentar motores Otto

e servir como combustível de aviação (Reijnders e Huijbregts, 2009). O metanol (CH_3OH) é idêntico ao etanol e o seu fabrico é conseguido por fermentação anaeróbia de matéria-prima, nomeadamente matéria-prima lenho-celulósica, pelo que é conhecido em inglês por *wood alcohol* (Minteer, 2006). As suas aplicações como combustível não se cingem aos motores de combustão interna e estende-se à sua utilização em células de combustível, nas quais é convertido directamente em energia eléctrica (Minteer, 2006; Reijnders e Huijbregts, 2009).

Os óleos presentes em sementes e espécies vegetais, tais como o girassol, a colza ou a soja (sementes oleaginosas, maioritariamente) ou gorduras animais, como a de vaca, porco ou galinha, são utilizados para produzir biodiesel. A principal vantagem deste biocombustível de primeira geração consiste na sua semelhança com o gasóleo mineral (Argawal, 2007). O óleo vegetal extraído de sementes oleaginosas não pode ser utilizado de per si em motores diesel, sendo portanto misturado com gasóleo ou convertido em biodiesel, este último mais amigo do motor (Agarwal, 2007). Uma das principais dificuldades na aplicação directa de óleo vegetais e biodiesel em motores diesel é a viscosidade inerente a estes líquidos, que impossibilita a sua utilização em estado puro na maioria das aplicações do motor diesel (Reijnders e Huijbregts, 2009). A transformação dos óleos vegetais em biodiesel é normalmente conseguida através do processo denominado transerificação, que consiste em fazer reagir os óleos com álcoois, tais como o etanol ou o metanol, ajudados por catalisadores, e dando origem a metil ou etil éteres (biodiesel) e glicerina (Gupta e Demirbas, 2010).

Para não tornar o texto demasiado extensivo, pois o trabalho presente foca a sua atenção no bioetanol e não nos biocombustíveis em geral, as vantagens e desvantagens dos principais biocombustíveis são resumidas na Tabela 1, abaixo, e na secção seguinte terá início a descrição do etanol como combustível ao longo dos tempos. Na Secção 6, relativa aos anexos, encontra-se uma tabela com os problemas e adaptações necessárias associados aos biocombustíveis mais comuns na Tabela A35.

Industrial-scale production and applied in Otto and diesel motors	Production	Application
Ethanol	By fermentation from starch or sucrose	Mostly in Otto motors, pure or as blend
ETBE (<i>tert</i> -butylether of ethanol)	Ethanol produced by fermentation from starch or sucrose	In Otto engines, as blend
Biodiesel (ethyl- or more often methylester from long chain fatty acids)	Fatty acid ester from biogenic lipids by transesterification	In diesel motors, pure or as blend
Industrial-scale production, but hardly applied in Otto or diesel motors	Production	Application
Methane	By anaerobic conversion from a wide variety of biomass types	Combined use with gasoline or diesel in Otto or diesel engines
Vegetable lipids (oils), e.g. palm oil, coconut oil	Extraction from oil crops	Currently limited application in diesel motors
Turpentine	Co-product from wood processing (e.g. paper production)	May be mixed into gasoline and diesel (Yumrutaş et al. 2008)
Ethanol	By fermentation from wood hydrolysate containing sugars	Mostly in Otto motors
Production at the pilot plant or laboratory stage	Production	Application
Methanol, also as MTBE (<i>t</i> -butylester of methanol)	Via synthesis gas from glycerol or biomass; microbially from sugar beet pulp (Antoni et al. 2007)	In Otto motors; methanol may also be used in fuel cell cars, though relative activity of methanol in fuel cells is much lower than of H ₂ (Lewis 1966)
Dimethylether (DME)	Via synthesis gas from biomass by gasification with pure oxygen (Arcoumanis et al. 2008)	Proposed as alternative to diesel in diesel engines; also suitable for gas turbines
Butanol, also as BTBE (<i>t</i> -butylester of butanol)	Butanol by fermentation from sugar/starch or (hemi)cellulose	In Otto motors, turbofan engines
Biohydrogen	By photosynthetic algae, via fermentation by H ₂ -producing microbes, by photo-induced reforming or via synthesis gas	In fuel cells or engines
Hydrocarbons	Via synthesis gas from biomass or components/ conversion products thereof, by cracking/deoxygenation of lipids or cracking of microalgal hydrocarbons	In Otto and diesel motors

Tabela 1 - Biocombustíveis em produção a nível industrial e em desenvolvimento e estágio de testes (Reijnders e Huijbregts, 2009)

2.2 História do etanol como combustível

Não há dúvidas acerca da veracidade da afirmação de que o etanol é o biocombustível líquido mais produzido actualmente, dado que países como o Brasil e os Estados Unidos têm vastos programas de subsídio para a produção deste álcool como substituto ou aditivo da gasolina em motores de combustão interna e contabilizam ambos 75 % do bioetanol produzido mundialmente (IEA, 2010b). Além destes países, a Índia, sendo o segundo produtor mundial de cana-de-açúcar, começa a crescer como produtor de bioetanol, produzido a partir de melaço resultante do processo açucareiro. Em 2009 chegaram a ser produzidos 1112 kb/d de biocombustíveis, dos quais 75 % eram de etanol (IEA, 2010b).

	Ethanol		Biodiesel		Total	
	Mtoe	kb/d	Mtoe	kb/d	Mtoe	kb/d
United States	21.5	470	1.6	33	23.1	503
Brazil	12.8	287	1.2	25	14.1	312
European Union	1.7	38	7.0	140	8.7	178
China	1.1	24	0.3	6	1.4	30
Canada	0.6	13	-	-	0.6	13
India	0.1	3	0.1	2	0.2	5
Other	0.9	20	2.7	51	3.6	72
World	38.7	855	12.9	257	51.6	1 112

Tabela 2 - Produção de biocombustíveis em 2009 por país (IEA, 2010)

O etanol como combustível automotriz do futuro foi vislumbrado no fim do primeiro quarto do século XX, mais precisamente em 1925, por Henry Ford, com o apoio subscrito de Alexander Graham Bell (Minteer, 2006). Na Alemanha o etanol era utilizado para mover locomotivas e os motores de combustão interna alimentados por este eram bastante apreciados, devido ao menor desgaste, menor poluição e por serem mais silenciosos. O etanol passou a funcionar como anti-detonante, graças ao nível de octano médio⁵ de 99 face aos 88 da gasolina (Gnansounou, 2009), substituindo assim o tóxico tetraetilo de chumbo. Como combustível para o sector dos transportes, o etanol

⁵ (Research Octane Number + Motor Octane Number)/2

começou a ser testado no Brasil em 1933 após a fundação do Instituto do Açúcar e do Alcool, durante a ditadura militar de Getúlio Vargas (Boddey *et al.*, 2008). Aquando da crise petrolífera em 1973, foi criado um programa nacional para a produção de bioetanol – PROÁLCOOL – com o intuito de alimentar veículos movidos exclusivamente a etanol e ajudar a diminuir a dependência do país de petróleo externo, que nessa época contabilizava 72 % do consumo interno de petróleo (Boddey *et al.*, 2008). A produção de bioetanol passou de 500.000 l/ano para $3,4 \times 10^{12}$ l/ano, entre 1975 e 1980 (Boddey *et al.*, 2008), ou seja, um aumento exponencial verificado na cultura da cana-de-açúcar.

Também com o intuito de fortalecer o mercado energético americano, os Estados Unidos aprovaram em 1970 o *Energy Policy Act* (EPAct), que visava a pesquisa e o desenvolvimento de combustíveis alternativos (entenda-se não derivados de petróleo) e menos poluentes, melhorando assim a qualidade ambiental nas grandes cidades e ao mesmo tempo diminuir a dependência de petróleo estrangeiro. No ano de 1978 decidiram impulsionar a produção de etanol com o *Energy Tax Act*, diminuindo em 4 centavos/galão⁶ a taxa sobre combustíveis no E10, uma mistura de 90 % gasolina e 10 % etanol designada *gasohol*, o que significa que num galão de etanol eram poupados 40 centavos (Koplow e Steenblik, 2008)! Dois anos mais tarde, o congresso americano aprovou a aplicação de uma tarifa de 50 centavos/galão sobre etanol importado, valor situado nos 54 centavos em 2007 (Koplow e Steenblik, 2008). O impacto destas medidas não se tardou a fazer-se sentir e entre 1980 e 1990 a produção de bioetanol nos Estados Unidos quintuplicou, pelo que no último ano a capacidade de produção se situou nos 900×10^6 galões/ano, ou seja, aproximadamente $3,4 \times 10^{12}$ litros/ano (Koplow e Steenblik, 2008). Em 2005 os Estados Unidos ultrapassaram o Brasil, passando a ser o maior produtor de etanol no mundo e em 2009 o ritmo de produção atingiu 503 kb/d, o que foi manifestamente pouco, dado que apenas cobriu apenas 3 % do consumo no sector transportador do país, face aos 20 % de penetração no Brasil (IEA, 2010b).

⁶ 4 centavos de *dollar* dos Estados Unidos (USD – US Dollar)

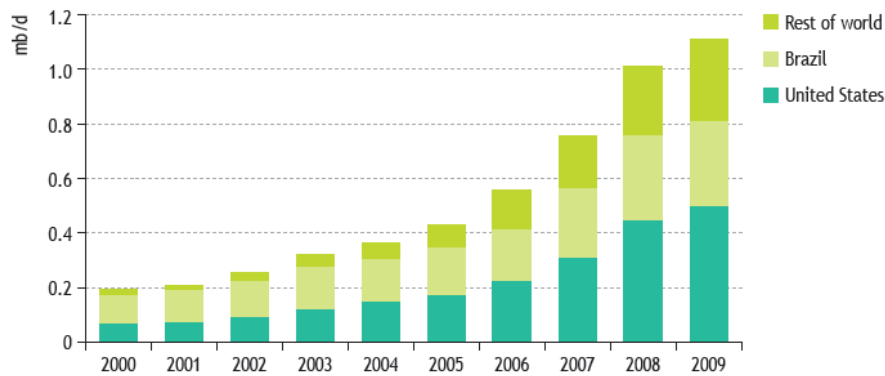


Figura 11 - Evolução na produção mundial de biocombustíveis na última década (IEA, 2010b)

O desenvolvimento de veículos destinados ao funcionamento quase exclusivo com etanol, concentração de 85 % (v/v)⁷ etanol e superior, foi um dos grandes motivadores da explosão do bioetanol produzido a partir da cana-de-açúcar no Brasil. Nos anos 90, cerca de 4,5 milhões de veículos movidos a 93 % etanol (7 % gasolina) circulavam no Brasil (Davis, 2006). Também na Suécia e Estados Unidos se desenvolveu este tipo de veículos, permitindo ao etanol competir directamente com a gasolina (Gnansounou, 2009). No entanto, a grande vantagem deste combustível, que também tem características oxidantes como já foi referido, é poder ser misturado com gasolina até 25 % sem que o motor Otto tradicional, preparado para funcionar a gasolina, tenha de sofrer alterações.

2.3 Principais características do etanol

É o álcool mais fácil de se obter. Desde a antiguidade que o homem aprendeu a controlar o processo de fermentação de hidratos de carbono simples, principalmente o açúcar presente na fruta, para produzir bebidas espirituosas. Vestígios de álcool tão antigos como os encontrados na aldeia de Jiahu, na província de Henan na China, provam que o etanol já era obtido, após fermentação de uma mistura de arroz, fruta e

⁷ (v/v) – volume/volume

mel (Olah *et al.*, 2010), há cerca de 9000 anos atrás. A sua estrutura molecular é C_2H_5OH e é utilizado em produtos de higiene, bebidas alcoólicas, solventes, perfumes, entre outros produtos quotidianos. Dentre as principais características destacam-se ser incolor, ponto de fusão aos $-114,3\text{ }^{\circ}C$ e o ponto de ebulição aos $78,4\text{ }^{\circ}C$, a massa volumica é de 790 kg/m^3 (mais leve do que a água) e é higroscópico, o que limita a sua exposição a água. É menos tóxico que o metanol (Minteer, 2006), o que possibilita a sua utilização numa miríade de produtos que entram em contacto directo com seres vivos e representa menor perigo em caso de derrame accidental no ambiente.

A sua concentração em misturas combustíveis varia entre 5 % (E5) e 100 % (E100), sendo as mais comuns a E10 (Estados Unidos, Canadá, Austrália, China, entre outros) e a E85 (Canadá, Suécia); no Brasil são comuns a mistura de 24 % etanol e 76 % gasolina e o E100 (Gupta e Demirbas, 2010). Concentrações superiores a 10 % implicam alterações no motor Otto, caso contrário antevêm-se perdas de performance e menor rendimento.

2.4 Processo de produção de bioetanol

O etanol pode ser produzido com base em diferentes culturas energéticas, sendo o milho (Estados Unidos) e a cana-de-açúcar (Brasil) as mais importantes a nível mundial. No ano de 2003, mais de 60 % do etanol produzido mundialmente teve origem em culturas de açucareiras, maioritariamente cana e beterraba sacarina, e o restante produzido a partir de cereais, com o milho a encabeçar a lista (El Bassam, 2010). No processo de tratamento das matérias-primas destinadas à produção de bioetanol obtêm-se co-produtos residuais de grande importância para outros sectores industriais, sobretudo ração para gado de alto conteúdo proteico (*distillers' grains*⁸ – grão de destilado, em tradução livre). Contudo também é possível sintetizar etanol, além da

⁸ Co-produto resultante da fermentação do milho. É muito utilizado nos Estados Unidos para alimentar gado bovino, gado suíno e aves devido ao seu alto conteúdo proteico: entre 30%-40% na alimentação de bovinos para matança e 10%-20% para vacas leiteiras, suínos e aves (Swenson, 2008).

tradicional fermentação de açúcares, e cerca de 9 % do etanol mundial é obtido desta forma (Balat, 2005).

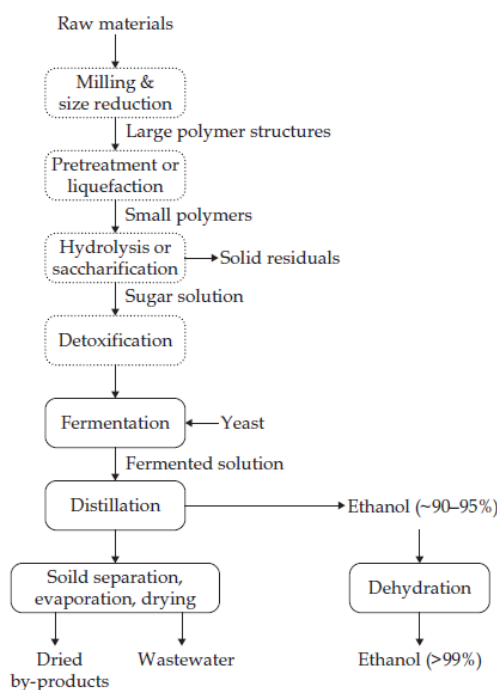


Figura 12 - Fluxograma generalista da produção industrial de etanol (Nag, 2008)

Recorrendo a enzimas produzidas por determinadas espécies de leveduras, este álcool pode ser obtido tendo por base a fermentação de açúcares simples (monoglicéridos ou diglicéridos; a sacarose é um exemplo) e que existem naturalmente na planta (cana-de-açúcar, beterraba sacarina ou fruta), ou a partir de hidratos de carbono poliméricos, como o amido (batata, milho, cereais e tubérculos em geral). Uma terceira alternativa é o aproveitamento de fontes celulósicas, sendo a biomassa celulósica (madeira, resíduos florestais e ervas espontâneas) rica em celulose e hemicelulose (Gupta e Demirbas, 2010). A natureza destes ingredientes impõe divergências no processo industrial, pois a fermentação directa da sacarose é conseguida com a simples⁹ utilização das leveduras, mas os hidratos de carbono poliméricos e a matéria celulósica, por sua vez, necessitam de ser hidrolisados para originar moléculas

⁹ Simples face à segunda opção, dado que a fermentação em larga escala implica a selecção de leveduras específicas cujas estirpes são geneticamente melhoradas. Obviamente, este trabalho implica grande esforço por parte dos estudiosos na matéria.

de açúcar simples e serem então fermentados. O etanol obtido, apesar de igual química e fisicamente, é denominado de primeira e segunda geração quer tenha origem em açúcares simples e amido ou em matéria celulósica, respectivamente.

A fermentação de açúcares é composta por três passos: 1) Extração do açúcar sob a forma de solução líquida; 2) Fermentação do açúcar por parte das leveduras; e por fim 3) Destilação do etanol visando a sua purificação, geralmente a 95,5 % (etanol hidratado, com 4,5 % de água) ou 99,6 % (etanol desidratado ou puro, com 0,4 % de água) (Dermirbas, 2007). Nem todos os autores se referem a estas misturas de etanol com água e impurezas nestas mesmas proporções, podendo neste texto aparecerem valores entre 95 % ou 96 % para o etanol hidratado e valores entre 99 % e 100 % para o etanol desidratado.

No seguimento da actividade das leveduras resultam etanol e dióxido de carbono, Figura 13. O segundo pode ser considerado desperdício ou então ser capturado e vendido para gasificação de bebidas ou processos industriais, sendo um co-produto que poderá aumentar a rentabilidade do processo industrial (por exemplo, no processo de soldadura serve de atmosfera protectora para não ocorrer oxidação do metal fundido).

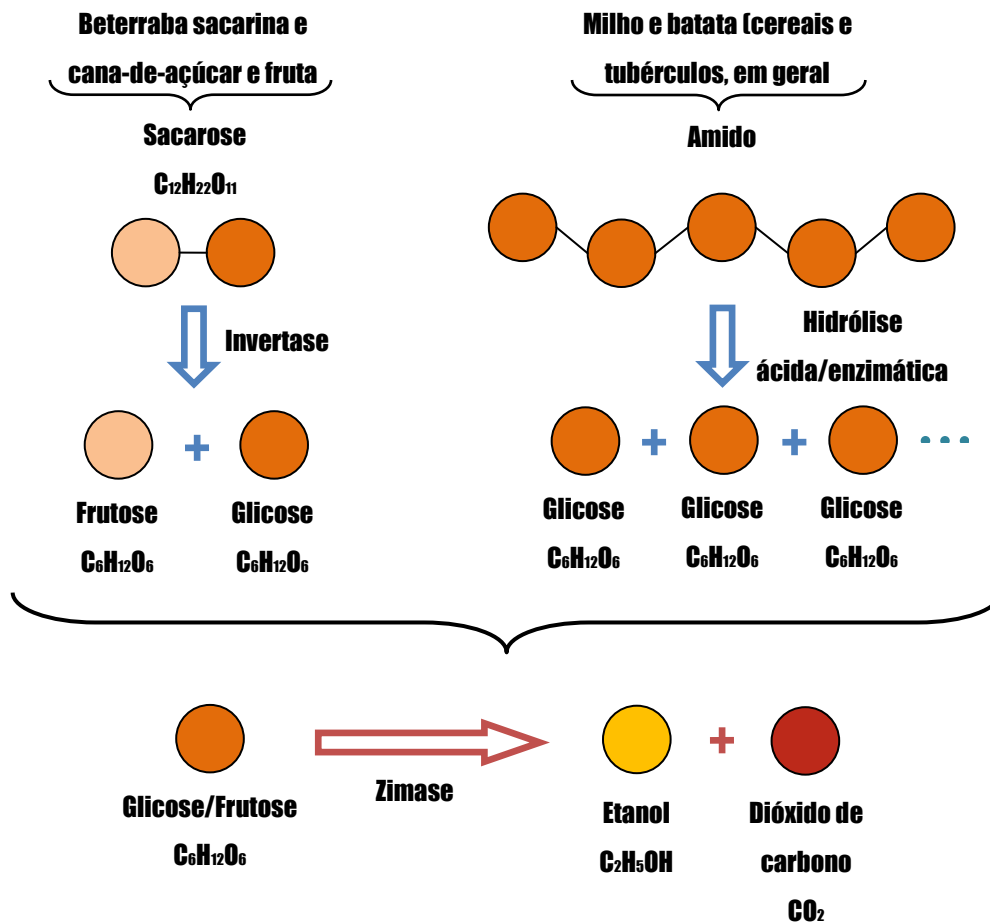


Figura 13 - Esquema simplificado da fermentação da sacarose e do amido em etanol. Invertase e zimase são duas enzimas presentes no fermento *Saccharomyces cerevisiae*, entre outros (Gupta e Demirbas, 2010)

Antes de serem enviados para os tanques de fermentação, os hidratos de carbono têm de ser “expostos” para que hidrólise (no caso de hidratos de carbono poliméricos) e fermentação possam ocorrer facilmente. Os cereais, tubérculos ou caules são moídos, triturados ou esmagados, e depois submetidos a calor, para que os hidratos de carbono se libertem das respectivas estruturas de armazenamento dentro das diversas formas vegetais (tubérculos, grãos ou caules) e formem uma solução aquosa. Em seguida, são adicionados ácido e/ou enzimas e leveduras, entre outros ingredientes, e é tudo misturado uniformemente, permitindo a correcta acção dos agentes hidrolisantes e fermentadores, processo este que pode ser feito em cargas ou em modo contínuo com reciclagem do caldo. A reciclagem do caldo permite a multiplicação espontânea das leveduras e um melhor aproveitamento do ácido e/ou enzimas, evitando-se a introdução

de novos ingredientes sempre que outra carga, no caso de se optar por este modo de operação, é colocada no tanque de fermentação (Gnansounou, 2009). O processo de fermentação ocorre a temperaturas típicas de 25 °C a 30 °C e pode durar entre 6 e 72 horas, em função do agente hidrolisante e do tipo, quantidade e acção das leveduras (Gnansounou, 2009). O tipo mais comum de leveduras é a que constitui o “fermento de padeiro”, de nome *Saccharomyces cerevisiae*, do qual a indústria das bebidas alcoólicas tira proveito.

Após o etanol ser destilado, o líquido não alcoólico constituinte do caldo – vinhaça – pode ser aproveitado como fertilizante, pois é rico em nutrientes. Os detritos sólidos são também aproveitados para produzir forragem, os grãos de destilação já mencionados, e para alimentar fornalhas de caldeira ligadas à fábrica de etanol, produzindo assim energia eléctrica e energia térmica das quais a fábrica tira proveito.

A destilação do etanol é um passo comum a todos os processos tecnológicos de conversão de culturas energéticas ou biomassa celulósica em etanol e é também energeticamente voraz (Gupta e Demirbas, 2010). A mistura de etanol e água é destilada até se obter etanol hidratado com 5 % de água, sendo necessárias cerca de 3 destilações para passar da concentração de 10 % (v/v) de etanol para 95 % (v/v) (Pimentel e Patzek, 2005). Com base nos valores da Tabela 3, a fatia energética do processamento tecnológico das matérias-primas varia entre 46 % e 85 %, dos quais entre 29 % e 55 % são consumidos na destilação, comprometendo o retorno energético que seria possível obter não fora o baixo rendimento das soluções tecnológicas implementadas na maioria das refinarias de etanol.

TABLE 1. Overall Energy Balance for Production of Fuel-grade, Anhydrous Ethanol from Various Biomass								
	Energy							
	Corn	Sorghum	Wheat	Potatoes	Sugar-beets	Sugar-cane	Molasses	Residues
Inputs	1,000 Btu/gal. ethanol							
Crop production	33-65	38-76	29-64	19-69	21-41	11-31	33-65	0
Feedstock preparation	9	9	9	9	9	9	0	18-36
Fermentation	0	0	0	0	0	0	0	0
Distillation	30	30	30	30	30	30	30	60*
By-product recovery	30	30	37	12	39	0	0	15
Miscellaneous	15	15	15	15	15	15	15	30
Electricity	10	10	10	10	10	10	10	20
Total	127-159	132-170	130-165	95-145	124-144	75-95	88-120	143-161
Outputs								
Ethanol	84	84	84	84	84	84	84	84
By-products	50	50	62	20	65	0	0	168†
Total	134	134	146	104	149	84	84	252
Outputs/inputs	0.8-1.1	0.8-1.0	0.9-1.1	0.7-1.1	1.0-1.2	0.9-1.1	0.7-0.9	1.6-1.8
*Distillation of ethanol and pentose-conversion product. †Includes pentose-conversion and lignin products.								
TABLE 2. Energy Balance for Production of Fuel-grade, Anhydrous Ethanol with Utilization of Agricultural Residues to Produce Process Steam								
Feedstock	Residue		Energy output/Fossil energy input					
Corn	Stalks, husks, and cobs		1.8-3.1					
Sugarcane	Bagasse		2.0-4.0					
Molasses	Bagasse		1.1-2.0					

Tabela 3 - Consumo energético do processo de conversão em etanol de diversas culturas alimentares e de resíduos industriais e biológicos (Krochta, 1980)

Por fim, o etanol a 95 %, contendo ainda 5 % de água, é desidratado através da adição de benzeno (C_6H_6 , hidrocarboneto aromático em forma de anel) ou de cal desidratada (CaO) para se obter um grau de pureza da ordem dos 99,2 % - etanol quase desidratado - que é suficientemente puro para ser utilizado em misturas etanol-gasolina (Taherzadeh e Karimi, 2008). Em casos especiais, como aplicações químicas, o etanol é purificado até 99,85 % - etanol desidratado - acarretando um elevado custo energético (Taherzadeh e Karimi, 2008).

2.4.1 Etanol a partir de sacarose

A fermentação de sacarose – polímero de glicose e frutose cuja fórmula química é $C_{12}H_{22}O_{11}$ – é o método mais comum para se obter etanol. Fazendo uso da levedura *S. cerevisiae* consegue-se acelerar a hidrólise da sacarose em glicose e frutose, devido à presença da enzima invertase nesta espécie de levedura. Contudo, outras leveduras que

consigam metabolizar glicose, ou outra hexose, poderão ser mais propícias conforme o substrato a fermentar (açúcares de beterraba ou melaço, por exemplo), pelo que para aplicações industriais também interessam as espécies/estirpes *Saccharomyces uvarum* (*carlsbergensis*), *Schizosaccharomyces pombe* e *Kluyveromyces marxianus*; a levedura escolhida corresponde às expectativas quando suporta grandes concentrações de açúcar no substrato, antes da fermentação, e de etanol, após a fermentação, e também níveis de pH baixos (Senn e Pieper, 2001).

A glicose é o monossacárido por excelência na produção de etanol (Speight, 2008), pelo que nesta secção será utilizado preferencialmente este termo, sem desprezar por completo a frutose, visto que ambos são igualmente tratados pelas leveduras.

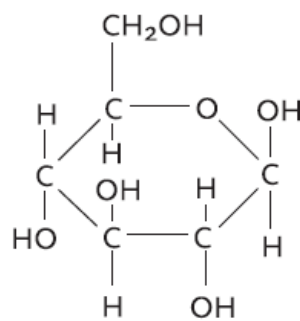


Figura 14 - Molécula de glicose (Freudenberger, 2009)

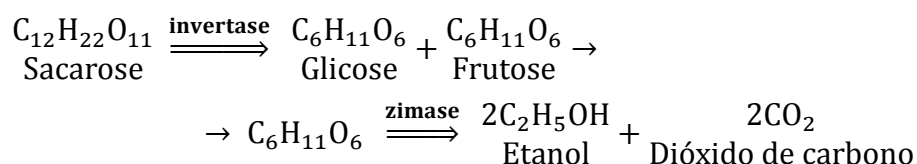
No quadro abaixo, Tabela 4, são apresentados diversos tipos de açúcares com 5 (pentoses) e 6 (hexoses) átomos de carbono e a capacidade da *Kluyveromyces* e de 2 sub-espécies da *Saccharomyces* em metabolizar estes mono e dissacarídeos.

Carbon Number of Basic Subunit	Type of Basic Subunit	Sugar	Basic Unit	Yeast		
				<i>S. cerevisiae</i>	<i>S. uvarum (carlsbergensis)</i>	<i>Kluyveromyces fragilis</i>
6	aldoses	glucose	glucose	+	+	+
		maltose	glucose	+	+	–
		maltotriose	glucose	+	+	–
		cellobiose	glucose	–	–	–
		trehalose	glucose	+ / –	+ / –	–
		galactose	galactose	+	+	+
		mannose	mannose	+	+	+
		lactose	glucose, galactose	–	–	+
		melibiose	glucose, galactose	–	+	
	ketoses	fructose	fructose	+	+	+
		sorbose	sorbose	–	–	–
	aldoses and ketoses	sucrose	glucose, fructose	+	+	+
		raffinose	glucose, fructose galactose	+ / –	+	+ / –
	deoxy-sugars	rhamnose	6-deoxymannose	–	–	–
		deoxyribose	2-deoxyribose	+ / –	+ / –	+ / –
5	aldoses	arabinose	arabinose	–	–	–
		xylose	xylose	–	–	–

^a New taxonomy: *S. uvarum* included in *S. cerevisiae*, *K. fragilis* changed to *K. marxianus*.

Tabela 4 - Capacidade de metabolização de açúcares com 5 e 6 átomos de carbono por parte de 3 leveduras (Senn e Pieper, 2001)

Como se pode observar, apenas a glicose, frutose, galactose e manose (somente hexoses) são metabolizadas por todas as leveduras em análise, o que reforça a ideia de que a sacarose encontrada na beterraba, cana-de-açúcar e sorgo doce é uma excelente base para produção de etanol. O enfoque será colocado no processamento da glicose. Após a divisão da sacarose, a enzima zimase transforma a glicose e a frutose em etanol e dióxido de carbono:



A glicose é uma excelente fonte de energia química, pelo que após a ruptura das ligações atómicas a energia é aproveitada para multiplicação celular (armazenada como

moléculas de ATP¹⁰) e as resultantes da actividade fisiológica são etanol e CO₂. Dado que a hexose não é convertida directamente em etanol, necessitando a levedura de reduzir a hexose (2H⁺ no primeiro passo), depois retirar 2 moléculas de dióxido de carbono (2CO₂ no segundo passo) e só então devolver o hidrogénio (2H⁺ no terceiro passo), formam-se quantidades ínfimas de dois produtos residuais além do etanol e CO₂, sendo eles ácido pirúvico (CH₃COOCOOH) e acetaldeído (CH₃CHO), Figura 15.

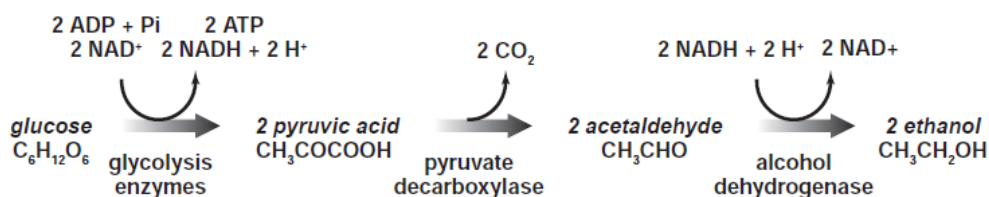


Figura 15 - Conversão da glicose em etanol e CO₂ recorrendo à *S. cerevisiae* em ambiente anaeróbio (Nichols *et al.*, 2006)

A formação dos ácidos e de CO₂, em ambiente anaeróbio, diminui o pH do caldo, o que é prejudicial à actividade celular das leveduras. Além disso, a libertação de energia resultante da quebra de ligações químicas gera calor, devido às irreversibilidades inerentes ao processo, aumentando a temperatura e inibindo também a actividade celular. As condições óptimas de “funcionamento” da generalidade das leveduras são pH a variar entre 3,5 – 6 e temperatura entre 28 °C – 35 °C (Senn e Pieper, 2001). Além do substrato a fermentar também é necessário fornecer outros nutrientes às leveduras, nomeadamente elementos químicos (P, S, Mg), sais minerais (de Mn, Co, Cu, Zn), auxiliares de crescimento celular (aminoácidos, vitaminas e ácidos nucleicos) e quantidades mínimas de oxigénio para a formação de lípidos e gorduras polinsaturadas (Senn e Pieper, 2001). Se a atmosfera não for controlada, abre-se caminho à multiplicação celular das leveduras em detrimento da produção de etanol (Senn e Pieper, 2001) e ao desenvolvimento de bactérias contaminantes que inibem a acção das leveduras.

¹⁰ ATP – Adenosina tri-fosfato

A razão de conversão teórica das leveduras de glicose em etanol é 0,51 g etanol/g açúcar fermentado, mas dependendo da levedura e das condições de operação, a eficiência do processo nunca atinge a plenitude e raramente atinge valores máximos da ordem de 90 % – 95 % (Senn e Pieper, 2001; Minteer, 2006). Assim, valores típicos para a razão de conversão de glicose em etanol rondam os 0,46 – 0,47 g etanol/g açúcar (Keshgi *et al.*, 2000; Senthilkumar e Gunasekaran, 2009).

Existem também estudos sobre fermentação de açúcares recorrendo a bactérias, sendo a *Zymomonas mobilis* uma delas. Esta bactéria possui características interessantes: suporta elevada concentração de açúcar no substrato, tem boa tolerância ao etanol, consegue grandes taxas de conversão de etanol e não necessita de ambiente anaeróbio (ou seja, controlado) para “trabalhar” (Senn e Pieper, 2001; Gupta e Demirbas, 2009). No entanto, esta não é utilizada em larga escala devido à sua exigência quanto ao substrato a fermentar, pois apenas metaboliza eficazmente glicose, frutose e sacarose, e a fracção sólida do caldo resultante da fermentação não pode ser utilizada como forragem devido às características da biomassa bacteriana (Gupta e Demirbas, 2009).

O estudo aprofundado da actividade microbiológica na produção de bioetanol é relativamente recente, apesar de ser algo utilizado há milhares de anos com recurso ao conhecimento empírico. As culturas que são hoje utilizadas como matéria-prima para os biocombustíveis foram seleccionadas e condicionadas tendo em vista o conteúdo nutricional e não a sua facilidade de conversão em etanol (FAO, 2008). Recorrendo à biotecnologia é possível alterar e apurar características específicas das culturas energéticas, como aumentar a produtividade por hectare e o conteúdo em açúcares fermentáveis, a fisionomia da planta de forma a facilitar o seu processamento, etc., mas também modificar os agentes responsáveis pela fermentação, entre eles leveduras e bactérias, aumentando a sua eficiência e a capacidade de adaptação a diferentes substratos (sejam eles hexoses ou pentoses, mono ou polissacarídeos, entre outros).

2.4.1.1 Culturas ricas em sacarose cultiváveis em Portugal e potenciais fontes de bioetanol

Actualmente as duas culturas ricas em sacarose mais divulgadas na produção de bioetanol são a cana-de-açúcar, essencialmente em países tropicais como o Brasil e a Índia, e a beterraba sacarina, nos países da União Europeia e na Rússia (Clark e Deswarte, 2008). Em Portugal, graças à instalação de uma fábrica para produção de açúcar no ano 1993 – Sociedade de Desenvolvimento Agro-Industrial (DAI), em Coruche – e a apoios comunitários, chegaram a ser produzidas 535.897 t de beterraba sacarina, em média, no período 2002 – 2006. A baixa competitividade do custo de produção, a falta dos mesmos apoios que levaram à criação desta indústria e a diminuição das quotas de produção de açúcar atribuídas a Portugal por parte da CE, acabaram com o cultivo da beterraba açucareira no continente português. Hoje em dia são produzidas 6.612 t de beterraba, provenientes de 135 ha de terreno na Região Autónoma dos Açores (INE, 2009), o que é manifestamente pouco face à outrora produção máxima, 643.859 t, atingida no ano 2002 (INE, 2007).

A plantação de cana-de-açúcar tal como é feita no Brasil não faria sentido em Portugal Continental, dado que esta planta requer climas tropicais para o seu cultivo, com temperaturas a rondar 26 – 27 °C e precipitação na ordem dos 150 – 180 cm, pelo que a sua produção se encontra maioritariamente entre as latitudes 37 °N e 31 °S (El Bassam, 2010). É bastante exigente em termos de água, pelo que os seus 3 principais produtores, de acordo com os dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2010), são o Brasil, com 645.300.182 t, a Índia, com 348.187.900 t, e a China, com 124.917.502 t, países com clima tropical ou subtropical nos quais existem regiões com boa precipitação e fontes de água para irrigação. A única região portuguesa onde esta cultura é explorada comercialmente é a Região Autónoma da Madeira, que se encontra situada dentro das latitudes propícias ao plantio da cana, cuja produção média no quadriénio 2006 – 2010 superou 5710 t, para produção de mel de cana e rum agrícola, também conhecido por aguardente de cana (IVBAM, 2011). Não obstante o parco cultivo actual desta cultura em Portugal, a introdução no Brasil desta cultura foi perpetrada pelos portugueses na expedição de 1532, levada da ilha da Madeira (Boddey *et al.*, 2008).

O sucesso obtido no Brasil com a cana-de-açúcar deve-se grandemente à mão-de-obra que labora em condições quase inumanas, apesar de serem superiores quando comparadas com a média do retorno obtido da agricultura tradicional (Bodey *et al.*, 2008). Em Portugal tais condições laborais não seriam aceites, pelo que a implementação da cana-de-açúcar como fonte de bioetanol teria neste aspecto mais uma pedra de tropeço. Pode-se concluir que claramente não seria uma escolha, quiçá, acertada, para a produção de etanol dada a inexistência de clima e tradição associados ao seu cultivo. Será, portanto, dado destaque à cultura da beterraba sacarina, relativamente à qual Portugal “joga em casa”, ou seja, se encontra mais acostumado ao seu cultivo e possui condições edafoclimáticas propícias.

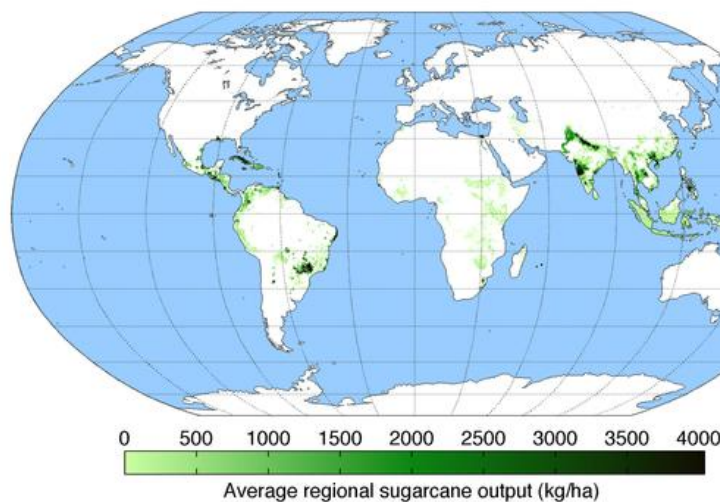


Figura 16 - Distribuição mundial da produção de cana-de-açúcar (Wikipedia, 2011f)

No entanto, existe uma concorrente da cana-de-açúcar na produção de etanol que exige menor irrigação e solos mais pobres: o sorgo (Singhania *et al.*, 2009). A espécie *Sorghum*, que inclui diversas subespécies cultivadas para grão, forragem e extracção de açúcar, é menos selectiva do que a cana quanto ao clima e ao solo em que se desenvolve e o seu custo de produção foi estimado em cerca de metade do da cana-de-açúcar (Speight, 2008). A adaptabilidade desta espécie a diferentes condições climáticas deve-se ao seu variado genoma, oriundo de espécies maioritariamente provenientes de regiões subtropicais e tropicais de África e Ásia (El Bassam, 2010), que permite seleccionar

desde variedades com elevado teor de açúcar – sorgo doce – a variedades com elevada produção de grão – sorgo bicolor. De acordo com produtores de híbridos de sorgo doce desenvolvidos pela *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics* (ICRISAT), este apresenta três grandes vantagens face a outras culturas industriais, tanto para alimentação como para bioenergia: (1) providencia grão para alimentação, forragem para animais e é uma fonte potencial de bioetanol produzido a partir do açúcar presente no caule ou cana; (2) necessita de cerca de sete vezes menos água do que a cana-de-açúcar; (3) diminui a utilização de terra arável, dado que permite a produção simultânea de grão, bioetanol e forragem (El Bassam, 2010).

Apesar de o sorgo doce dar origem a menor quantidade de açúcar por unidade de massa, o baixo custo de produção acaba por compensar o menor “rendimento sacarino” face à cana-de-açúcar (Singhania *et al.*, 2009). Por estes motivos, o sorgo doce é uma possível cultura alternativa ou complementar, à beterraba, para produção de etanol em Portugal. Contudo, como não existem dados sobre o cultivo de sorgo doce em Portugal ou, pelo menos, o seu cultivo é diminuto, este não foi considerado nos cálculos efectuados.

Como foi dito antes, Portugal encontra-se acostumado ao cultivo da beterraba sacarina e esta cultura é uma importante fonte de açúcar na Europa, contribuindo para 30 % da produção mundial deste bem (Wikipedia, 2011e). No ano 2008, a União Europeia (EU) contabilizou a produção de mais 101.777.949 t de beterraba, de acordo com dados da FAO (2010). A sua produção avultada na Europa deve-se ao facto de esta cultura se desenvolver em climas temperados, sendo o seu principal produtor a França com 29 t, seguida de perto pela Alemanha com 25 t, os Estados Unidos também com 25 t e a Rússia com 22 t, sendo os restantes 10 maiores produtores a nível mundial do ano 2005 todos Europeus (El Bassam, 2010).

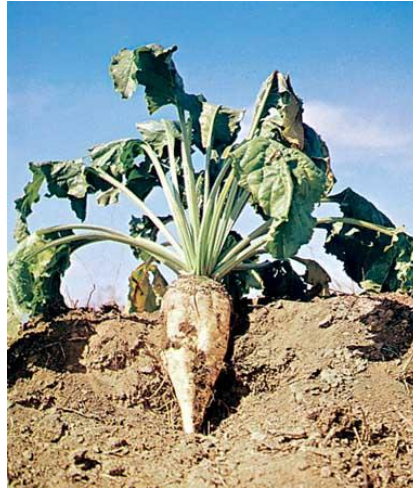


Figura 17 - *Beterraba sacarina* (Salem News, 2010)

Como se pode comprovar na Figura 18, a maior concentração de produtores de beterraba encontra-se situada no hemisfério norte, sobretudo na Europa, resultante do clima propício e da aposta nesta cultura para extracção de sacarose destinada à indústria açucareira.

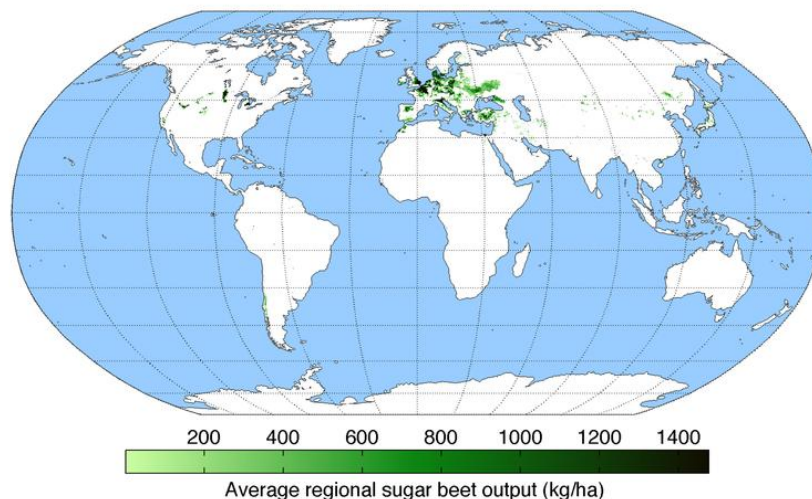


Figura 18 - Distribuição mundial da produção de beterraba sacarina (Wikipedia, 2011e)

A produção de beterraba em Portugal teve o seu maior impulso a partir da década de 90, motivada por apoios comunitários tendo em vista a produção de açúcar a

partir da beterraba sacarina. Na campanha de 1996/1997 a cota de produção de açúcar atribuída à DAI foi de 60.000 t, valor que veio a aumentar mais tarde para aproximadamente 70.000 t. Em 2006/2007 a quota de Portugal diminuiu de 69.718 t para 34.500 t (cerca -50,5 %) e em 2007/2008 passou a ser de 15.000 t (cerca de -78,5 %, face ao valor inicial), tendo renunciada a DAI à sua cota de produção de açúcar a partir de beterraba e dedicado à produção de açúcar a partir de cana-de-açúcar importada, de acordo com o Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP) (GPPAA, sem data).

A diminuição sucessiva da cota de produção foi resultado da falta de competitividade do sector açucareiro português face aos parceiros europeus após a reestruturação da indústria açucareira perpetrada pela Organização Comum de Mercado (OCM), esta regida por regulamentos da Comissão Europeia, que veio introduzir mudanças a nível de preços e quotas e permitiu a monopolização do mercado europeu por parte da França e Alemanha. Portugal passou a ser tratado como um grande produtor quando na verdade apenas 20 % das necessidades internas foram supridas com a laboração da DAI, de acordo com Manuel Campilho, Presidente da Associação Nacional de Produtores de Beterraba (ANPROBE) (AgroPortal, 2008).

2.4.1.2 Produção de etanol a partir de beterraba sacarina

A beterraba açucareira exige alguns requisitos mínimos da parte do solo e do clima em que é cultivada. O solo em que esta é plantada deve ser pouco compacto, não pedregoso e alcalino, além de ser bem drenado, pelo que não pode acumular quantidades excessivas de água. As necessidades nutritivas da beterraba são avultadas, pelo que é aconselhável proceder a uma análise prévia das características do solo, para que não sejam gastos fertilizantes em quantias desnecessárias ou insuficientes; no caso de não ser feita esta análise, as quantidades aconselháveis dos três principais nutrientes – fósforo (P), potássio (K) e azoto (N) – são as listadas na Tabela 5, abaixo.

Nutrientes	Quantidade [kg/ha]	Observações
Fósforo (P ₂ O ₅)	100 – 150	Tudo em aplicação de fundo
Potássio (K ₂ O)	100 – 150	Tudo em aplicação de fundo
Azoto (N)	120 – 180	Aplicar cerca de 1/3 em fundo

Tabela 5 – Quantidade recomendada de nutrientes a aplicar no cultivo da beterraba sacarina sem análise prévia do solo (Velez e Canha, 2001)

O ciclo de cultivo da beterraba em Portugal inicia-se na primavera com o seu plantio e termina no Outono com a sua colheita, com cerca de 180 a 210 dias de intervalo (Carapau, 2002). Esta modalidade de cultivo é denominada beterraba primaveril e é a que apresenta maior consumo de água para rega, como se pode concluir pelo tempo mais quente e seco que se faz sentir em Portugal nesta altura do ano. A beterraba sacarina necessita de aproximadamente 1200 mm de água (El Bassam, 2010), valor que em território nacional varia entre 700 e 800 mm conforme o ciclo de vida (Carapau, 2010).

Tanto no seu cultivo, como na sua colheita, existem gastos energéticos atreitos à maquinaria necessária para limpar o terreno, arar a terra, plantar semente, colocar fertilizantes, pulverizar pesticidas/herbicidas e colher a beterraba. Destas operações, uma das que mais contribui para o consumo energético é a colheita. Esta é feita recorrendo a colhedeiras mecânicas que cortam a coroa de folhas, retiram a raiz do solo e agitam-na para retirar a maior parte da terra agarrada. A função de cortar a coroa de folhas não é executada por colhedeiras mais antigas, pelo que é necessário fazer uma passagem prévia com um cortador, implicando maior gasto energético. Após esta operação, a colhedeira coloca a beterraba no solo para ser apanhada por um camião ou envia directamente a beterraba para o camião, através de um tapete transportador na lateral da colhedeira, como se pode observar na Figura 19, sendo depois transportada para a fábrica de etanol. Devido ao grande peso e volume das raízes, as distâncias percorridas pelos veículos transportadores são minimizadas, pelo que as fábricas são erigidas nas imediações da plantação e esta, por sua vez, de grandes centros urbanos, que fornecem a mão-de-obra necessária.

A agravar o transporte da beterraba existe ainda o facto de a beterraba ser uma cultura rotacional, o que implica que a área ocupada seja superior à utilizada na monocultura e as distâncias envolvidas sejam superiores (El Bassam, 2010).



Figura 19 - Colhedeira de beterraba acompanhada de um camião que recolhe a beterraba (ColoradoGuy.com, 2008)

Após o carregamento ser depositado e pesado à entrada da fábrica, as beterrabas são lavadas para retirar a terra remanescente. Concluída a lavagem, são cortadas em palitos para desta forma aumentar a superfície de extracção da sacarose (El Bassam, 2010). Seguidamente, os palitos são enviados para um difusor, ou seja, um tanque onde beterraba e água quente circulam em contracorrente, aumentando o tempo de contacto e, consequentemente, a concentração de açúcar na solução aquosa resultante. À saída do difusor a beterraba contém um teor de humidade da ordem dos 95 %, pelo que é depois prensada até atingir 75 % de humidade, o que permite extrair parte do açúcar ainda residente nos palitos. O líquido extraído é adicionado à restante solução açucarada e os palitos são utilizados para formar peletes, que servem de forragem para gado e constituem uma fonte de rendimento complementar no processo de conversão de beterraba em etanol.

O sumo de beterraba que sai do difusor é então submetido ao processo de evaporação para aumentar a sua concentração em açúcar, formando um xarope espesso. Este xarope é fermentado e origina dois produtos após centrifugação: o caldo

fermentado, que constitui a fase líquida e onde se encontra o etanol, e as leveduras responsáveis pela fermentação, que são novamente introduzidas no tanque de fermentação, reciclando material e diminuindo o consumo energético do processo. Na Figura 20, abaixo, encontra-se o fluxograma do processo deste processo de conversão.

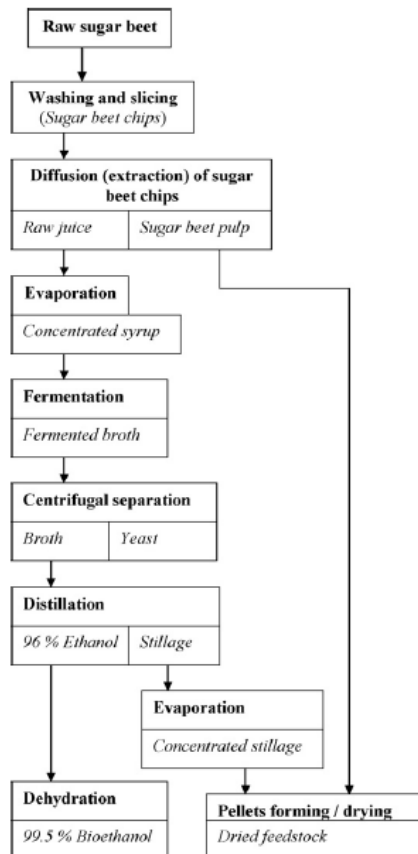


Figura 20 - Esquema do processo de conversão da beterraba em etanol a 99,5 % de pureza (Šantek *et al.*, 2010)

Os principais passos consumidores de energia no processamento da beterraba em etanol são: extracção de açúcar dos palitos de beterraba (difusão), concentração por evaporação do sumo de beterraba, destilação do etanol e secagem da polpa de beterraba para formação de peletes (Šantek *et al.*, 2010). Atentando na Tabela 3, o processo de destilação de etanol obtido a partir de beterraba sacarina consome aproximadamente 21 % a 24 % do total de entradas energéticas no percurso total de produção e representa aproximadamente 29 % da energia gasta no processamento industrial da beterraba. O

processamento tecnológico representa entre 72 % e 83 % da energia gasta no percurso desde a beterraba até ao etanol.

Apesar do apetite energético característico desta cultura, a beterraba apresenta, porém, grandes vantagens face a outras culturas cujo cultivo se encontra disseminado em Portugal. Um dos atractivos da beterraba sacarina é a generosa produção de etanol por hectare de terreno agrícola, motivado pela elevada produtividade da beterraba sacarina que em Portugal ronda 70 t/ha (média da produtividade no período 2000 – 2009). No diagrama de barras seguinte, Figura 21, verifica-se que a beterraba apresenta o maior rendimento de etanol por hectare, dentre as principais fontes de bioetanol: milho, cana-de-açúcar e beterraba.

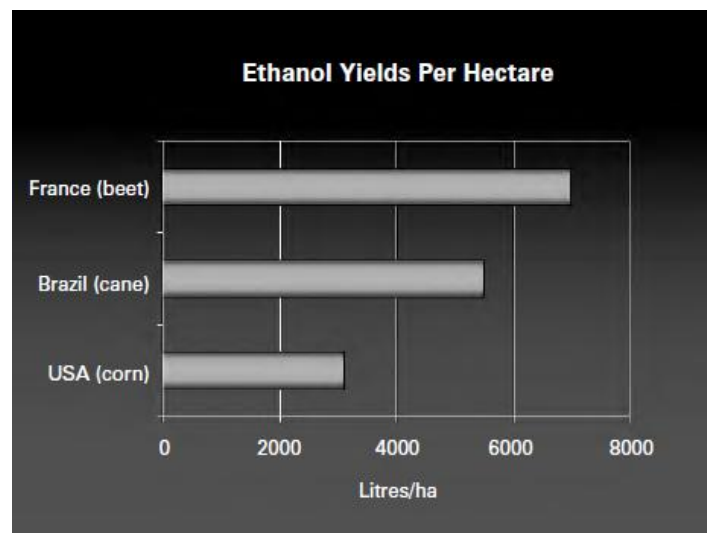


Figura 21 - Produção de etanol por hectare de terreno agrícola (El Bassam, 2010)

A segunda grande vantagem da beterraba é o aproveitamento dos produtos secundários obtidos durante o seu processamento. Um dos produtos é a polpa de beterraba prensada em peletes e enriquecida com melaço, como já foi mencionado. As peletes de beterraba são principalmente utilizadas como forragem para gado bovino, suíno e equino, devido ao seu conteúdo proteico, cerca de 7 % (ingredients101.com), por conter fibra de fácil digestão e pelo elevado conteúdo energético. Recorrendo mais uma vez à Tabela 3, verifica-se que os produtos secundários obtidos no processamento

da beterraba são os que apresentam maior conteúdo energético, 18,1 MJ/l de etanol. Segundo El Bassam a densidade energética é de 10,84 MJ/kg peletes (2010). O melaço também pode ser vendido e utilizado como base para o fabrico de bebidas alcoólicas ou como substrato de produção de fermento de padeiro.

2.4.2 Etanol a partir de amido

A produção de etanol a partir de materiais ricos em amido reveste-se de maior complexidade, como já foi apresentado na Secção 2.3. A hidrólise do amido implica a utilização de um ácido, enzimas e calor, o que acarreta maior gasto de energia na produção de ácido, enzimas específicas para o substrato e vapor de água.

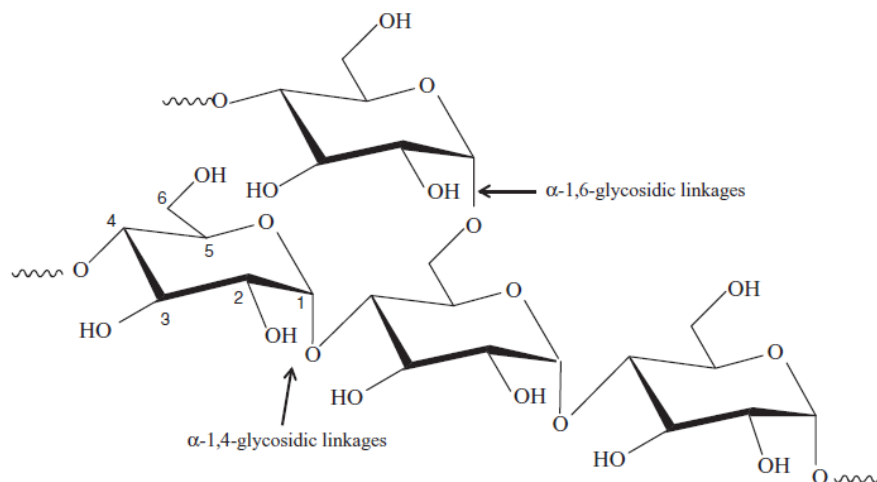


Figura 22 - Molécula de amido na qual estão indicadas as ligações glicosídicas (Gupta e Demirbas, 2010)

Existem dois tipos de hidrólise que são utilizados na produção de bioetanol: ácida e enzimática. Na primeira é utilizado um ácido, regra geral sulfúrico, para quebrar as ligações glicosídicas do amido e convertê-lo em açúcares simples, como dextrinas e glicose. A utilização de ácido diluído implica a formação de co-produtos, ácidos

levulânico e fórmico, e a degradação dos açúcares, o que diminui o rendimento de etanol por cada unidade de massa de amido que entra no processo; por outro lado, a utilização de ácido concentrado diminui a quantidade de co-produtos mas acarreta a necessidade de reciclar o caldo, para permitir a utilização do ácido quase por completo (Speight, 2008; Taherzadeh e Karimi, 2008). A hidrólise com ácido diluído pode ser utilizada como complemento à hidrólise enzimática, na qual o amido é marinado na solução aquosa ácida e depois cozido através da aplicação de um jacto de vapor de água (*jet cooker*); após estes passos o amido é então submetido à acção de enzimas (Taherzadeh e Karimi, 2008).

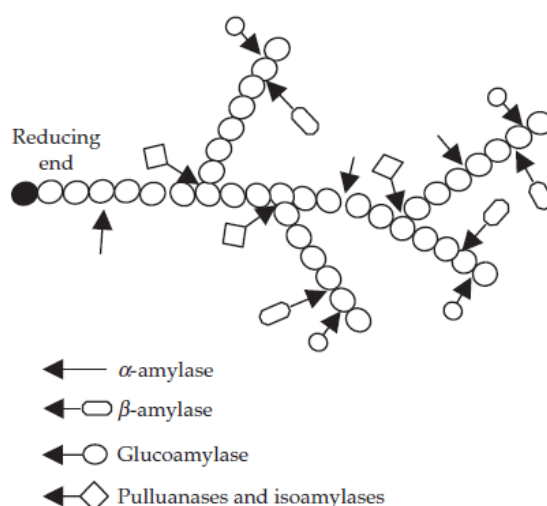


Figura 23 - Acção de enzimas sobre as moléculas de amido (Nag., 2010)

A aplicação de diferentes enzimas na massa de amido permite a sua correcta e eficaz hidrólise, poupando tempo mas não dinheiro. A hidrólise enzimática torna-se mais dispendiosa do que a ácida devido ao maior custo de produção de enzimas face à de ácido sulfúrico, apesar de na implementação da hidrólise ácida ser necessária a construção de um tanque de fermentação resistente ao ataque químico (Taherzadeh e Karimi, 2008). As duas enzimas mais utilizadas na indústria do etanol produzido a partir de milho são a α -amilase e a glucoamilase (Minteer, 2006); contudo, também são aplicadas as β -amilase, pulluanases e isoamilases, como se vê na Figura 23. A acção destas enzimas converte o amido em dextrinas – polissacarídeos de formula química

(C₆H₁₀O₅)_n – que são posteriormente simplificadas para açúcares simples como a maltose e a glicose, como foi descrito na Secção 2.3.1. Na Figura 24 é apresentado o fluxograma do processo.

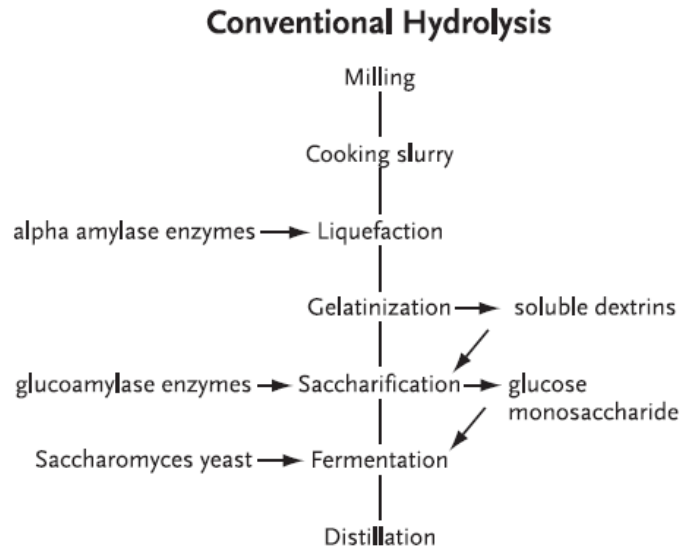


Figura 24 - Fluxograma da hidrólise enzimática do amido (Freudenberger, 2009)

O processamento inicia-se com a moagem dos grãos de cereais, no caso do passo inicial do fluxograma, ou com o esmagamento dos tubérculos, de forma a expor o amido. Seguidamente, o amido é cozido através de vapor de água injectado por cima e por baixo da matéria-prima dentro de um compartimento estanque (forno Henze), passo que elimina a grande maioria dos agentes contaminantes, nomeadamente bactérias, e que acelera a cozedura devido ao aumento da pressão no seu interior até cerca de 5 bar (Senn e Pieper, 2001).

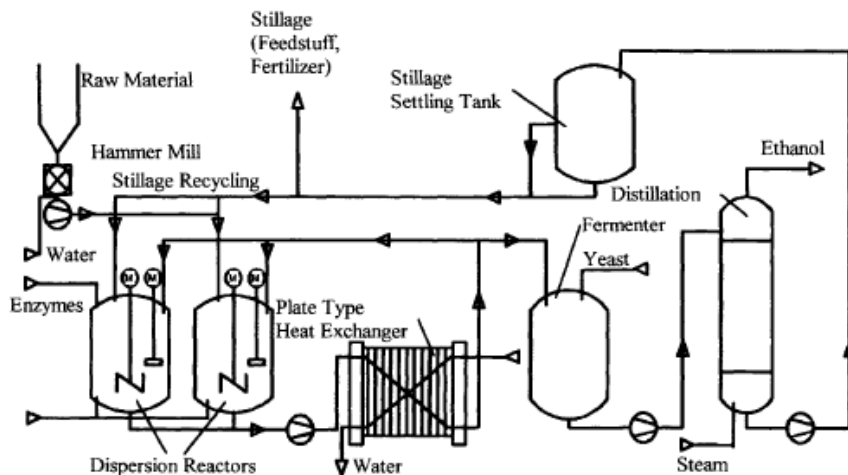


Figura 25 - Esquema da produção de etanol a partir de amido (Senn e Pieper, 2001)

Esta operação é responsável por boa parte do consumo energético do processo. É também adicionada água quente para permitir a libertação dos hidratos de carbono e ocorrer a mistura destes com a enzima α -amilase. A partir de determinada temperatura, variável conforme a matéria-prima a ser processada, as ligações de hidrogénio do amido enfraquecem e este começa a absorver água, ocorrendo a sua gelatinização. A enzima quebra as ligações do amido e converte-o em dextrinas, diminuindo a viscosidade da mistura. Após a gelatinização é adicionada glucoamilase para converter as dextrinas em glicose, passo este denominado sacarificação.

A partir do momento em que o amido é sacarificado, os processamentos de culturas energéticas ricas em sacarose ou amido tornam-se num só, dado que a massa a ser fermentada é rica em hexoses como a glicose ou a frutose. Assim, a descrição da produção de etanol a partir de amido é remetida para a Secção 2.3.1, relativa à produção de bioetanol a partir de sacarose.

2.4.2.1 Culturas ricas em amido cultiváveis em Portugal e potenciais fontes de bioetanol

Pode-se afirmar, sem margem para dúvidas, que o milho é a cultura energética rica em amido mais divulgada na produção de bioetanol a nível mundial (Taherzadeh e Karimi, 2008; Gnansounou, 2009; Gupta e Demirbas, 2010). Os Estados Unidos detêm cerca de 56 % da produção mundial de bioetanol (valor calculado com base na Tabela 2) e a sua produção provém, esmagadoramente, do milho. De acordo com dados da FAO (2010), os maiores produtores de milho a nível mundial no ano de 2008 foram os Estados Unidos, com 307.142.000 t, seguidos de longe pela China, com 166.032.097 t, e pelo Brasil, com 58.933.300 t. A produção de bioetanol, que no início da década de 2000 era dominada por culturas ricas em sacarose, até 60 % do total produzido, virou a tendência e passou a ver aproximadamente 53 % do seu sustento provir de culturas ricas em amido no ano de 2006 (Taherzadeh e Karimi, 2008). O sucesso do milho como matéria-prima para produção de bioetanol nos Estados Unidos deve-se aos fortes apoios estatais e federais, já mencionados na Secção 2.1, e à evolução da produtividade de milho por unidade de área, já que esta quadruplicou entre 1954 e 2004 (Minteer, 2006). No entanto, a elevada produtividade desta cultura prende-se com a utilização massiva de herbicidas e pesticidas, fertilizantes (principalmente azotados) e irrigação (Patzek e Pimentel, 2005; Patzek, 2006).

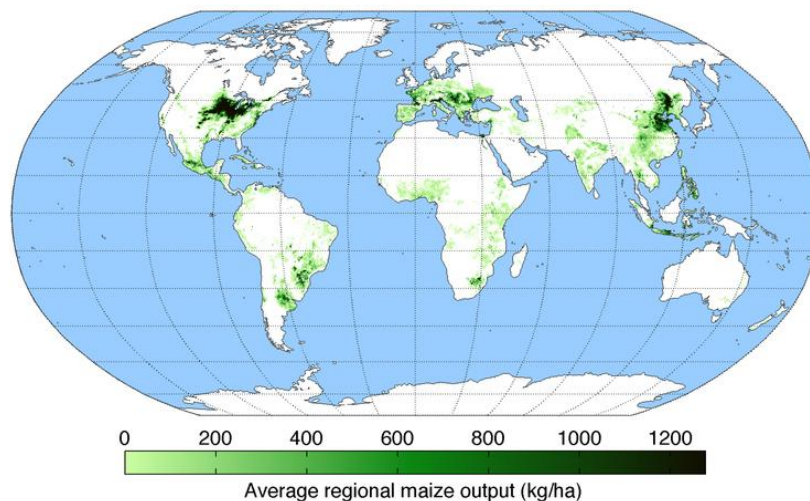


Figura 26 – Distribuição mundial da produção de milho (Wikipedia, 2011d)

A produção de milho em Portugal é desprezável, quando comparada com a dos Estados Unidos, dado que o máximo de produção foi atingido em 1998, com 182.654 ha semeados e 980.922 t de milho colhidas; no entanto, é considerada a mais importante cultura arvense no contexto da agricultura portuguesa e envolve o maior número de produtores e explorações agrícolas (INE, 2007). Ao longo do litoral Centro e Norte verificou-se, no período de 1980 a 2006, uma grande homogeneidade na produção, muito em parte graças à estreita relação entre esta actividade e a pecuária (INE, 2007). De acordo com Vasconcellos e Souza, Presidente da Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (ANPROMIS), cerca de 60 % do milho produzido em território nacional destina-se a rações e às indústrias das massas alimentícias e cervejeira; o país vê-se, portanto, obrigado a importar cerca de metade do que consome, sendo o consumo interno da ordem das 1.500.000 t e a produção a rondar as 450.000 t em 2006 (AgroPortal, 2007).

Depreende-se, então, que o investimento nesta cultura para a produção de bioetanol seria massivo para assim atingir cotas de produção que superassem as 1.500.000 t, que se destinam ao consumo humano e animal, e ainda restassem 2,684 kg milho com 15 % de humidade por cada litro de etanol produzido¹¹. Esta cultura tem a seu favor o elevado rendimento de produção de etanol face a outras culturas energéticas,

¹¹ Valor calculado com base no rendimento de etanol do milho, que corresponde a 372,6 l etanol/kg milho com 15% de humidade (Patzek, 2006).

nomeadamente a beterraba sacarina e a cana-de-açúcar, como se comprova no gráfico de barras abaixo, Figura 27.

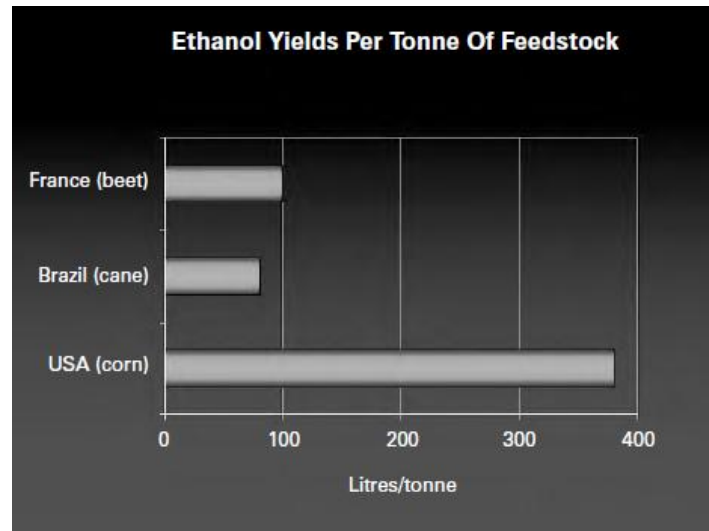


Figura 27 - Produção de etanol por tonelada de matéria-prima (El Bassam, 2010)

No entanto, como se pode comprovar no gráfico de barras da Figura 21, é a cultura que possui o menor rendimento de etanol por unidade de área cultivada. De acordo com dados do INE, a produtividade do milho em Portugal atingiu o seu valor máximo em 2009 de 6,509 t milho/ha, o que se revela manifestamente pouco face às 86,381 t beterraba/ha da beterraba sacarina atingidas em 2008. Multiplicando o rendimento por hectare pela produtividade máxima atingida em Portugal, obtém-se para o milho $370 \frac{\text{l etanol}}{\text{t milho}} \times 6,509 \frac{\text{t milho}}{\text{ha milho}} = 2408 \frac{\text{l etanol}}{\text{ha milho}}$ e para a beterraba $100 \frac{\text{l etanol}}{\text{t beterraba}} \times 86,381 \frac{\text{t beterraba}}{\text{ha beterraba}} = 8638 \frac{\text{l etanol}}{\text{ha beterraba}}$; ou seja, a área dedicada à plantação de milho seria $\frac{8638 \frac{\text{l etanol}}{\text{ha beterraba}}}{2408 \frac{\text{l etanol}}{\text{ha milho}}} = 3,6 \frac{\text{ha milho}}{\text{ha beterraba}}$, quase quatro vezes maior do que área dedicada à beterraba. Assim, poder-se-á afirmar que o milho não é uma opção para Portugal a curto prazo, pelo que não foi considerada nos cálculos.

Outro cereal que assume a posição de fornecedor europeu de matéria-prima para a produção de bioetanol é o trigo. Esta é a segunda cultura alimentar mais produzida a nível mundial, após o milho e antes do arroz, com a China a liderar nesta frente, com

112.463.292 t de grão produzidas em 2008, seguida pela Índia, com 785.70.200 t, e pelos Estados Unidos da América, com 68.016.100 t (FAO, 2010). É uma das culturas mais relevantes a nível mundial devido à sua versatilidade, que após ser reduzida a farinha resulta no fabrico dos mais variadíssimos produtos, tais como pão, biscoitos, bolachas, bolos, cereais de pequeno-almoço e massas, e a sua fermentação origina cerveja, vodka e álcool (El Bassam, 2010). Esta cultura é um tanto ou quanto problemática face a outras culturas energéticas, no que toca à produção de etanol por unidade de área, dado que face às culturas da milho e da batata, culturas ricas em amido, o trigo possui uma produção de etanol muito baixa como se pode comprovar na Tabela 6, abaixo, na linha relativa a *Wheat* (trigo em inglês).

Table 5.2 Average Alcohol Yield Per Acre from Raw Material	
Feedstock Material	Yield in Gal./Acre
Sugar Beets	287 - 412
Sugar Cane	268 - 555
Corn, Field	214 - 390
J. Artichoke	180 - 613
Potatoes	178 - 299
Sweet Potatoes	141 - 190
Apples	140
Dates, dry	126
Carrots	121
Raisins	102
Yams	94
Grapes	90
Peaches	84
Prunes, dry	83
Pineapples	78
Pumpkins	78
Cranberries	70
Rice	66 - 175
Soybeans	58
Pears	49
Barley	48 - 83
Molasses, blackstrap	45
Apricots	41
Peanuts	40
Oats	36 - 57
Sorghum grain	35 - 125
Buckwheat	34
Wheat	33 - 79
Figs, fresh	31
Figs, dry	29
Sorghum cane	26 - 500*
Rye	24 - 54
Plums	22
Citrus Waste	N/A
Whey	N/A
Crabapples	N/A

Note: Alcohol yields at 199.5 proof. Figures rounded to nearest whole number. Yields based on multiple sources including USDA Misc. Pub. 327, December 1938 and USDA Agricultural Statistics, 1978 and 2003.
* Lipinski, E.S., "Fuels From Sugar Crops." 1979

Tabela 6 - Produção de etanol de diversas culturas por unidade de área cultivada (Freudenberger, 2009)

A produtividade do trigo colhido em Agosto na Europa ronda as 7 a 10 t/ha (El Bassam, 2010), valor que, nem de perto nem de longe, foi alcançado em Portugal no período de 2000 – 2009, ficando a produtividade média nacional por 1,549 t/ha. O rendimento de etanol por unidade de massa do trigo é 38 l/100 kg trigo (Senn e Piper, 2001), o que resulta em 380 l/t trigo. Multiplicando este valor pela produtividade nacional obtém-se $380 \frac{\text{l etanol}}{\text{t trigo}} \times 1,549 \frac{\text{t trigo}}{\text{ha trigo}} = 589 \frac{\text{l etanol}}{\text{ha trigo}}$, resultado que é 76 % inferior ao do milho (2408 l etanol/ha milho) e 93 % inferior ao da beterraba (8638 l etanol/ha beterraba). Segundo Maria Antónia Figueiredo, Presidente do Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agro-Alimentares (OMAIAA), na campanha de 2008/2009 Portugal aumentou a dependência de trigo estrangeiro para 88,7 % (OMAIAA, 2011a). Fazendo novamente o mesmo exercício já feito para o milho: a produção em 2008 foi de 203.332 t (contabilizando trigo mole e trigo duro); para cobrir as necessidades de trigo a nível alimentar humano e animal é necessário produzir cerca de $\frac{203.332}{1-0,887} - 203.332 = 1.596.066$ t trigo. A esta quantidade seria necessário acrescentar 2,632 kg trigo/l etanol produzido, o que representaria pesados investimentos a nível monetário e em área cultivada. A situação repete-se face às quantidades de etanol necessárias e a conclusão assemelha-se à discorrida para o caso do milho: esta cultura também não é opção a curto prazo para a produção de bioetanol em Portugal.

Por fim, a batata destaca-se em Portugal como uma alternativa deveras interessante, face ao milho e trigo, para a produção de bioetanol. Portugal depende enormemente desta cultura a nível alimentar, dado que se encontra presente na mesa de qualquer família portuguesa. É extremamente versátil e pode ser confeccionada das mais variadas formas, servindo de acompanhamento a uma miríade de pratos tipicamente portugueses. É largamente utilizada em restaurantes de comida rápida (*fast food*), confecção de sopas, aperitivos, etc.



Figura 28 – Batateiros (Wikipedia, 2011c)

A independência de Portugal relativamente a esta cultura é aproximadamente 70 %, pelo que 30 % da batata consumida anualmente provém de países terceiros, principalmente França e Espanha, de acordo com o OMAIAA (2011b). Tendo em conta o consumo interno de batata, a dependência portuguesa face ao exterior é pequena quando comparada com a cultura de cana-de-açúcar, a partir da qual se produz o açúcar consumido em Portugal, e em relação à qual o país se encontra totalmente dependente de importações do estrangeiro. A produção máxima de batata em Portugal foi alcançada em 1985 atingindo o valor de 1.701.597 t para uma área cultivada de 129.955 ha; doravante, a área dedicada ao seu cultivo diminuiu regularmente até atingir 37.940 ha em 2009, ou seja, diminuiu cerca de 71 %. Este valor foi acompanhado pela queda na produção para 570.235 t, valor 66 % inferior ao máximo atingido (INE, 2006; INE, 2009).



Figura 29 - Batata (Buy Burpee Seeds Online, 2011)

Os valores nacionais contrastam, como seria esperado, com os globais, liderando a China, com 70.839.652 t produzidas em 2008, seguida de bem longe pela Índia, com 34.658.000 t, e pela Rússia, com 28.874.200 t; os Estados Unidos contentam-se com 18.826.600 t de batata no mesmo ano (FAO, 2010). Este tubérculo é a quarta cultura mais produzida a nível mundial (suplantada apenas pelo arroz, trigo e milho). Devido à sua capacidade de adaptação a diversos climas, à grande produtividade por unidade de área e ao baixo custo de investimento, pode desenrolar um papel activo na luta contra a fome a nível mundial e local (El Bassam, 2010).

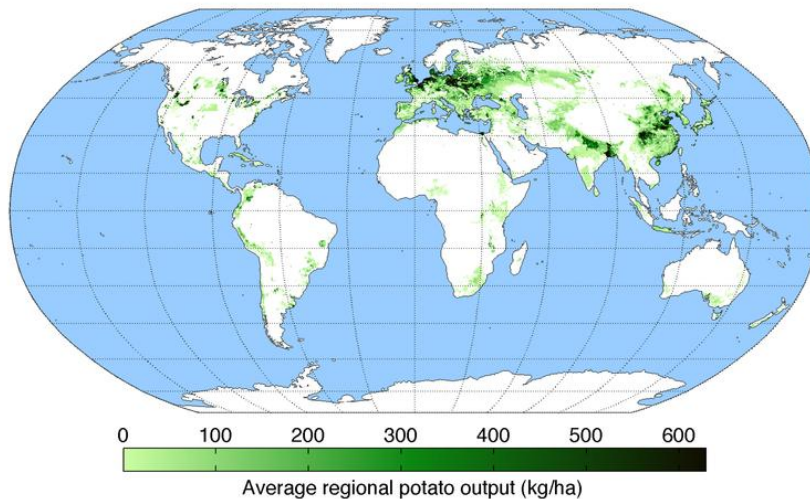


Figura 30 - Distribuição mundial da produção de batata (Wikipedia, 2011c)

Na Europa a sua produtividade ascende a 30 a 50 t/ha, valor muito superior ao cenário português (El Bassam, 2010) e é a cultura mais utilizada na produção de etanol na Alemanha e Europa de Leste (Senn e Piper, 2001). Esta afirmação de Senn e Piper é dúbia, pois foi publicada em 2001 e não é explicitado se o etanol como bebida espirituosa é contabilizado ou se apenas se referem ao etanol como biocombustível, dado que é a partir da batata que se fabricam bebidas espirituosas mundialmente conhecidas como a vodka, particularmente nos países da Europa Central e Leste (a produção alemã de batata atingiu as 11.369.000 t em 2008, segundo a FAO (2010)). De acordo com a ePure, cerca de 60 % do bioetanol produzido como combustível provém

de cereais como o trigo e o milho, 30 % de beterraba sacarina e os restantes 10 % de biomassa, resíduos orgânicos e outras fontes menores (ePure, 2010).

Apesar de esta cultura não ser ideal para o fabrico de etanol, a sua utilização como matéria-prima pode fazer todo o sentido não como cultura somente energética, mas como cultura alimentar e energética em simultâneo. Ou seja, de acordo com El Bassam (2010), cerca de 5 % a 20 % em peso da produção anual de batata é considerada desperdício, devido a podridão, resíduos do processamento da batata para a indústria alimentar (casca de batata, por exemplo), entre outras razões que levam a descartar parte da produção. Este autor dá o exemplo da empresa *Shaman Spirits* (www.shamanspirits.com), que produz bebidas espirituosas aromatizadas e utiliza cerca de 1.500 t/ano de restos de batata como matéria-prima para a sua laboração. Essa percentagem da produção é descartada independentemente da sua utilização e poderá ter como finalidade a produção de bioetanol, ainda que o rendimento de etanol por unidade de área da batata (*Potatoes*) seja inferior ao das culturas açucareiras, Tabela 7. Com base nesta tabela pode-se reafirmar o baixo rendimento do trigo, dado que este necessita de aproximadamente o quádruplo do terreno ocupado pelas culturas açucareiras e o dobro do dos tubérculos.

Crop	Sugarcane	Sweet sorghum	Sugar beet	Cassava	Potatoes	Wheat
Area (ha)	0.49	0.38	0.5	1.43	1.2	2.52

Tabela 7 - Área cultivada por cultura necessária destinada a produzir etanol suficiente para alimentar um automóvel de dimensão média que percorra 15.000 km/ano, consumindo para tal aproximadamente 2000 l de bioetanol (Nag, 2010)

Por outro lado, tendo em conta a Tabela 8, a batata é a cultura tradicional para produção de etanol que apresenta o maior retorno energético, o que reforça a ideia de que os desperdícios da indústria transformadora da batata podem ser complementares à cultura da beterraba no fabrico de etanol.

	Corn	Wheat	Potato	Beet
Fertilizer, MJ ha ⁻¹	17,654.1	8,989.9	15,118.3	29,437.2
Pesticide, MJ ha ⁻¹	921.3	0.0	1,498.5	2,496.1
Fuel, MJ ha ⁻¹	7,007.2	7,021.7	7,956.9	39,630.7
Irrigation, MJ ha ⁻¹	563.2	0.0	0.0	23,507.4 ^a
Other (Feedstock), MJ ha ⁻¹	507.7	3,891.5	5,726.3	2,765.0
Total (Feedstock), MJ ha ⁻¹	26,653.5	19,903.1	30,300.0	74,329.0
Process steam, MJ ha ⁻¹	33,066.3	36,569.5	75,117.5	110,086.0
Electricity, MJ ha ⁻¹	13,002.5	37,607.6		
Bulk transport, MJ ha ⁻¹	1,197.3		3,947.2	5,540.5
Other (Process), MJ ha ⁻¹	1,305.3			
Total (Process), MJ ha ⁻¹	48,571.4	74,177.1	79,064.7	115,626.5
Total energy input, MJ ha ⁻¹	75,224.9	94,080.2	109,364.7	189,955.6
Energy in ethanol, MJ ha ⁻¹	71,426.5	47,369.3	197,478.4	206,841.6
Co-product credit, MJ ha ⁻¹	13,497.7	0.0	0.0	0.0
Total energy output, MJ ha ⁻¹	84,924.2	47,369.3	197,478.4	206,841.6
Net energy value, MJ ha ⁻¹	9,699.3	-46,711.0	88,113.7	16,886.0
Percent gain	12.9	-49.7	80.6	8.9
Energy ratio	1.1	0.5	1.8	1.1

^a The irrigation system works with diesel, human labor, and depreciations which are considered in the Fuel and Other (Feedstock) items, respectively.

Tabela 8 - Balanço energético de diferentes culturas na produção de etanol no Chile (Contreras *et al.*, 2010)

2.4.2.2 Produção de etanol a partir de batata

Contrariamente à beterraba sacarina, a batata aceita uma maior variedade de climas para o seu cultivo e também é menos exigente quanto ao solo em que é cultivada. Como se pode observar na Figura 30, a batata encontra-se dispersa um pouco por todo o mundo implicando que esta cultura se adapta com relativa facilidade a diferentes climas e solos, pelo que existem cerca de 280 variedades registadas na *Native Potato Germplasm Bank* na *Austral University* no Chile (Contreras *et al.*, 2010). As necessidades nutricionais da batata resumem-se na Tabela 9 abaixo.

Nutrientes	Quantidade [kg/ha]	Observações
Fósforo (P ₂ O ₅)	100 – 180	Tudo em aplicação de fundo
Potássio (K ₂ O)	150 – 280	Tudo em aplicação de fundo
Azoto	60 – 100	Tudo em aplicação de fundo

Tabela 9 - Quantidade recomendada de nutrientes a aplicar no cultivo da batata, com produção esperada de 40 a 50 t/ha (ADP Fertilizantes, 2010)

Observando as quantidades recomendadas, verifica-se que a necessidade máxima de azoto da batata se situa abaixo do mínimo necessário para a beterraba, o que indicia menor gasto com este nutriente tão energeticamente dispendioso. Convém, no entanto, salvaguardar que o gasto com potássio é superior. Relativamente à rega da batata, são necessários 500 a 700 mm de água para um ciclo de vida de 120 a 150 dias, respectivamente (FAO, 2009). A nível nacional a gama é alargada, com ciclos de vida entre 90 e 150 dias e 400 a 800 mm de água, conforme as condições edafoclimáticas (ADP Fertilizantes, 2010).

Como é óbvio, também esta cultura se encontra sujeita à mecanização dos processos de plantio, desinfestação, colheita e transporte, significando gastos energéticos em combustíveis ao longo de todo o processo. O processo de colheita desta cultura é em tudo semelhante ao da beterraba, pelo não será repetido neste capítulo e remete-se o leitor para a Secção 2.3.1.2. À semelhança da beterraba sacarina, esta cultura implica maior gasto em combustíveis na colheita e transporte, devido à morfologia e peso dos tubérculos, pelo que as fábricas de etanol são integradas num complexo industrial com fábricas de produtos alimentares à base de batata.



Figura 31 - Colhedeira de batata (Farndon Fields Farm Shop, 2011)

Após a colheita da batata, tal como é feito para a beterraba, é necessário eliminar a terra e detritos que venham agarrados à batata, destruindo possíveis contaminantes tais como os esporos do fungo *Clostridium sp.* (Senn e Pieper, 2001). As batatas passam por

um parafuso rotativo que as empurra numa direcção enquanto água quente se desloca em contracorrente. Em seguida, são removidas pedras recolhidas na apanha e as batatas são encaminhadas para um elevador no qual existe também água a circular em contracorrente. As batatas são finalmente armazenadas para subsequente processamento, evitando assim o apodrecimento dos tubérculos. O processo de lavagem consome água na ordem de 3 a 5 vezes o volume de batata, o que representaria um consumo energético elevado se parte da água utilizada no arrefecimento dos tanques de fermentação não fosse reciclada, implicando o bombeamento constante de água fresca (Senn e Pieper, 2001).

As batatas são então enviadas para o forno Henze para serem cozidas a alta pressão. O vapor é inicialmente injectado directamente sobre as batatas pelo topo do forno, enquanto o condensado sai pela parte inferior do mesmo. Quando a parte cónica do forno se encontra aquecida, Figura 32, o vapor passa a ser injectado pela base do forno e as válvulas do forno são reguladas para que a pressão no seu interior atinja 5 bar, acelerando o processo de cozedura do amido (Senn e Pieper, 2001).

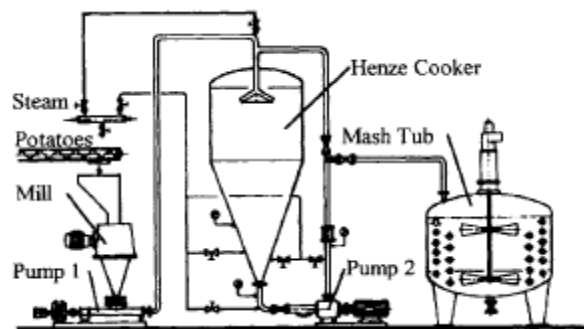


Figura 32 - Processo de cozedura a alta pressão num forno Henze (Senn e Pieper, 2001)

Concluída a cozedura, o conteúdo do forno é enviado para o esmagador, onde a batata é moída e dá origem a puré. O puré de batata é finalmente colocado no tanque de fermentação, passo a partir do qual o processamento é idêntico ao descrito na Secção 2.3.2 e se encontra esquematizado na Figura 33 abaixo.

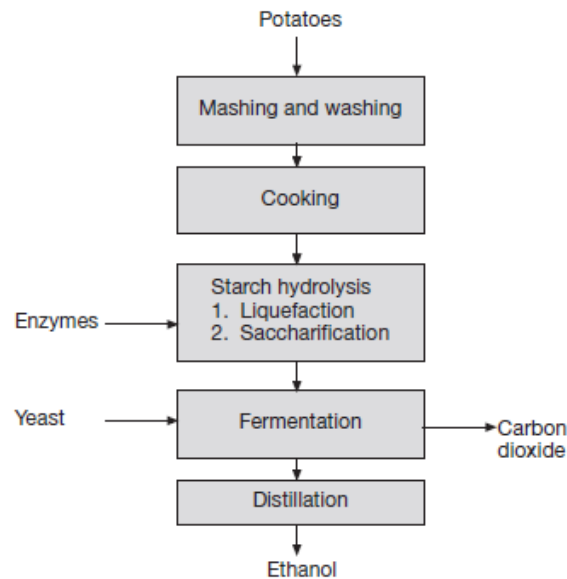


Figura 33 - Fluxograma da produção de etanol a partir de batata (Contreras *et al.*, 2010)

Um processo alternativo à cozedura a alta pressão é a cozedura a pressão ambiente, no qual a batata é moída e esfarelada previamente, seja com um martelo esmagador ou com um esmagador rotativo (Senn e Pieper, 2001), e que também já foi descrito na Secção 2.3.2.

A produção de etanol a partir de batata apresenta os mesmos sorvedouros de energia que a produção a partir de beterraba. Baseando-se mais uma vez o raciocínio na Tabela 3, o passo que mais energia consome é a destilação, representando 39 % da energia consumida no processamento tecnológico da batata. O processamento tecnológico pesa entre 52 % e 80 % no consumo associado a todo o processo de produção, desde o cultivo da batata até à obtenção de bioetanol. Estes números indicam que o processamento da beterraba é energeticamente mais gastador face ao da batata.

A batata apresenta diversas vantagens face a outras culturas destinadas à produção de bioetanol, algumas das quais já mencionadas. A primeira vantagem é a de que entre 5 % e 20 % da produção anual de batata para consumo alimentar é considerada inevitavelmente perdida, porque não se encontra dentro dos padrões para comercialização ou são desperdícios de processamento de batata para a indústria alimentar. A segunda vantagem é a grande produtividade desta cultura, que pode originar cerca de 40 t/ha quando devidamente adubada e regada, o que combinado com

a primeira vantagem resulta em 2 a 8 t/ha de batata para produzir bioetanol. Como terceira e última grande vantagem tem-se a boa produção de etanol por unidade de área desta cultura, que de acordo com os valores da Tabela 6 se situa entre 1665 e 2796 l etanol/ha, conforme a produtividade da batata. De acordo com El Bassam (2010), o factor de conversão da batata em etanol ronda 0,076 t etanol/t batata, que resulta em

$$\frac{0,076 \frac{\text{kg etanol}}{\text{kg batata}}}{0,796 \frac{\text{kg etanol}}{\text{l etanol}}} = 0,099 \frac{\text{l etanol}}{\text{kg batata}} = 99 \frac{\text{l etanol}}{\text{t batata}}.$$

Visto que a batata é um bem essencial na alimentação portuguesa e mundial, sendo produzidas centenas de milhões de toneladas todos os anos, e que Portugal possui aproximadamente 70 % de independência produtiva face ao exterior nesta cultura, pode-se considerar que este tubérculo seria uma aposta razoável para produção de bioetanol, pois o investimento no seu cultivo seria bem inferior ao de culturas como o milho e o trigo, salvaguardando sempre a produção alimentar.

Capítulo 3

No presente capítulo são apresentados o raciocínio seguido e os cálculos efectuados para a obtenção dos valores de retorno energético do etanol face ao investimento no cultivo, colheita e processamento da matéria-prima que serve de base à sua produção.

3 Cálculos efectuados e resultados obtidos

Abaixo encontram-se o raciocínio seguido e os cálculos efectuados relativamente às possibilidades de produzir bioetanol a partir de beterraba e de batata, com base nos valores de produção anuais e nacionais destas culturas. Alguns dados e valores utilizados encontram-se desactualizados, contudo, não fogem muito da realidade nacional; ainda hoje se utiliza maquinaria e metodologias de há 10 ou 20 anos atrás, muito menos eficientes face às actuais e com maior apetite por combustível e manutenção. Este facto não desencaminha, no entanto, o resultado final, pois compensa os gastos que não foram contabilizados ao longo da cadeia de operações, desde o cultivo até ao abastecimento das gasoleiras com bioetanol.

3.1 Produção anual de etanol

Recorrendo às publicações do Instituto Nacional de Estatística (INE), foi possível determinar a produção nacional de beterraba e de batata no período 2006 – 2009, no qual a produção de beterraba entrou em declínio até à cessação total no continente português, e também o ano de maior produção, para servir como valor de referência.

Produção nacional de beterraba sacarina				
Ano		Área	Produção	Produtividade
		[ha]	[t]	[t/ha]
Máximo alcançado	2002 ¹	9.040	643.859	71,223
	2006 ¹	4.275	320.039	74,863
	2007 ²	3.022	254.046	84,066
	2008 ²	1.586	137.001	86,381
	2009 ²	135	6.612	48,978
Média				79,133
¹ INE, 2007				
² INE, 2010				

Tabela 10 - Produção nacional de beterraba sacarina desde 2006 a 2009, incluindo o ano de maior produção

Produção nacional de batata				
Ano		Área	Produção	Produtividade
		[ha]	[t]	[t/ha]
Máximo alcançado	1985 ¹	129.955	1.701.597	13,094
	2006 ¹	41.350	611.179	14,781
	2007 ²	42.176	656.561	15,567
	2008 ²	38.850	566.556	14,583
	2009 ²	37.940	570.235	15,030
Média				14,602
¹ INE, 2007				
² INE, 2010				

Tabela 11 - Produção nacional de batata desde 2006 a 2009, incluindo o ano de maior produção

Nestas tabelas, Tabela 10 e Tabela 11, a produtividade foi calculada dividindo a produção pela área do ano respectivo, pois para o período 2007 – 2009 este valor era inexistente, tendo sido efectuado o cálculo para este período. Para manter o critério aplicado aos anos subsequentes a 2006, este valor foi também calculado para os anos precedentes e a 2006, inclusive, embora tenha sido calculado na fonte INE (2007). Seguidamente foi calculada a produção de etanol passível de obter a partir da beterraba e da batata, Tabela 12 e Tabela 13.

Conversão média de beterraba em etanol ¹		Produção anual de etanol de beterraba	Energia contida no etanol
[galões etanol/t beterraba]	[l etanol/t beterraba]	[l]	[MJ]
24,8	93,868	60.437.757	1.239.312.462
		30.041.421	616.017.359
		23.846.790	488.992.736
		12.860.010	263.702.218
		620.655	12.726.908
¹ El Bassam, 2010			

Tabela 12 - Produção anual de etanol a partir de beterraba

Parcela de resíduos de batata p/ produção de bioetanol ¹		Conversão média de batata em etanol ²	Produção anual de etanol de batata		Energia contida no etanol
5 % da produção	20 % da produção	[t etanol/t batata]	20 % da produção		20 % da produção
[t]			[t]	[l]	[MJ]
85.080	340.319	0,076	25.864	33.677	690.576
30.559	122.236		9.290	12.096	248.041
32.828	131.312		9.980	12.994	266.459
28.328	113.311		8.612	11.213	229.931
28.512	114.047		8.668	11.286	231.424
¹ Parcelas máxima e mínima de batata não comercializada e resíduos do processamento da batata (El Bassam, 2010)					
² El Bassam, 2010					

Tabela 13 - Produção anual de bioetanol a partir de batata

Os valores da Tabela 12 foram obtidos da seguinte forma:

- Produção anual de etanol de beterraba [l] =
Produção nacional de beterraba sacarina [t] (Tabela 10) *
Conversão média de beterraba em etanol $\left[\frac{\text{l etanol}}{\text{t beterraba}} \right]$;
- Conversão média de beterraba em etanol $\left[\frac{\text{l etanol}}{\text{t beterraba}} \right] =$
Conversão média de beterraba em etanol $\left[\frac{\text{galões etanol}}{\text{t beterraba}} \right] \times 3,785 \left[\frac{\text{l}}{\text{gal}} \right]$;

- Energia contida no etanol [MJ] =

$PCI_{\text{Etanol}} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{l}} \right] \times \text{Produção anual de etanol de beterraba [l]}$, em que PCI_{Etanol} é o poder calorífico inferior do etanol cujo valor é 20,7 MJ/l¹².

A produção de etanol a partir de batata está sujeita à parcela de batata residual que não é aproveitada, pelo que a variabilidade da produção de etanol é maior do que na beterraba. Para simplificar os cálculos, foi utilizado apenas o valor correspondente a 20 % de batata residual como matéria-prima a entrar no processo.

Os valores da Tabela 13 foram obtidos da seguinte forma:

- Produção anual de etanol de batata [l] =
Produção nacional de batata (20 % da produção) [t] (Tabela 11) *
Conversão média de batatata em etanol $\left[\frac{\text{t etanol}}{\text{t beterraba}} \right]$;
- Produção de etanol [l] = Produção de etanol [t] $\times 0,768 \left[\frac{\text{kg etanol}}{\text{l etanol}} \right]$;
- A energia contida no etanol foi calculada da mesma forma apresentada para a Tabela 12, mas neste caso para os dados relativos a 20 % da produção de batata.

3.2 Gastos energéticos na produção de beterraba e batata

Para determinar os gastos em combustível/electricidade relacionados com o cultivo de beterraba e de batata foram utilizados os dados recolhidos pelo Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar (GPPAA, 2001). Apesar destes dados estarem já desactualizados, não deverão afastar-se muito do panorama agrícola nacional actual, dado que a maquinaria e os métodos de cultivo não evoluíram em Portugal da mesma forma que noutros países, produtores a nível mundial. Na Tabela 14 e na Tabela 15

¹² Valor obtido multiplicando o PCI do etanol, 26,7 MJ/kg (Patzek, 2006), pela massa volúmica do etanol, 0,768 kg/l

encontram-se listadas as operações de cultivo da beterraba e da batata, o equipamento utilizado e as horas gastas na actividade por hectare de terra cultivada.

Operação	Equipamento	Tempo gasto por operação e por unidade de área cultivada
		[h/ha]
Lavoura	Tr. 105 CV + Charrua Aivecas 3F-14"	2,4
Gradagem	Tr. 90 CV + Grade Discos 22D-22"	2,1
Escarificação	Tr. 90 CV + Escarificador 13D	0,9
Transporte de Adubo	Tr. 90 CV + Reboque 7,0 t	0,3
Adubação de Fundo	Tr. 90 CV+Distribuidor Centrifugo 600 l	0,5
Gradagem	Tr. 90 CV + Grade Discos 22D-22"	1,1
Transp. de Adubo e Semente	Tr. 90 CV + Reboque 7,0 t	4,0
Tratamentos Fitossanitários	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l	0,8
Sementeira e Adubação	Tr. 90 CV + Semeador fertilizador p/ cereais out.	0,8
Monda Química pré emergência	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l	0,8
Monda Química pós emergência	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l	2,0
Transporte de Adubo	Tr. 45 CV + Reboque 3,5 t (basculante)	1,4
Sacha e Adubação	Tr. 90 CV + Sachador Adubador 4 Linhas	3,0
Tratamento Oídio	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l	1,5
Rega	Centro pivot 10 - 20 ha esc ¹ /ha	26,7 (bombagem eléctrica)
Tratamento Afídeos	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l	1,4
Colheita	Custo da colheita e carregamento p/ camião \$ ¹ /ha	?
Transporte	Camião (distância de 40 Km)	?
GPPAA, 2001		
¹ Presume-se que as duas unidades assinaladas sejam a mesma, ou seja, esc/ha = \$/ha. Isto implica que esc seja o diminutivo da antiga moeda portuguesa, o Escudo, cujo símbolo é \$. Não se conseguiu encontrar explicação para esta notação, pois nas Contas de Cultura a unidade monetária assinalada é o Euro (ver Tabela C38 e Tabela C39).		

Tabela 14 – Operações de cultivo da beterraba sacarina

Operação	Equipamento	Tempo gasto por operação e por unidade de área cultivada
		[h/ha]
Estrumação	Tr. 70 CV + Reboque Dist. Estrume 6,0 t	0,4
Lavoura	Tr. 70 CV + Charrua de Aivecas 2F-14"	3,5
Gradagem	Tr. 70 CV + Grade Discos off-set 28D-24"	0,9
Adubação de Fundo	Tr. 70 CV + Distribuidor Centrifugo 600 l (montado)	0,6
Gradagem	Tr. 70 CV + Grade Discos off-set 28D-24"	0,9
Plantação	Tr. 70 CV + Plantador de Batata 2 Linhas	3,6
Transporte de Batata	Tr. 70 CV + Reboque 6,0 t	0,3
Monda Química	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l (montado)	0,8
Rega por Aspersão	Aspersão Electricidade (sistema móvel - clássico)	25,7 (bombagem eléctrica)
Sacha e Amontoa	Tr. 70 CV + Sachador Fertilizador 4 Linhas	2,1
Transporte de Adubo	Tr. 70 CV + Reboque 6,0 t	0,0
Tratamentos Fitossanitários	Tr. 70 CV + Pulverizador convencional 600 l (montado)	3,0
Colheita e ensaque	Tr. 70 CV + Colhedor Batata 1 Linha	5,5
Transporte de Batata	Tr. 70 CV + Reboque 6,0 t	0,7
GPPAA, 2001		

Tabela 15 - Operações de cultivo da batata

Como se pode ver nas tabelas anteriores, os gastos anuais no cultivo da beterraba e da batata envolvem diversas vertentes: combustíveis para o funcionamento da maquinaria de plantio, cultivo e colheita da beterraba, energia eléctrica para bombagem de água para rega, transporte da matéria-prima até à fábrica de etanol, conversão industrial de beterraba em etanol, entre outras actividades. A cada operação está associado determinado valor médio de consumo de combustível (maioritariamente; apenas a rega é alimentada electricamente) que deve ser atribuído à actividade correspondente e multiplicado pelo tempo gasto nessa actividade. Esta correspondência

entre operação, tempo gasto e consumo médio é feita nas tabelas abaixo, Tabela 16 e Tabela 17.

A segunda coluna, com a designação “Equivalência do termo no artigo da *Virginia Tech*”, corresponde a actividades listadas no estudo Grisso *et al.* (2010), editado no seio da *Virginia Tech – Virginia Polytechnic Institute and State University*, no qual foram estudados e registados dados empíricos sobre o consumo de uma amostra de tractores nas actividades de cultivo de diferentes culturas, com o objectivo de criar uma expressão que permita prever o consumo esperado de um tractor quando se utilizam diferentes configurações de motorização, tal como a sobrealimentação, por exemplo. Após comparação das actividades registadas no artigo com as operações de cultivo da beterraba, associaram-se valores médios de consumo por unidade de área cultivada ou por unidade de tempo a cada operação da Tabela 14 e da Tabela 15 e obteve-se o consumo total de combustível para a produção anual total de beterraba e batata. Para certas operações não foi encontrada a actividade correspondente no artigo da *Virginia Tech*, tendo sido atribuídas a estas o consumo médio de um tractor com potência aproximadamente igual ao utilizado em Portugal, valor também retirado desse mesmo artigo.

O “Consumo anual de combustível por operação”, da Tabela 16 e da Tabela 17, abaixo, foi obtido por dois caminhos:

- Consumo de combustível por unidade de área $\left[\frac{l}{ha}\right]$ (Tabela 16 ou Tabela 17) $\times$
Área ha (Tabela 10 ou Tabela 11);

ou

- Consumo de combustível por hora $\left[\frac{l}{h}\right]$ (Tabela 16 ou Tabela 17) $\times$
Tempo gasto por operação e por unidade de área cultivada $\left[\frac{h}{ha}\right]$ (Tabela 14 ou Tabela 15) $\times$
Área [ha] (Tabela 10 ou Tabela 11).

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

OPERAÇÃO	Equivalência do termo no artigo da <i>Virginia Tech</i>	Consumo de combustível por unidade de área e/ou hora e por operação			Consumo anual de combustível por operação				
		[gal/ac]	[l/ha]	[l/h]	2002	2006	2007	2008	2009
					[l]				
Lavoura	<i>Moldboard plow</i> ²	1,81	16,92	-	152.971	72.340	51.137	26.838	2.284
Gradagem	<i>Offset disk</i> ²	1,11	10,38	-	93.811	44.363	31.360	16.458	1.401
Escarificação	<i>Chisel disk</i> ²	1,36	12,71	-	114.940	54.355	38.423	20.165	1.716
Transporte de Adubo	Tr. 90 CV $\approx$ Tr. com 102,08 CV ¹	-	-	23,95	64.952	30.716	21.713	11.395	970
Adubação de Fundo	<i>Subsoiler</i> ²	1,54	14,40	-	130.152	61.549	43.509	22.834	1.944
Gradagem	<i>Offset disk</i> ²	1,11	10,38	-	93.811	44.363	31.360	16.458	1.401
Transp. de Adubo e Semente	Tr. 90 CV $\approx$ Tr. com 102,08 CV ¹	-	-	23,95	64.952	30.716	21.713	11.395	970
Tratamentos Fitossanitários	<i>Pesticide spraying</i> ²	0,33	3,09	-	27.890	13.189	9.323	4.893	416
Sementeira e Adubação	Semeador em linha = <i>Row crop planter</i> ²	0,51	4,77	-	43.102	20.383	14.409	7.562	644
Monda Química pré emergência	<i>Chemical incorporation</i> ²	0,80	7,48	-	67.612	31.973	22.602	11.862	1.010
Monda Química pós emergência	<i>Chemical incorporatio</i> ²	0,80	7,48	-	67.612	31.973	22.602	11.862	1.010
Transporte de Adubo	Tr. 45 CV $\approx$ Tr. com 52,03 CV ¹	-	-	16,18	43.880	20.751	14.669	7.698	655
Sacha e Adubação	Sachador rotativo = <i>Rotary hoe</i> ²	0,23	2,15	-	19.438	9.192	6.498	3.410	290
Tratamento Oídio	<i>Pesticide spraying</i> ²	0,33	3,09	-	27.890	13.189	9.323	4.893	416
Rega	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratamento Afídeos	<i>Pesticide spraying</i> ²	0,33	3,09	-	27.890	13.189	9.323	4.893	416
Colheita	Beet harvester ²	1,37	12,81	-	115.785	54.754	38.706	20.314	1.729
Transporte	-	?	?	?	515.087	256.031	203.237	109.601	5.290
Total					1.671.776	803.027	589.909	312.533	22.563

Grisso *et al.*, 2010 – ¹ Tabela "Power take off performance" / ² Tabela "Diesel fuel consumption for field operations"

Tabela 16 - Consumo de combustível anual por operação de cultivo da beterraba

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

OPERAÇÃO	Equivalência do termo no artigo da <i>Virginia Tech</i>	Consumo de combustível por unidade de área e/ou hora e por operação			Consumo anual de combustível por operação				
					1985	2006	2007	2008	2009
		[gal/ac]	[l/ha]	[l/h]	[l]				
Estrumação	Tr. com 77,46 CV ¹	-	-	19,91	1.121.208	356.754	363.880	335.185	327.334
Lavoura	Moldboard plow ²	1,81	16,92	-	2.199.046	699.708	713.685	657.404	642.005
Gradagem	Offset disk ²	1,11	10,38	-	1.348.587	429.103	437.674	403.159	393.716
Adubação de Fundo	Subsoiler ²	1,54	14,40	-	1.871.012	595.332	607.224	559.338	546.237
Gradagem	Offset disk ²	1,11	10,38	-	1.348.587	429.103	437.674	403.159	393.716
Plantação	Potato planter ²	0,95	8,88	-	1.154.196	367.250	374.586	345.046	336.964
Transporte de Batata	Tr. com 77,46 CV ¹	-	-	19,91	776.221	246.984	251.917	232.051	226.616
Monda Química	Chemical incorporation ²	0,80	7,48	-	971.954	309.263	315.441	290.565	283.759
Rega por Aspersão	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sacha e Amontoa	Sachador rotativo = Rotary hoe ²	0,23	2,15	-	279.437	88.913	90.689	83.538	81.581
Transporte de Adubo	Tr. com 77,46 CV ¹	?	?	?	?	?	?	?	?
Tratamentos Fitossanitários	Chemical incorporation ²	0,80	7,48	-	971.954	309.263	315.441	290.565	283.759
Colheita e ensaque	Potato harvester ²	2,69	25,15	-	3.268.196	1.039.898	1.060.671	977.026	954.141
Transporte de Batata	Tr. com 77,46 CV ¹	-	-	19,91	1.811.183	576.295	587.807	541.452	528.770
Total					17.121.581	5.447.866	5.556.691	5.118.490	4.998.598

Grisso *et al.*, 2010 – ¹ Tabela "Power take off performance" / ² Tabela "Diesel fuel consumption for field operations"

Tabela 17 - Consumo de combustível anual por operação de cultivo da batata

O cálculo do combustível gasto no transporte da beterraba teve de ser calculado recorrendo a algumas aproximações. A Tabela 18 mostra qual o raciocínio seguido e os valores obtidos para esta aproximação.

Ano	Consumo médio no transporte de camião ¹	Quantidade transportada (arbitrada)	Produção de beterraba a transportar	Nº de viagens para transportar a produção anual	Distância média rentável a percorrer	Combustível consumido anualmente
	[l/100 km]	[t]			[km]	[l]
2002			643859	42924		515087
2006			320039	21336		256031
2007	30	30	254046	16936	40	203237
2008			137001	9133		109601
2009			6612	441		5290

¹Grupo Auto Sueco, 2010

Tabela 18 - Consumo energético associado ao transporte da beterraba

Os valores da Tabela 18 foram obtidos da seguinte forma:

- Nº de viagens para transportar a produção anual =
$$\frac{\text{Produção de beterraba a transportar [t]}}{\text{Quantidade transportada (arbitrada)}} \times 2 \text{ viagens};$$
- Combustível consumido anualmente [l] =
$$\text{Consumo médio no transporte de camião} \left[\frac{1}{100 \text{ km}} \right] \times \frac{\text{Distância média rentável a percorrer [km]}}{100 \text{ km}} \times \text{Nº de viagens para transportar a produção anual}.$$

A “Distância média a percorrer” foi retirada das Contas de Cultura da beterraba (GPPAA, 2001), com a indicação deste transporte ser feito por camião. O valor indicado vai de encontro aos 30 a 42 km do estudo Börjesson e Gustavsson (1996) e corresponde à distância média rentável a percorrer pelos camiões de transporte de biomassa florestal para produção de energia. Os autores afirmam ainda que à biomassa resultante de produção agrícola correspondem distâncias 2 a 3 vezes menores em

relação á biomassa proveniente de resíduos florestais, pelo que o valor indicado nas Contas de Cultura é razoável mas ainda superior ao aconselhável. O transporte feito a distâncias superiores incorre no aumento do peso energético associado ao transporte da matéria-prima.

Multiplicando os gastos anuais de combustível pelo PCI do combustível, que se assume ser gasóleo, obtêm-se os gastos anuais com combustíveis para cada cultura, Tabela 19.

Consumo energético em combustíveis nas operações de cultivo		
Ano	Beterraba	Batata
		20 % da produção
	[MJ]	
2002 (beterraba) /1985 (batata)	60.267.521	123.446.599
2006	28.949.132	39.279.111
2007	21.266.206	40.063.743
2008	11.266.819	36.904.316
2009	813.402	36.039.890

Tabela 19 - Consumo energético associado ao gasto anual de combustíveis no cultivo de beterraba e batata

Para o cálculo da energia gasta com a rega das duas culturas foi necessário assumir alguns valores, pois estes ou não foram disponibilizados nas Contas de Cultura ou não foi encontrada informação relativa à maquinaria/material utilizado e tempo despendido na actividade. A Tabela 20 e a Tabela 21 resumem os cálculos efectuados para a operação de rega.

Tempo de rega por hectare ¹	Quantidade de água utilizada por hectare ¹	Quantidade média de água debitada por hora	Sistema de bombagem seleccionado ²			Energia teórica gasta com a rega	Energia gasta com a rega da beterraba ³
[h/ha]	[m ³ /ha]	[m ³ /h]	Altura manométrica	Caudal	Potência	[MJ/ha]	[MJ/ha]
			[bar]	[m ³ /h]	[kW]		
26,7	6000	225,0	81	200	60	5.760	6.624
			52,5	250			

¹GPPAA, 2001

²ITT Lowara, 2010a

³Multiplica-se a energia teórica por um factor de 1,15 para compensar efeitos de perda de carga e irreversibilidades do sistema de rega e do grupo motobomba

Tabela 20 - Consumo energético anual por unidade de área para a operação de rega da beterraba

Tempo de rega por hectare ¹	Quantidade de água utilizada por hectare ¹	Quantidade média de água debitada por hora	Sistema de bombagem seleccionado ²			Energia teórica gasta com a rega	Energia gasta com a rega da batata ³
[h/ha]	[m ³ /ha]	[m ³ /h]	Altura manométrica	Caudal	Potência	[MJ/ha]	[MJ/ha]
			[bar]	[m ³ /h]	[kW]		
25,7	1800	70,0	81	66	22	2.037	2.342
			52,5	78			

¹GPPAA, 2001

²ITT Lowara, 2010b

³Multiplica-se a energia teórica por um factor de 1,15 para compensar efeitos de perda de carga e irreversibilidades do sistema de rega e do grupo motobomba

Tabela 21 – Consumo energético anual por unidade de área para a operação de rega da batata

Os valores da Tabela 20 e da Tabela 21 foram obtidos da seguinte forma:

- Quantidade média de água debitada por hora $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right] =$
Quantidade de água utilizada por hectare $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}\right] \times$
Tempo de rega por hectare $\left[\frac{\text{h}}{\text{ha}}\right];$
- Energia teórica gasta com a rega por unidade de área $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right] =$
Potência [kW] $\times 10^{-3} \left[\frac{\text{MW}}{\text{kW}}\right] \times$ Tempo de rega por hectare $\left[\frac{\text{h}}{\text{ha}}\right] \times 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}}\right].$

O sistema de bombagem foi seleccionado tendo em conta o caudal a bombear e uma profundidade de captação de 50 m, valor que foi arbitrado pois não foi encontrada informação acerca da profundidade de captação da água de rega. No estudo de Patzek (2006), o autor assume que o milho destinado à produção de etanol nos Estados Unidos é irrigado com água bombeada de uma profundidade de 100 m, pelo que foi arbitrado que a profundidade de captação da água destinada à rega da beterraba e da batata é metade deste valor, ou seja, adoptou-se uma aproximação mais conservadora, à falta de dados referentes a Portugal. No caso de a profundidade de captação ser superior, a potência requerida será obviamente superior. E tal como foi feito para os gastos em combustível, multiplicam-se os consumos relativos à irrigação pela área da cultura respectiva, Tabela 22.

Ano	Consumo energético em irrigação	
	Beterraba	Batata
		20 % da produção
	[MJ]	
2002 (beterraba) /1985 (batata)	59.880.960	60.872.407
2006	28.317.600	19.368.813
2007	20.017.728	19.755.720
2008	10.505.664	18.197.784
2009	894.240	17.771.530

Tabela 22 - Consumo energético associado ao bombeamento de água para irrigação da beterraba e da batata

Outro grande consumidor energético comum a qualquer cultura agrícola é o fertilizante. Independentemente da quantidade necessária para suprir as necessidades nutritivas da cultura em questão, o nutriente mais dispendioso é o azoto (ou nitrogénio – N). Recorrendo mais uma vez ao estudo referido no parágrafo anterior, o azoto consome cerca de seis vezes mais energia no seu fabrico do que o fósforo (P) ou o potássio (K). Na Tabela 23 são apresentados os valores de energia específica para estes três nutrientes.

Energia específica de consumo dos três principais fertilizantes		
Fertilizante azotado	Fertilizante fosfórico	Fertilizante potássico
[MJ/kg N]	[MJ/kg P ₂ O ₅]	[MJ/kg K ₂ O]
41,00	6,80	6,80
Patzek, 2006		
Nota: É apresentada a fórmula química do ingrediente activo		

Tabela 23 - Energia específica de consumo no fabrico dos três principais fertilizantes

Os valores seleccionados são referentes ao estudo Patzek (2006) e, dentre as várias fontes citadas por Patzek, os valores deste autor são equilibrados, não sendo nem optimistas (N – 43 MJ/kg N; P₂O₅ – 4,76 MJ/kg P₂O₅; K₂O – 5,30 MJ/kg K₂O) nem pessimistas (N – 63,43 MJ/kg N; P₂O₅ – 17,44 MJ/kg P₂O₅; K₂O – 13,77 MJ/kg K₂O).

Multiplicando a quantidade de fertilizante aplicada por unidade de área cultivada com beterraba e batata pela energia específica de consumo do fertilizante respectivo da Tabela 23, determina-se a energia de consumo de cada fertilizante por unidade de área. O resultado obtido é apresentado na Tabela 24.

Fertilizante	Fertilizantes aplicados na beterraba ¹		Fertilizantes aplicados na batata ¹		Valores de adubação médios em Portugal
	[kg fertilizante/ha]	Energia de consumo do fertilizante	[kg fertilizante/ha]	Energia de consumo do fertilizante	[MJ/ha]
		[MJ/ha]		[MJ/ha]	
N	153	6.291	42	1.722	3.782
P ₂ O ₅	157	1.069	126	857	348
K ₂ O	100	680	186	1.265	261
¹ GPPAA, 2001					

Tabela 24 - Energia associada ao consumo dos três principais fertilizantes

Multiplicando estes valores pela área cultivada resulta no total de energia consumida anualmente em fertilizantes em cada cultura, Tabela 25.

Ano	Energia gasta com fertilização da beterraba c/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba				Energia gasta com fertilização da batata c/ valores de adubação das Contas de Cultura da batata			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
	[MJ/ano]							
2002 (beterraba) /1985 (batata)	56.874.708	9.660.940	6.144.741	72.680.389	44.756.502	22.269.089	32.873.417	99.899.008
2006	26.895.949	4.568.641	2.905.837	34.370.427	14.240.940	7.085.736	10.459.896	31.786.572
2007	19.012.762	3.229.575	2.054.138	24.296.475	14.525.414	7.227.279	10.668.841	32.421.535
2008	9.978.240	1.694.939	1.078.049	12.751.227	13.379.940	6.657.336	9.827.496	29.864.772
2009	849.346	144.273	91.763	1.085.382	13.066.536	6.501.398	9.597.302	29.165.237

Tabela 25 - Consumo energético anual associado à utilização de fertilizantes

Por fim, a Tabela 26 e a Tabela 27 resumem os valores associados ao processo de conversão das matérias-primas em etanol, obviamente diferentes para etanol produzido a partir de beterraba e de batata.

Energia gasta com o processamento da beterraba na conversão em etanol ¹			
	[kWh/kg etanol]	[MJ/kg etanol]	[MJ/l etanol]
S/ recuperação de calor	14,875	53,550	41,126
C/ recuperação de calor	3,148	11,333	8,704

¹Santek *et al.*, 2010

Tabela 26 - Consumo energético na conversão de beterraba em etanol

Energia gasta com o processamento da batata na conversão em etanol ¹		
[MJ/ha]	[l/ha]	[MJ/l etanol]
48.571,4	9.280	5,234

¹Contreras *et al.*, 2010

Tabela 27 - Consumo energético na conversão de batata em etanol

Para a beterraba foram encontrados vários valores de consumo para o processo de conversão em etanol. Os dois valores seleccionados e apresentados na Tabela 26 dizem respeito ao processo tradicional, assinalado como “S/ recuperação de calor”, e a um processo optimizado, com aproveitamento do calor que no processo tradicional é considerado perdido, assinalado como “C/ recuperação de calor”. Consideraram-se os dois casos nos cálculos para verificar qual a sua influência no retorno energético e se de facto o processamento tecnológico é o maior consumidor de energia na cadeia de operações de produção de etanol. No caso da batata foi considerado o valor apresentado na Tabela 27, retirado de um estudo realizado no Chile (Contreras *et al.*, 2010) no qual foram estudados os processos de conversão em etanol de diversas culturas cultivadas no país, visando a procura de uma variedade de batata com elevado conteúdo de amido que fosse especialmente indicada para este efeito e cujo consumo energético por litro de etanol se revelou muito inferior ao da beterraba. Multiplicando os valores da Tabela 26 e da Tabela 27 pela produção de etanol da cultura respectiva dá origem aos gastos energéticos com o processo de conversão de matéria-prima em etanol, Tabela 28.

Ano	Energia gasta na conversão da beterraba em etanol		Energia gasta na conversão da batata em etanol
	S/ recuperação de calor	C/ recuperação de calor	20 % da produção
	[MJ]		
2002 (beterraba) /1985 (batata)	2.485.587.354	526.025.478	1.262.419.257
2006	1.235.495.491	261.468.222	401.685.478
2007	980.732.621	207.552.692	409.709.473
2008	528.885.910	111.928.258	377.399.778
2009	25.525.315	5.401.929	368.559.783

Tabela 28 - Consumo energético associado ao processo de conversão da matéria-prima em etanol

Com todas as entradas energéticas descritas e a produção de etanol apresentada, é oportuno condensar estas informações numa tabela final e calcular o retorno energético obtido, Tabela 29 e Tabela 30, abaixo.

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

Ano	Energia contida no etanol produzido a partir de beterraba	Energia consumida no produção de etanol a partir de beterraba c/ valores de adubação médios		REDI do etanol de beterraba c/ valores de adubação médios		Energia consumida na produção de etanol a partir de beterraba c/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba		REDI do etanol de beterraba c/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba	
		S/ recup. de calor	C/ recup. de calor	S/ recup. de calor	C/ recup. de calor	S/ recup. de calor	C/ recup. de calor	S/ recup. de calor	C/ recup. de calor
		[MJ]				[MJ]			
2002	1.239.312.462	2.645.427.708	685.865.832	0,4685	1,8069	2.678.416.223	718.854.348	0,4627	1,7240
2006	616.017.359	1.311.532.439	337.505.171	0,4697	1,8252	1.550.104.357	353.105.381	0,3974	1,7446
2007	488.992.736	1.035.285.232	262.105.303	0,4723	1,8656	1.225.850.465	273.133.101	0,3989	1,7903
2008	263.702.218	557.622.034	140.664.382	0,4729	1,8747	660.529.036	146.451.969	0,3992	1,8006
2009	12.726.908	27.825.700	7.702.314	0,4574	1,6523	32.605.369	8.194.953	0,3903	1,5530

Tabela 29 - Balanço energético à produção de etanol a partir de beterraba

Ano	Energia contida no etanol produzido a partir de batata	Energia consumida na produção do etanol a partir de batata c/ valores de adubação médios	REDI do etanol de batata c/ valores de adubação médios	Energia consumida na produção de etanol a partir de batata c/ valores de adubação das Contas de Cultura da batata	REDI do etanol de batata c/ valores de adubação das Contas de Cultura da batata
	20 % da produção				
	[MJ]			[MJ]	
1985	690.576.126	1.560.856.790	0,4424	1.537.309.199	0,4492
2006	248.040.885	496.644.441	0,4994	489.151.902	0,5071
2007	266.458.716	506.565.319	0,5260	498.923.110	0,5341
2008	229.931.087	466.617.570	0,4928	459.578.026	0,5003
2009	231.424.172	455.687.789	0,5079	448.813.135	0,5156

Tabela 30 - Balanço energético à produção de etanol a partir de batata

Em ambos os balanços, para a batata e para a beterraba, são considerados os valores de adubação média em Portugal, que resultam da média de fertilizantes azotado (98,070 t), potássico (40.773 t) e fosfórico (54.454 t) utilizados no período de 2006 a 2008 (INE, 2009) a dividir pela área média de cultivo em Portugal no período de 2007 a 2009 (1.063.255 ha) (INE, 2009). As folhas de cálculo relativas às Contas de Cultura (GPPAA, 2001) apresentavam diversas metodologias de cultivo da beterraba (2 folhas de cálculo) e da batata (15 folhas de cálculo), metodologias que variam conforme a região do país, o tipo de beterraba e batata e as opções de cultivo dos agricultores. Dentre as várias opções foram escolhidas uma folha de cálculo para a batata e uma para a beterraba, tendo por base o conceito de maior abrangência possível do panorama agrícola nacional e mecanizado, ou seja, as metodologias que representassem melhor o cultivo destas culturas de forma mecanizada e em larga escala em Portugal. Foi dada preferência às metodologias com maior consumo energético devido à mecanização e adubação das culturas. No caso das contas de cultura da batata foi seleccionada a metodologia com maior número de actividades realizadas com tractor, Tabela 15, e ainda assim obtendo lucro na venda da produção.

Apesar de terem sido omissas algumas entradas energéticas no processo, particularmente o transporte de etanol para os postos de abastecimento, os resultados obtidos para o retorno energético são inferiores à unidade, ou seja, é consumida mais energia ao produzir etanol do que aquela que é obtida no poder calorífico do etanol resultante. O único caso em que se obtém retorno “positivo” é aquando da utilização de tecnologia de ponta, que permite a regeneração de calor normalmente desperdiçado, e nesta situação é aproveitado para pré-aquecimento do caldo na destilação do etanol ou na produção de vapor. Contudo, este tipo de evolução nas fábricas de etanol requer investimentos avultados que nem todos os agentes decisores responsáveis estão dispostos a desembolsar.

Capítulo 4

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos e são apresentadas conclusões e ilações a retirar do trabalho efectuado, assim como algumas sugestões que poderão tornar o processo de produção de bioetanol mais eficiente e rentável de um ponto de vista energético.

4 Discussão e conclusões

Como foi afirmado ao longo deste texto repetidas vezes, o petróleo tenderá a tornar-se um bem escasso. A forma como será encarado o assunto quando isso acontecer irá ditar o estilo de vida da sociedade actual, agora tão dependente de formas de energia baratas e facilmente acessíveis, e que passará obrigatoriamente a depender de outras formas de energias, tal como outrora, e que têm a particularidade de existirem bem mais dispersas e desaproveitadas, mas cujos custos serão certamente mais elevados. A primeira conclusão que se pode retirar da pesquisa bibliográfica feita é a urgência na descoberta de uma alternativa viável para os combustíveis líquidos que têm alimentado a crescente mobilidade do ser humano. Dentre os muitas variedades de combustíveis que têm alimentado a vontade de crescimento do homem, sem dúvida alguma se pode afirmar que os líquidos assumem uma posição de destaque. Sem a gasolina, o gasóleo ou o querosene, ainda hoje poderiam reinar as locomotivas e barcos a vapor, sem a liberdade que um automóvel ou uma aeronave compactos possibilitam à humanidade. Se um cidadão que possua um meio automotriz necessita de ir às compras, basta deslocar-se ao posto de abastecimento encher o depósito de gasolina ou gasóleo e em 5 minutos o automóvel está pronto a rolar mais de 300 km, o que não é possível com um combustível sólido ou energia eléctrica armazenada em baterias. Os combustíveis líquidos possuem um valor invejável para a energia específica volumica, face a combustíveis sólidos ou gasosos. As alternativas líquidas aos combustíveis derivados de petróleo sofrem, regra geral, dos mesmos dois problemas, isto é, ou não são rentáveis ou são subsidiadas pelos combustíveis que pretendem substituir.

Apesar de o petróleo provir primeiramente de zonas concentradas numa pequena porção do globo terrestre, que frequentemente são politicamente instáveis (países exportadores do Médio Oriente, por exemplo), continua a ser o principal motor da sociedade mundial actual. Sem os combustíveis derivados do petróleo não seria possível locomover milhões e milhões de veículos pelo mundo inteiro, aviões que cruzam os céus diariamente, super navios porta-contentores com os motores de combustão interna mais eficientes do mundo e alimentar centrais termoeléctricas que asseguram o constante funcionamento da rede eléctrica que move a sociedade actual. Existem teorias que predizem que o petróleo está longe de acabar e que ainda nem metade das reservas

actuais foi consumida, mas qual o custo que a humanidade está disposta a pagar pela extracção desse petróleo como combustível dos veículos automotrizes? A partir do momento em que a sua extracção e processamento industrial consumirem mais energia do que aquela que dele é retirada, o ciclo acaba e é necessário racionalizar o seu consumo de forma severa. A pesquisa de novas fontes energéticas renováveis que permitam a liberdade oferecida pelos destilados de petróleo é morosa e lenta, mas é necessária, pois um dia as acessibilidades energéticas que o petróleo disponibilizou à humanidade durante décadas acabarão, seja daqui a 50, 100 ou 200 anos.

O etanol, desde os primórdios do automóvel pela mão de Henry Ford, faz-se transparecer como um substituto possível para a gasolina, dado que os motores de combustão interna a gasolina não necessitam de sofrer muitas alterações para poderem funcionar exclusivamente com este álcool. No entanto, como se verificou nos cálculos efectuados para a produção de etanol a partir de beterraba e batata, que vão de encontro a muitos estudos efectuados no mesmo sentido (Krochta, 1980; Patzek, 2005; Pimentel e Patzek 2005; Patzek, 2006; Koga, 2008; Contreras *et al.*, 2010), a produção de etanol a partir de culturas energéticas ricas em amido ou açúcar resulta num retorno energético próximo da unidade. A rentabilidade energética obtida a partir desta fonte é parca, ou negativa até, face ao investimento na sua exploração. De acordo com o estudo Hall (2009), o retorno energético mínimo para criar uma sociedade sustentável ronda 3:1, isto é, a energia obtida deve ser o triplo, ou mais, da energia investida para a obter. De acordo com Hall, este princípio de funcionamento, que afirma que a energia retirada de um processo deve ser substancialmente superior à investida para a obter, é aplicável a qualquer sistema, seja um ser vivo ou uma cadeia de produção criada pelo homem.

Quase todos os estudos relacionados com a produção de etanol a partir de milho, beterraba, batata, trigo, entre outros, reportam valores de retorno energético muito próximos da unidade e quase sempre abaixo de 3:1, nomeadamente os artigos mencionados no estudo Hammerschlag (2006). Este estudo resume diversos estudos, elaborados por diferentes equipas, acerca da produção de etanol a partir de milho e materiais celulósicos e, infelizmente, nenhum se revelou promissor para o milho ao apresentar valores de REDI a variar entre 0,84:1 e 1,65:1; no entanto, para os materiais celulósicos as perspectivas são melhores, com valores de REDI entre 0,69:1 (*Panicum virgatum*, em inglês: *switchgrass*) e 6,61:1 (várias fontes de biomassa). Para o trigo

também não se prevê grande futuro como cultura energética, dado ser uma cultura iminentemente alimentar e com estudos a apontarem retorno de aproximadamente 0,5:1 a (Contreras *et al.*, 2010) a 1,1:1 (Krochta, 1980; Contreras *et al.*, 2010). Porém, este continua a ser uma opção viável para a produção de bebidas espirituosas, só que nesse caso o conceito de REDI não faz sentido pois o etanol assim produzido não terá fins energéticos.

A beterraba sacarina é uma faca de dois gumes, com o REDI a variar entre 0,9:1 (Krochta, 1980) e 1,22:1 (Koga, 2008). O autor Koga (2008) chega à conclusão que dentre as várias culturas energéticas testadas no norte do Japão para produção de biomassa, sendo elas trigo de inverno (*Triticum aestivum* L.), batata, feijão-azuki (*Vigna angularis*) e a beterraba sacarina, a beterraba se revela como a mais produtiva e rentável antes de ser processada e convertida em etanol e que este último passo leva a um baixíssimo retorno (1,22:1) face aos valores atingidos considerando apenas o cultivo e a colheita da mesma (10,50:1). A beterraba apresenta elevada produtividade e bom retorno energético, mas o etanol em si baseado não. A batata trilha aproximadamente o mesmo caminho, pois possui elevada produtividade, com o sempre presente desperdício de parte da colheita, e possui também razoável retorno de cultivo e colheita a rondar 6,70:1, de acordo com o mesmo estudo de Koga (2008). No entanto, quando passa a ser convertida em etanol, a desgraça recai também sobre esta cultura que apresenta valores de REDI entre 0,7:1 (Krochta, 1980) e 1,8:1 (Contreras *et al.*, 2010).

A segunda conclusão que se pode retirar neste trabalho é a de que é necessário investir na procura de soluções mais económicas a nível energético para produzir bioetanol. O busílis da questão coloca-se desde a chegada da beterraba à fábrica de etanol até à saída do bioetanol para os postos de abastecimento, ou seja, todo o processamento da beterraba ou batata, ou outra matéria-prima qualquer, que leva à obtenção do etanol. Como foi afirmado, a destilação de etanol é energeticamente voraz, pelo que é necessário apostar em tecnologias alternativas, como membranas filtrantes moleculares ou filtros adsorventes utilizados na desidratação do etanol a 95 % (Taherzadeh e Karimi, 2008). Outra solução a implementar é a regeneração, que aproveita calor resultante do processo produtivo que normalmente é desperdiçado, e que diminui substancialmente o consumo energético. No estudo Šantek *et al.* (2010) os autores apresentam dados comparativos entre várias metodologias de processamento da

beterraba e a que apresenta menor consumo energético é aquela em que a regeneração é aplicada. Este valor foi considerado nos cálculos e, como já foi constatado, permitiu a obtenção de retorno energético positivo, Tabela 29. No caso da batata é encontrado o mesmo entrave ao retorno obtido, apesar de o consumo energético por litro de etanol produzido ser bastante inferior ao da beterraba. Uma outra solução possível é apontada no estudo Tilman *et al.* (2006), ao estudarem e comprovarem que a produtividade de cultivo em regime de multicultura é muito superior à do regime de monocultura. Neste estudo é apresentado o resultado de uma década de investigação do cultivo conjunto de várias espécies vegetais de baixo investimento, combinadas em grupos de 1, 2, 4, 8 e 16 espécies diferentes. Os resultados foram evidentes e quanto maior a variedade de espécies combinadas, maior a bioenergia produzida face ao regime de monocultura, que se verificou ser 238 % inferior ao do regime de multicultura, mesmo após uma década de ciclos de cultivo. A aplicação deste conceito às culturas energéticas tradicionais pode ser a tábua de salvação a curto prazo, mas seria necessário investir na pesquisa de novos métodos de cultivo e colheita mecanizados para implementar o cultivo conjunto de beterraba e batata ou milho e trigo, por exemplo.

A terceira conclusão consiste na colisão entre os conceitos de cultura alimentar e cultura energética. Um dos grandes entraves à implementação das culturas energéticas prende-se com a sustentabilidade das culturas alimentares quando começam a ser convertidas em culturas energéticas. O que fazer quando o que poderia ser utilizado para alimentar bocas famintas passa a ser utilizado como combustível? O efeito da produção de milho, batata, trigo ou quaisquer outras culturas alimentares para produção de biocombustíveis é o de aumento do seu preço no mercado internacional, independentemente do fim a que estão destinadas. O uso de culturas alimentares como culturas energéticas pode levar à criação de uma dependência do preço dos alimentos em relação ao preço dos combustíveis, como acontece no Brasil cujo preço do açúcar flutua ao sabor do preço do bioetanol (Reijnders e Huijbregts, 2009). A cotação em mercado das culturas alimentares pode subir de tal forma que se reflecta no preço dos alimentos e retire alimento da boca dos mais necessitados. A acompanhar o cultivo de culturas energéticas vem a competição destas com as alimentares pelos terrenos de melhor qualidade. Se os terrenos que anteriormente foram dedicados ao plantio da beterraba fossem dedicados ao da batata seriam suprimidos os 30 % de importação nacional deste tubérculo? E se o mesmo se aplica ao trigo, até que ponto diminuiria a

dependência nacional do exterior? Estas considerações devem passar pela mente dos agentes responsáveis pelo fomento de medidas de incentivo à produção de biocombustíveis, para que possam decidir com peso, medida e na posse de todos os factos. Nos Estados Unidos e no Brasil a produção de bioetanol iniciou-se pela mão dos governos respectivos, com a criação de planos de subsidiação à produção de etanol – o *Energy Tax Act* (1978) e o PROÁCOOL (1973), respectivamente – e ainda hoje o etanol é subsidiado nos Estados Unidos, caso contrário não seria rentável a sua produção e comercialização.

A quarta conclusão a retirar do trabalho efectuado é a de que o etanol produzido de forma tradicional, como foi descrito neste texto, não é energética e economicamente rentável e em Portugal não seria possível a sua produção excepto no caso de serem desenvolvidos incentivos estatais à produção agrícola e à indústria do bioetanol. Para a produção de bioetanol a partir de resíduos de batata ou melão de beterraba, co-produtos da indústria alimentar, seria necessário o projecto integrado das infra-estruturas de processamento alimentar e de produção de etanol, significando pesados investimentos monetários que os investidores privados não estão dispostos a desembolsar sem a garantia de lucros. No entanto, se esse investimento fosse apoiado por fundos de apoio ao desenvolvimento e fosse garantida aos agricultores a compra da sua produção, quer fosse para alimentação ou produção energética separadamente, quer fosse para alimentação e produção energética simultânea, poder-se-ia chegar a um consenso. No entanto, a produção nacional de bioetanol teria apenas o intuito de servir como aditivo da gasolina, eliminando uma ínfima parte das importações de petróleo destinadas à alimentação do sector transportador. A produção de bioetanol em larga escala como é feita no Brasil seria impossível de implementar em Portugal, pois as baixas entradas energéticas no cultivo de cana-de-açúcar, a muita mão-de-obra “quase escrava” e a utilização de energia hidroeléctrica em larga escala como fonte de energia renovável, justificam a rentabilidade e o retorno obtido naquele país.

Na Tabela 31 e na Tabela 32 são resumidos os valores de REDI para a beterraba e para a batata, respectivamente, imediatamente após a colheita e antes de serem convertidas em etanol.

Ano	Valor energético da beterraba sacarina ¹	Percentagem de massa seca ¹	Energia contida na massa seca da beterraba	REDI da beterraba antes da conversão em etanol	
	[MJ/kg massa seca]	[kg massa seca/kg produção]	[MJ]	C/ valores de adubação médios em Portugal	C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba
2002			2.800.786.650	17,52	14,52
2006			1.392.169.650	18,31	15,19
2007	17,4	0,25	1.105.100.100	20,26	16,85
2008			595.954.350	20,74	17,26
2009			28.762.200	12,50	10,30
¹ Koga, 2008					

Tabela 31 – REDI da beterraba na chegada à fábrica de etanol

Ano	Valor energético da batata ¹	Percentagem de massa seca ¹	Energia contida na massa seca da batata	REDI da batata à saída do campo	
	[MJ/kg massa seca]	[kg massa seca/kg produção]	20 % da produção [MJ]	C/ valores de adubação médios em Portugal	C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba
1985			1.365.633.688	4,58	4,80
2006			490.507.818	5,17	5,42
2007	17600	0,228	526.929.596	5,44	5,71
2008			454.695.183	5,10	5,35
2009			457.647.802	5,25	5,52
¹ Koga, 2008					

Tabela 32 – REDI da batata na chegada à fábrica de etanol

Comparando os valores de REDI da Tabela 31 e da Tabela 32 com os da Tabela 29 e da Tabela 30, constata-se que o ponto fulcral na produção de bioetanol é o próprio processo industrial de conversão da matéria-prima em etanol. Os valores de REDI da beterraba, antes da conversão em etanol, são entre cinco a vinte vezes superiores aos do

REDI do etanol, considerando valores de REDI do etanol superiores à unidade, como se pode ver nas duas tabelas abaixo, Tabela 33 e Tabela 34.

Ano	REDI da beterraba antes da conversão em etanol		REDI do etanol de beterraba			
	C/ valores de adubação médios em Portugal	C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba	C/ valores de adubação médios em Portugal		C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba	
			S/ recup. de calor	C/ recup. de calor	S/ recup. de calor	C/ recup. de calor
2002	17,52	14,52	0,4685	1,8069	0,4697	1,8252
2006	18,31	15,19	0,4723	1,8656	0,4729	1,8747
2007	20,26	16,85	0,4574	1,6523	0,4627	1,7240
2008	20,74	17,26	0,3974	1,7446	0,3989	1,7903
2009	12,50	10,30	0,3992	1,8006	0,3903	1,5530

Tabela 33 - Comparação dos valores de REDI da beterraba e do etanol produzido a partir de beterraba

Ano	REDI da batata antes da conversão em etanol		REDI do etanol de batata	
	C/ valores de adubação médios em Portugal	C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba	C/ valores de adubação médios em Portugal	C/ valores de adubação das Contas de Cultura da beterraba
1985	4,58	4,80	0,4424	0,4994
2006	5,17	5,42	0,5260	0,4928
2007	5,44	5,71	0,5079	0,4492
2008	5,10	5,35	0,5071	0,5341
2009	5,25	5,52	0,5003	0,5156

Tabela 34 - Comparação dos valores de REDI da batata e do etanol produzido a partir de batata

Depreende-se, portanto, que a tecnologia de conversão deve ser grandemente desenvolvida de forma a tornar a produção de etanol energeticamente rentável. A tecnologia de conversão em etanol foi desenvolvida tendo por base energia fácil e com valores de REDI elevados, nomeadamente petróleo. Uma solução possível para

colmatar a ineficiência energética do processo de conversão do etanol é a utilização de energia proveniente de fontes energéticas renováveis, tais como a eólica, solar ou hídrica. Porém, a maioria das fontes renováveis tem um senão: apresentam, regra geral, um baixo REDI. Ainda assim, seria a única opção que permitiria tornar a produção de bioetanol energeticamente, não necessariamente economicamente, rentável. É obrigatória, ou quase, a pesquisa de fontes de energia primária que requeiram baixo investimento e retorno razoável que sustentem o processo industrial de produção de bioetanol e o desenvolvimento de técnicas de conversão química do etanol com maior eficiência energética.

A quinta e última conclusão é a de que existirá necessidade de caminhar no sentido de tirar proveito de técnicas de melhoramento genético de plantas no seio das culturas energéticas. Segundo Gressel (2008), os biocombustíveis só serão viáveis quando forem eliminados contaminantes e toxinas produzidos por determinadas culturas energéticas e melhoradas propriedades específicas das plantas, tais como a produtividade e a qualidade dos co-produtos do processo industrial de conversão em etanol. No entanto, Gressel alerta para o facto de que o cultivo desmesurado de plantas melhoradas deve ser feito com precaução, pois estas espécies mutantes não passaram pelo mesmo processo evolutivo de selecção natural a que estiveram sujeitas as espécies que lhes deram origem, pelo que se pode considerar as plantas geneticamente melhoradas como variedades selvagens. Ora, estas poderão ser mais vulneráveis a doenças e pragas que as suas parentes domesticadas já debelaram através do processo selectivo natural ou artificial (pela mão do homem), frustrando qualquer intenção de produzi-las massivamente. Antes de pôr em prática qualquer tipo de solução, esta questão passará por um grande escrutínio por parte das entidades ambientalistas e poderá não ser bem aceite pelo público, devido ao receio generalizado em relação às consequências incertas resultantes da manipulação genética. O que acontecerá se estas espécies se cruzarem com espécies nativas? Questões como esta saltarão na mente dos leigos e deverão ser consideradas por aqueles com responsabilidade na implementação desta via.

Assim, soluções inovadoras e que não modifiquem drasticamente a estrutura genética das plantas podem revelar-se prometedoras, tais como a desenvolvida pela Agrivida, actualmente em fase de estudo, que integrou enzimas latentes dentro das

estruturas celulares de plantas, com a capacidade de hidrolisar celulose, e que são activadas por aplicação de calor; após a activação das enzimas, a matéria celulósica degrada-se automaticamente em açúcares simples e a biomassa está pronta a fermentar (Biomass Energy Journal, 2010). Contudo, a via da manipulação genética deve ser encarada com os devidos respeito e cautela, pois o descontrolo da mesma poderá levar a graves consequências ambientais.

O objectivo deste trabalho era o de avaliar as potencialidades de produzir bioetanol em Portugal. De facto existe uma estreita janela de oportunidade para a aplicação deste conceito em Portugal, mas a tecnologia de conversão da matéria-prima em etanol deverá ser grandemente desenvolvida antes de serem implementadas quaisquer soluções produtivas.

Com a tecnologia actual não compensa, energética e economicamente, produzir bioetanol em Portugal.

5 Referências bibliográficas

ADP Fertilizantes, 2010, *Batata* [online], disponível em: <http://www.adp-fertilizantes.pt/templates/template4det.aspx?M=124&F=42&L=43&C=61>, consultado a 9/6/2011.

AgroPortal, 2007, *Milho: Produção caiu 40 % no ano passado, por causa do preço baixo e da seca* [online], disponível em: <http://www.agroportal.pt/x/agronoticias/2007/02/13d.htm>, acedida a 4/6/2011.

AgroPortal, 2008, *Beterraba açucareira deixa de ser produzida em Portugal* [online], disponível em: <http://www.agroportal.pt/x/agronoticias/2008/08/13d.htm>, acedida a 16/6/2011.

Arshadi, M. e Sellstedt, A., Production of Energy from Biomass, em: Clark, J. H. e Deswarte, F. E. I., 2008, *Introdution to Chemichals from Biomass*, Cornualha: John Wiley and Sons.

Biomass Energy Journal, 2010, *The era of transgenic plants and GMO energy* [online], disponível em: <http://biomassenergyjournal.com/the-era-of-transgenic-plants-and-gmo-energy/>, acedido em 29/6/2011.

Boddey, R. M.; Soares L. H. de B. Alves, B. J. R. e Urquiaga S., Bio-Ethanol Production in Brazil, em: D. Pimentel, ed. 2008, *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems – Benefits and Risks*, Springer, Cap. 13.

Börjesson, P. e Gustavsson, L., 1996, *Biomass Transportation*, WREC, 1033-1036, Suécia.

BP, 2010, BP Statistical Review of World Energy [online], disponível em: <http://bp.com/statisticalreview>, acedido a 10/3/2011.

BP, 2011, *BP Energy Outlook 2030* [online] Londres, disponível em: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/2030_energy_outlook_booklet.pdf, acedido a 10/3/2011.

Buy Burpee Seeds Online, 2011, *Potato* [fotografia], disponível em: <http://buy-burpee-seeds-online.blogspot.com/2011/05/how-to-grow-potatoes.html>, acedido a 14/6/2011.

Carapau, A., 2002, *A rega na cultura de Beterraba de Primavera*, Produzir Beterraba.

ColoradoGuy.com, 2008, *Sugar beet harvesting* [fotografia], disponível em: <http://www.coloradoguy.com/sugar-beet-harvesting/sugar-beet-harvesting4.jpg>, acedido a 20/6/2011.

Contreras, A.; Díaz, G.; Gallardo L. e Loaiza, L., *Energy ratio analysis of genetically-optimized potato for ethanol production in the Chilean market*, Spanish Journal of Agricultural Research, 8:3, pp 559-569.

Demirbas, A., 2007, *Fuel Alternatives to Gasoline*, Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy, 2:3, pp 311-320.

Demirbas, A., 2007, *Producing and Using Bioethanol as an Automotive Fuel*, Energy Sources, Part B, 2, pp 391-401.

DGEG, 2011, *Caracterização Energética Nacional* [online], disponível em: www.dgge.pt, acedido a 4/3/2011.

El Bassam, N., 2010, *Handbook of Bioenergy Crops – A Complete Reference to Species, Development and Applications*, Reino Unido: Earthscan.

ePure, 2010, *Renewable ethanol uses* [online], disponível em: http://www.epure.org/theindustry/theproduct_renewable, acedido a 3/6/2011.

FAO, 2008, *The State of Food and Agriculture – Biofuels: prospects, risks and opportunities*, Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO, 2009, *Sustainable potato production – Guidelines for Developing Countries*, Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO, 2010, *Food and Agricultural commodities production* [online], disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>, acedido a 19/6/2011.

Farndon Fields Farm Shop, 2011, *Potato Harvester With Flat Bed Trailer* [fotografia], disponível em:

<http://www.farndonfieldsfarmshop.co.uk/images/ww/slideshow/production%20p%20%283%29.jpg>, acedido a 14/6/2011.

Ferguson, A. R. B., *Peak Oil, EROI, Wind Power: Benefits and Limitations*, em: D. Pimentel, ed. 2008, *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems – Benefits and Risks*, Springer, Cap. 6.

Freudenberger, R., 2009, *Alcohol Fuel – A Guide to Small-Scale Ethanol*, Canadá: New Society Publishers.

Gnansounou, E., *Fuel Ethanol – Current Status and Outlook*, em: Pandey, A., 2009, *Handbook of Plant-Based Biofuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 5.

GPPAA, 2001, *Contas de Cultura das Actividades Vegetais: Modelo de base Microeconómica – 1997* [online], disponível em: <http://www.gppaa.min-agricultura.pt/publicacoes.html>, acedido a 12/05/2011.

GPPAA, 2007, *Anuário Vegetal 2006* [online], disponível em: <http://www.gppaa.min-agricultura.pt/publicacoes.html>, acedido a 26/3/2011.

GPPAA, *Programa Nacional de Reestruturação para o Sector do Açúcar*, disponível em: http://www.gppaa.min-agricultura.pt/MA/Acucar/PNR_Acucar.pdf, acedido a 20/05/2011.

Gressel, J., 2008, *Transgenics are imperative for biofuel crops*, Elsevier, Plant Science, 174, pp 246-263.

Grisso, R., 2010, *Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption*, Virginia Cooperative Extension.

Grupo Auto Sueco, 2010, *Teste revela que pequenos gestos podem reduzir o consumo de combustível em quase 15 por cento* [online], disponível em: <http://www.auto-sueco.pt/noticias/detalhes.php?id=179>, acedido a 17/6/2011.

Gupta, R. B. e Demirbas, A., 2010, *Gasoline, Diesel and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants*, Nova Iorque: Cambridge University Press.

Hall, C. A. S.; Balogh, S. e Murphy, D. J. R., 2009, *What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?*, *Energies*, 2, pp 25-47.

Hall, C. A. S.; Powers R. e Schoenberg W., *Peak Oil, EROI, Investments and the Economy in an Uncertain Future*, em: D. Pimentel, ed. 2008, *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems – Benefits and Risks*, Springer, Cap. 5.

Hammerschlag, R., 2006, *Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the Literature 1990-Present*, American Chemical Society, *Environmental Science & Technology*, 40, pp 1744-1750.

Hernández-Salas, J. M. *et al.*, 2009, *Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and agave bagasse*, Elsevier, *Bioresource Technology*, 100, pp 1238-1245.

IEA, 2004, *Biofuels for Transport – An International Perspective*, França: OECD/IEA.

IEA, 2009, *World Energy Outlook 2009*, França: OECD/IEA.

IEA, 2010a, *Breakdown of sectoral final consumption by source* [online], disponível em: http://www.iea.org/stats/pdf_graphs/PTBSFC.pdf, acessado a 21/07/2011.

IEA, 2010b, *World Energy Outlook 2010*, França: OECD/IEA.

INE, 2007, *Portugal Agrícola 1980-2006*, Lisboa: INE.

INE, 2010, *Estatísticas Agrícolas 2009*, Lisboa: INE.

InfoJardim, 2005, *Tupinambos plat* [fotografia], disponível em: <http://foroantiguo.infojardin.com/showthread.php?t=166872>, acessado a 17/6/2011.

ingredients101.com, *Beet Pulp Pellets* [online], disponível em: www.ingredients101.com/bppellets.htm, acessado a 18/6/2011.

ITT Lowara, 2010a, *Z10, Z11 Series – 10"-12" Submersible Electric Pumps 50Hz*, disponível em: <http://www.lowara.pt/lowdata/doc/EN/z10-z12-tc-en.pdf>, acessado a 13/5/2011.

ITT Lowara, 2010b, *Z612, Z616, Z622, Z631, Z646, Z660 Series – 6" Submersible Electric Pumps 50Hz*, disponível em: <http://www.lowara.pt/lowdata/doc/EN/z6-50-td-en.pdf>, acessado a 13/05/2011.

IVBAM, *Cana-de-açúcar* [online], disponível em: www.ivbam.gov-madeira.pt/cana-de-acucar-1316.aspx, acedido a 4/6/2011.

Kays, S. J. e Nottingham, S. F., 2008, *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke – Helianthus tuberosus L.*, Estados Unidos da América: CRC Press.

Koga, N., 2008, *An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet*, Elsevier, Agriculture, Ecosystems and Environment, 125, pp 101-110.

Koplow, D. e Steenblich, R., Subsidies to Ethanol in the United States, em: D. Pimentel, ed. 2008, *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems – Benefits and Risks*, Springer, Cap. 4.

Krochta, J. M., 1980, *Energy analysis for ethanol*, California Agriculture, pp 9-11.

Minteer, S., Alcoholic Fuels: An Overview, em Minteer, S., 2006, *Alcoholic Fuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 1.

Nichols, N. N.; Dien, B. S.; Bothast R. J. e Cotta, M. A., The Corn Ethanol Industry, em Minteer, S., 2006, *Alcoholic Fuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 4.

Olah, G.; Goeppert A. e Prakash, G. K. S., 2009, *Beyond Oil and Gas – The Methanol Economy*, 2ª ed., Alemanha: Wiley-VCH.

OMAIAA, 2011a, *Portugal está "vulnerável" à subida do preço dos cereais* [online], disponível em: http://www.observatorioagricola.pt/noticia.asp?id_noticias=1104, acedido a 24/5/2011.

OMAIAA, 2011b, *Produção e Comercialização da Batata* [online], disponível em: http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=108, acedido a 20/6/2011.

Patzek, T. W. et al., 2005, *Ethanol from corn: clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets?*, Springer, Environment, Development and Sustainability, 7, pp 319-336.

Pimentel, D. e Patzek, T. W., 2005, *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*, Natural Resources Research, 14: 1, pp 65-76.

Reijnders, L. e Huijbregts, M. A. J., 2009, *Biofuels for Road Transport – A Seed to Wheel Perspective*, Springer, pp 1-35, pp 153-156.

Renewable Energy World.com, 2011, *Mexico & Agaves: Moving from Tequila to Ethanol* [online], disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/08/mexico-agaves-moving-from-tequila-to-ethanol-53265>, acessado a 12/6/2011.

Salem News, 2010, *Sugar beet* [fotografia], disponível em: <http://www.salem-news.com/stimg/march062010/sugarbeet.jpg>, acessado a 18/6/2011.

Šantek, B. et al., 2010, *Evaluation of energy demand and the sustainability of different bioethanol production processes from sugar beet*, Elsevier, Resources, Conservation and Recycling, 54, pp 872–877.

Senn, T. e Pieper, H. J., Mashing Processes, em: Roehr, M., 2001, *The Biotechnology of Ethanol – Classical and Future Applications*, Alemanha: Wiley-VCH, Cap. 4

Senn, T. e Pieper, H. J., Processing Grain, em: Roehr, M., 2001, *The Biotechnology of Ethanol – Classical and Future Applications*, Alemanha: Wiley-VCH, Cap. 6

Senn, T. e Pieper, H. J., Processing Potatoes, em: Roehr, M., 2001, *The Biotechnology of Ethanol – Classical and Future Applications*, Alemanha: Wiley-VCH, Cap. 5

Senn, T. e Pieper, H. J., Starch Containing Raw Materials, em: Roehr, M., 2001, *The Biotechnology of Ethanol – Classical and Future Applications*, Alemanha: Wiley-VCH, Cap. 1

Senthilkumar, V. e Gunasekaran, P., Bioethanol from Biomass – Production of ethanol from Molasses, em: Pandey, A., 2009, *Handbook of Plant-Based Biofuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 6.

Singhania, R. R.; Parameswaran, B. e Pandey, A., Plant-Based Biofuels – An Introduction, em: Pandey, A., 2009, *Handbook of Plant-Based Biofuels*, Estados Unidos da América: Taylor & Francis Group, Cap. 1.

Speight, J. G., 2008, *Sythetic Fuels Handbook – Properties, Process and Performance*, Estados Unidos da América: McGraw-Hill.

Taherzadeh, M. J. e Karimi, K., Bioethanol: Market and Production Processes, em: Nag, A., 2008, *Biofuels Refining and Performance*, Estados Unidos da América: McGraw-Hill, Cap. 3.

Tilman, D.; Hill, J. e Lehman C., 2006, *Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass*, Science, 314, pp 1598-1600.

Velez, P. e Canha, G., 2002, *A Adubação de Fundo em Beterraba Sacarina*, Produzir Beterraba.

Wikipedia, 2011a, *Agave tequilana* [online], disponível em: http://es.wikipedia.org/wiki/Agave_tequilana, acedido a 21/6/2011.

Wikipedia, 2011b, *Jerusalem artichoke* [online], disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem_artichoke, acedido a 27/6/2011.

Wikipedia, 2011c, *Potato* [online], disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Potato>, acedido a 24/6/2011.

Wikipedia, 2011d, *Maize* [online], disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Maize>, acedido a 24/06/2011.

Wikipedia, 2011e, *Sugar beet* [online], disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_beet, acedido a 18/6/2011.

Wikipedia, 2011f, *Sugar cane* [online], disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sugarcane>, acedido a 18/6/2011.

Wikipedia, 2011g, *Topinambur* [online], disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Topinambur>, acedido a 27/6/2011.

6 Anexos

A informação apresentada nestes anexos tem a função de dar a conhecer documentos relevantes consultados durante a elaboração deste texto e que não seria adequado expor no texto principal, devido à saturação do mesmo com pormenores excessivos e pelo não enquadramento no veio de pensamento principal. Por estes motivos, algumas informações que não foram expostas no texto principal, mas que se relacionam com o assunto abordado, serão explanadas nesta secção.

Serão apresentadas tabelas e mapas relativos à produção agrícola nacional, nomeadamente da beterraba, batata, milho e trigo (INE, 2007; INE 2010). Também serão incluídas as tabelas das Contas de Agricultura (GPPAA, 2001), as quais foram de vital importância na determinação dos consumos e tempo dispendidos nas operações de cultivo da beterraba e da batata. Por fim, são sugeridas duas culturas com potencial para serem introduzidas na produção de matéria-prima em larga escala destinada à produção de bioetanol.

Anexo A – Biocombustíveis

Biofuel	Problems and adaptations	Biofuel	Problems and adaptations
Ethanol	- Ethanol is relatively corrosive, and ethanol–gasoline blends may separate in pipelines; this limits the scope for pipeline transport. Also, ethanol is hygroscopic, and high water concentrations may lead to phase separation. So, in storage and distribution, exposure to water should be severely limited (Antoni et al. 2007; Atsumi et al. 2008). - Limited admixture of ethanol (whether or not as ETBE: the tertiary butylether of ethanol) up to 5% is possible without adaptation of cars. If ethanol–fossil hydrocarbon blends with percentages of ethanol over 5% are used, however, changes in cars are needed (Antoni et al. 2007). Such changes regard the fuel-sending unit, the fuel injector, the fuel filter, fuel management and flame arrestors. When the percentage of bioethanol becomes 85 or 100%, changes necessary for the engine become substantial (Antoni et al. 2007; Hammond et al. 2008). This has led to the development of flex vehicles that are able to run on blends with high percentages of ethanol, and also on conventional petrol.	Fatty acid esters (biodiesel)	- At low fuel temperature, viscosity of biodiesel and precipitate formation may still become unacceptable (Kerschbaum et al. 2008). Unacceptable viscosity may be associated with piston ring sticking and severe engine deposits (Kegl 2008). Also, at low temperatures, there may be more cold-starting problems (Hammond et al. 2008). - Saturated fatty-acid-based biodiesel is relatively prone to crystal formation at low temperatures, more so when the carbon chains are longer. Ozonization, lowering the content of saturated fatty acids and the use of fatty acids with shorter carbon chains have been proposed as ways to ‘winterize’ biodiesel (Kerschbaum et al. 2008; Ramos et al. 2008). - Precipitate formation at low temperatures may also be linked to the presence of (plant-derived) steryl glucosides (Tang et al. 2008). - When a substantial percentage of biodiesel is present in the transport fuel, especially in older cars, there may be a need to change fuel hoses and seals, because these will otherwise corrode (Radich 2007; Hammond 2008). - The amount of free alcohol in biodiesel should be kept very low to prevent accelerated deterioration of rubber seals and gaskets (Abdullah et al. 2007). - The solvent property of biodiesel may be conducive to loosening deposits in fuel systems, which may lead to clogging of fuel lines and filters and, more in general, there may be a need for more frequent oil and fuel filter changes when biodiesel is used (Radich 2007; Hammond et al. 2008). - In aircraft, only the admixture of low percentages of biodiesel in jet fuel is acceptable to prevent freezing (Wardle 2003). - Storage of biodiesel should be such that oxidative and hydrolytic deterioration are prevented. Similarly, the presence of water should be prevented, as this is conducive to the growth of micro-organisms (Abdullah et al. 2007).
Vegetable oil	- High viscosity may give rise to increased fuel consumption, to increased emissions of CO and hydrocarbons and to engine durability problems (Agarwal and Agarwal 2007; Scholz and da Silva 2008). - Oils with unsaturated fatty acids may be subject to oxidative instability (Vasudevan and Briggs 2007). Such instability may be corrected by hydrogenation (Mikkonen 2008). However, saturated fatty acids are more prone to form crystals at relatively low temperatures, and thus their presence is also subject to limitation. - To the extent that vegetable oils are suitable, use thereof is associated with substantially increased maintenance (Cloin 2007). - In aircraft, vegetable oils freeze at normal cruising temperatures and have relatively poor high temperature thermal stability characteristics in the engine (Daggett et al. 2007).		
Dimethylether	- New storage and fuel delivery systems are needed (Semelsberger et al. 2006). - Provisions have to be made to reduce leakage in pumps and fuel injectors (Semelsberger et al. 2006). - Adaptation of engines or the use of additives to solve problems with lubricity is necessary (Semelsberger et al. 2006; Arcoumanis et al. 2008). - Modifications of engines are needed to prevent corrosion (Arcoumanis et al. 2008).	Methane	- Supply system has to be adapted to store and handle methane. - Cars have to be adapted to dual fuelling (Björesson and Mattiasson 2008). - Optimum use of methane requires engine modifications (Björesson and Mattiasson 2008; Hammond et al. 2008).

Tabela A35 - Problemas e adaptações necessárias a efectuar nos biocombustíveis correntes (Reijnders e Huijbregts, 2009)

Anexo B – Dados agrícolas nacionais

50

BETERRABA SACARINA

A beterraba sacarina é uma cultura cultivada há muito tempo nos Açores, mas, no Continente, só a partir de meados dos anos 90, devido a ajudas comunitárias, se iniciou o seu cultivo. O ano de 1997 foi o primeiro em que a área semeada atingiu, no Continente, alguma dimensão, com 3 148 hectares, aumentando nos anos seguintes e atingindo no triénio 2004-06 a área anual média ser de 6 722 hectares.

A beterraba sacarina é cultivada na sua quase totalidade em Ribatejo e Oeste e no Alentejo, com a área anual média no triénio 2004-06 a representar, no conjunto destas regiões, 92% do total.

A maior produção anual de beterraba sacarina verificou-se em 2002 em Ribatejo e Oeste, com 410 mil toneladas.

No entanto, comparando a produção anual média entre os triénios 1997-99 (os primeiros anos com alguma dimensão de área semeada no Continente) e o triénio 2004-2006, verifica-se um acréscimo do peso relativo no Alentejo de 36,0% para 39,3%, e uma ligeira diminuição em Ribatejo e Oeste. Os Açores tiveram um peso relativo de apenas 3,1% no triénio 2004-06.

Quadro 12

Beterraba sacarina			
Portugal			
Anos	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
1980	917	38 036	41 479
1981	696	28 915	41 545
1982	731	30 380	41 560
1983	1 009	41 957	41 583
1984	1 102	55 107	50 006
1985	622	31 095	49 992
1986	786	39 310	50 013
1987	616	19 089	30 989
1988	190	8 289	43 626
1989	235	12 053	51 289
1990	265	12 692	47 894
1991	250	11 931	47 724
1992	367	19 259	52 477
1993	627	31 962	50 976
1994	1 049	50 085	47 745
1995	1 313	56 991	43 405
1996	737	32 400	43 987
1997	3 502	149 514	42 698
1998	3 487	187 649	53 816
1999	8 247	505 323	61 272
2000	7 891	461 735	58 513
2001	5 373	280 888	52 278
2002	9 040	643 859	71 224
2003	7 493	484 149	64 614
2004	8 358	626 562	74 964
2005	8 623	604 879	70 147
2006	4 275	320 039	74 863

Figura 24



Cartograma 12

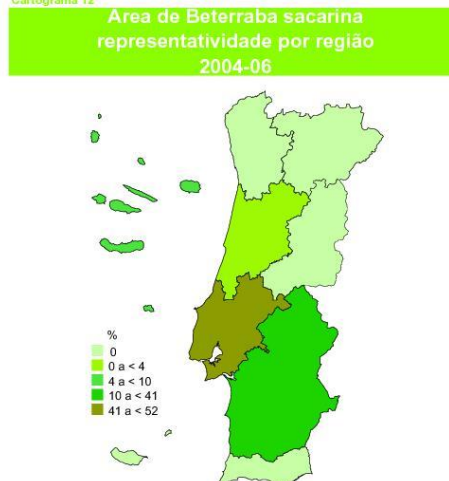
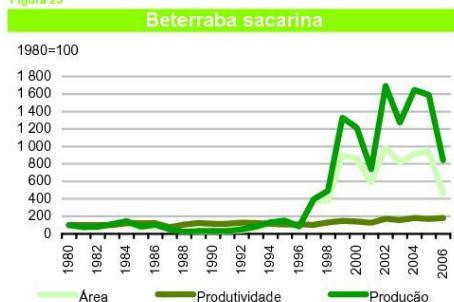


Figura 23



Portugal Agrícola

Figura B34 - Produção nacional de beterraba no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)

BATATA

A batata é tradicionalmente um dos mais importantes produtos da agricultura portuguesa, embora a série temporal evidencie um decréscimo contínuo das áreas e produções.

As alterações dos hábitos de consumo e o aumento das importações, que colocam o produto no mercado nacional a preços altamente concorrenciais, justificam em parte esta tendência. Por outro lado, a deficiente e pouco organizada estrutura de comercialização tem sido, ao longo de várias campanhas agrícolas, posta à prova, sem sucesso, no que diz respeito à garantia de escoamento da produção nacional.

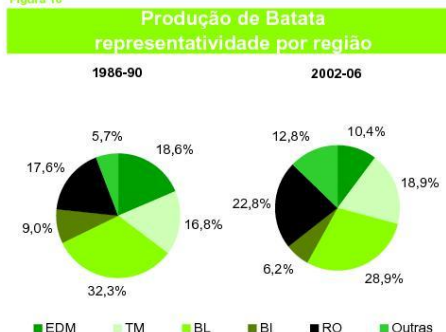
A batata é uma cultura que se cultiva em todo o país, embora as quatro principais regiões produtoras – Entre Douro e Minho, Trás-os-Montes, Beira Litoral e Ribatejo e Oeste – representassem, no quinquénio 2002-06, cerca de 80% do total. No, entanto a importância relativa das regiões alterou-se, com uma diminuição do peso relativo de Entre Douro e Minho de 18,6% para 10,8% e o aumento de Trás-os-Montes de 16,8% para 18,6%, entre os quinquénios 1986-90 e 2002-06.

Em Entre Douro e Minho ocorreu a maior diminuição de área de batata, com um decréscimo de 74,8% entre os quinquénios 1986-90 e 2002-06.

Quadro 9

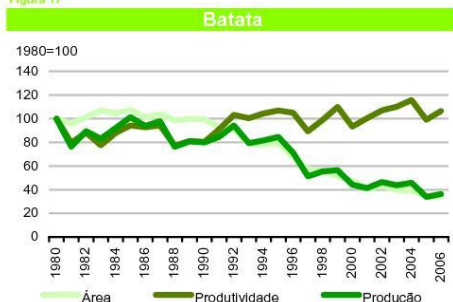
Batata			
Anos	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
1980	120 923	1 678 856	13 882
1981	116 043	1 282 897	11 054
1982	122 557	1 502 781	12 262
1983	129 445	1 394 498	10 773
1984	126 556	1 546 550	12 220
1985	129 955	1 701 597	13 094
1986	122 356	1 576 516	12 885
1987	125 334	1 641 198	13 095
1988	119 426	1 280 086	10 719
1989	120 553	1 358 405	11 268
1990	120 342	1 343 005	11 160
1991	112 310	1 420 870	12 651
1992	110 505	1 583 091	14 326
1993	95 577	1 332 532	13 942
1994	94 566	1 370 734	14 495
1995	95 684	1 420 542	14 846
1996	82 036	1 196 142	14 581
1997	69 464	861 002	12 395
1998	67 729	931 621	13 756
1999	62 171	949 117	15 266
2000	57 345	742 588	12 950
2001	49 789	694 051	13 940
2002	52 606	781 287	14 852
2003	48 127	735 828	15 289
2004	47 906	769 767	16 068
2005	41 386	569 531	13 761
2006	41 350	611 179	14 781

Figura 18



Portugal Agrícola

Figura 17



Cartograma 9

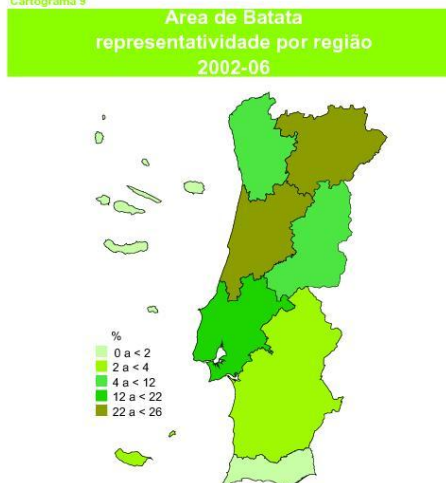


Figura B35 - Produção nacional de batata no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)

MILHO

O milho é, no contexto agrícola nacional, a mais importante cultura arvense e também aquela que envolve um maior número de produtores e de explorações agrícolas. Ao longo do período em análise, constata-se um incremento gradual e sustentado das produtividades, reflexo não só do aumento da superfície explorada em regime de regadio, mas também da utilização de variedades mais produtivas, o que conduziu a sistemas agrícolas economicamente competitivos.

Em Portugal, a cultura do milho aparece intimamente associada ao regadio, beneficiando das potencialidades edafoclimáticas que o posicionamento geográfico proporciona. A evolução e distribuição territorial adquiriu, ao longo do período em análise, uma maior homogeneidade em toda a faixa litoral do Centro e Norte

do país devido à estreita relação desta cultura com a actividade pecuária.

Em 1980 a área de milho foi de 261 mil hectares, tendo diminuído com regularidade até 2006, apesar de ser, entre os cereais, o que, a seguir ao arroz, teve a menor quebra de área.

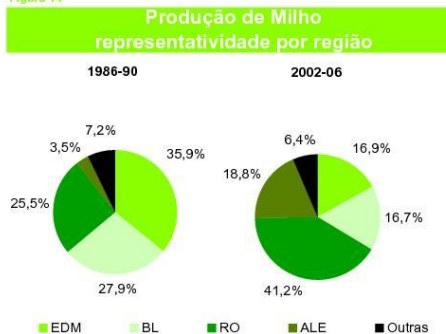
Pelo contrário, a produtividade média do milho quase triplicou, aumentando de 1 965 kg/ha na média do quinquénio 1980-84 para 5 389 kg/ha no quinquénio 2002-06.

A maior produção de milho verificou-se em 1998 com 981 mil toneladas, sendo a produção anual média no quinquénio 2002-06 de 682 mil toneladas.

Quadro 7

Milho			
Anos	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
1980	261 319	531 994	2 036
1981	242 969	420 238	1 730
1982	247 043	463 785	1 877
1983	246 212	461 090	1 873
1984	212 088	499 415	2 355
1985	203 518	549 736	2 701
1986	212 686	627 994	2 953
1987	215 860	654 692	3 033
1988	209 572	657 768	3 139
1989	215 222	678 749	3 154
1990	217 856	665 560	3 055
1991	215 773	656 187	3 041
1992	196 269	678 041	3 455
1993	179 545	668 472	3 723
1994	173 778	711 432	4 094
1995	163 816	714 627	4 362
1996	168 774	789 290	4 677
1997	174 101	863 410	4 959
1998	182 654	980 922	5 370
1999	163 497	933 800	5 711
2000	153 005	875 347	5 721
2001	155 133	906 644	5 844
2002	140 308	796 601	5 678
2003	141 609	798 021	5 635
2004	137 487	789 409	5 742
2005	110 192	510 359	4 632
2006	102 826	513 674	4 996

Figura 14



Cartograma 7

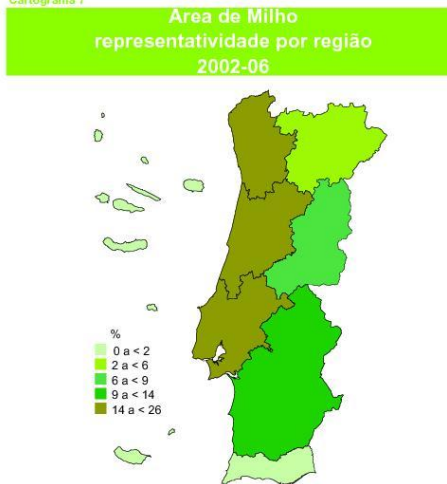


Figura 13

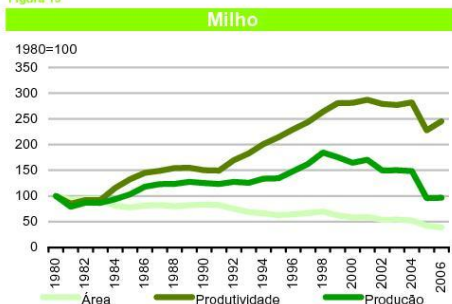


Figura B36 - Produção nacional de milho no período de 1980 a 2006 (INE, 2007)

TRIGO

O trigo assume-se como o principal cereal de sequeiro na estrutura cerealífera nacional. Até ao final da década de 90, cerca de 90% do trigo era trigo mole, que foi posteriormente substituído pelo trigo duro, devido à introdução da ajuda suplementar a este cereal, revista e aumentada na agenda 2000. O desligamento total das ajudas, a partir de 2005 e a substituição desta ajuda por outra específica, à qualidade, mas de valor

substancialmente mais baixo, permitiu a retoma do trigo mole e o quase desaparecimento do trigo duro.

A evolução da distribuição territorial do trigo revela que, não obstante a perda de importância ao longo do período em análise, mantém para além do Alentejo, uma expressão territorial com algum significado no Ribatejo e Oeste e Nordeste transmontano.

Quadro 2

Trigo			
Portugal			
Anos	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)
1980	341 676	430 068	1 259
1981	331 025	315 580	953
1982	343 920	425 082	1 236
1983	322 252	327 233	1 015
1984	284 220	466 155	1 640
1985	274 688	395 226	1 439
1986	306 843	500 261	1 630
1987	314 682	533 094	1 694
1988	286 042	394 757	1 380
1989	321 842	616 238	1 915
1990	207 553	296 623	1 429
1991	294 874	618 697	2 098
1992	280 293	361 963	1 291
1993	250 189	421 838	1 685
1994	235 187	462 536	1 967
1995	259 402	359 849	1 387
1996	236 789	405 826	1 714
1997	276 593	329 271	1 190
1998	148 687	150 938	1 015
1999	220 281	352 148	1 599
2000	226 252	354 712	1 568
2001	183 492	153 609	837
2002	230 693	413 038	1 790
2003	174 317	149 581	858
2004	187 446	292 884	1 562
2005	122 727	81 554	665
2006	104 684	249 605	2 384

Figura 4



Cartograma 2

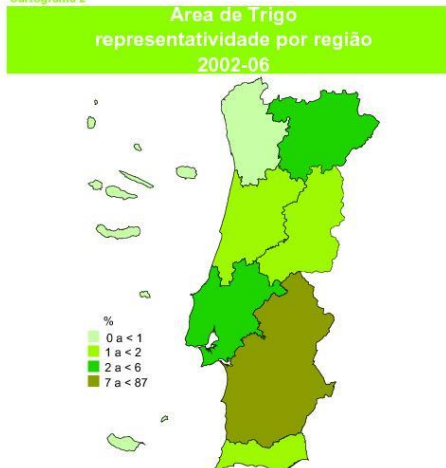
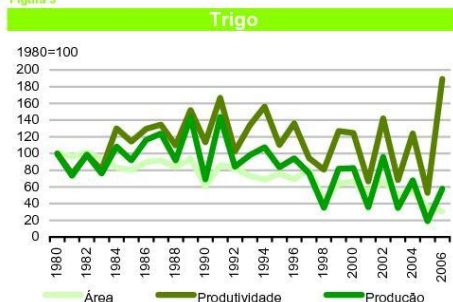


Figura 3



Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

Portugal		2007 - 2009					
Culturas	Anos	Superfície			Produção		
		2007	2008	2009	2007	2008	2009
		ha			t		
CULTURAS TEMPORÁRIAS							
Cereais							
	Trigo mole	53 524	85 356	53 561	99 799	196 387	88 933
	Trigo duro	1 394	2 957	7 237	2 496	6 944	13 350
	Milho	104 330	109 640	97 021	604 513	699 666	631 545
	Centeio	22 218	21 323	20 429	22 702	22 213	19 403
	Triticale	15 928	20 242	18 903	25 200	41 546	28 082
	Arroz	26 903	26 334	27 930	156 203	150 680	156 952
	Aveia	46 064	55 233	48 670	62 039	92 422	56 889
	Cevada	40 476	43 081	40 628	80 714	99 825	73 298
Leguminosas para grão							
	Feijão	7 588	6 259	5 244	3 984	3 200	2 649
	Grão-de-bico	1 700	1 114	1 221	996	654	644
Batata							
	Batata	42 176	38 850	37 940	656 561	566 556	570 235
Beterraba sacarina							
	Beterraba sacarina	3 022	1 586	135	254 046	137 001	6 612
Culturas para a indústria							
	Tomate	14 800	14 297	16 789	1 236 235	1 147 600	1 346 702
	Girassol	17 620	24 378	23 997	14 101	16 203	12 555
	Tabaco	443	430	620	1 311	1 358	1 871
CULTURAS PERMANENTES							
	Laranja	19 896	20 066	20 067	210 763	177 152	201 592
	Maçã	20 488	20 581	20 625	247 223	238 812	280 078
	Pêra	12 827	12 824	12 820	141 210	195 090	249 109
	Pêssego	5 779	5 770	5 763	53 071	50 270	54 255
	Vinho (a)	216 496	216 496	216 496	5 866 756	5 479 618	5 688 015
	Azeite (a)	368 397	369 193	375 590	352 574	587 422	681 850

Nota: as produções de azeite e laranja correspondem às iniciadas no ano agrícola indicado e continuadas no ano seguinte.

(a) Produção - unidade: hl.

Tabela B36 - Produção das principais culturas no período de 2007 a 2009 (INE, 2010)

Portugal		2006 - 2008		
	Unidade	2006	2007	2008
Consumo aparente de fertilizantes inorgânicos azotados, fosfatados e potássicos na agricultura (a)				
Azoto	t N	87 391 (Rv)	110 477 (Rv)	96 343 (Po)
Fósforo	t P ₂ O ₅	51 149 (Rv)	67 467 (Rv)	44 746 (Po)
Potássio	t K ₂ O	31 654 (Rv)	51 601 (Rv)	39 064 (Po)
Total	t	170 193 (Rv)	229 544 (Rv)	180 153 (Po)
Fungicidas	t s.a.	11 382	11 519	12 820
- Enxofre	t s.a.	9 168	8 970	9 938
Herbicidas	t s.a.	2 031	2 120	1 693
Inseticidas e acaricidas	t s.a.	493	627	370
Óleo mineral	t s.a.	565	645	630
Fumigantes de solo	t s.a.	1 190	1 716	1 475
Outros (b)	t s.a.	41	62	72
Total de vendas	t s.a.	15 703	16 689	17 060
Vendas de produtos fitofarmacêuticos / Superfície agrícola utilizada	kg s.a./ha	4,2	4,5	4,6
Vendas de produtos fitofarmacêuticos (excluindo enxofre) / Superfície agrícola utilizada	kg s.a./ha	1,7	2,1	1,9

Origem: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.

(a) Inclui consumo de fertilizantes inorgânicos em áreas de desporto e lazer.

(b) Inclui Moluscicidas, Reguladores de Crescimento, Rodenticidas e Outros.

Tabela B37 - Consumo de fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos no período de 2006 a 2008 (INE, 2010)

Anexo C – Contas de cultura da beterraba sacarina e da batata

Nesta secção são apresentadas as tabelas originais das Contas de Cultura das Actividades Vegetais (GPPAA, 2001).

Contas de Cultura das Atividades Vegetais - Modelo de Base Microeconómica														
REGIÃO	ACTIVIDADE	PRODUÇÃO	kg/ha	euro/kg	Ano	Área (m²)	Distância Assento Lavoura (m)	Nº Meses de Atividade	Tx. Juro Capital Circulante	CÓDIGO	TIPO REGA			
RO,ALE	BETERRABA SACARINA Rega por pivot, bombagem eléctrica	Produto Principal	55 000	0,06								Produto Secundário	6 600	0,00
Unidade monetária: € (euro)														
CALENDÁRIO DE OPERAÇÕES					MÃO DE OBRA									
OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	Data de realização	Nº de vezes	ESPECIALIZADA				NÃO ESPECIALIZADA						
				Tractorista		Outra		Homem		Mulher				
				horas	Custo	horas	Custo	horas	Custo	horas	Custo			
Lavoura	Tr.105cv+Charrua Aivecas 3F-14"	FEV	1	2,4	6,84	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Gradagem	Tr.90cv+Grade Discos 22D-22"	FEV	2	2,1	5,97	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Escarificação	Tr90cv+Escarificador 13D	FEV	1	0,9	2,61	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Transporte de Adubo	Tr.90cv+Reboque 7.0t	FEV	1	0,3	0,87	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Adubação de Fundo	Tr.90cv+Distribuidor Centrifugo 600 l.	FEV	1	0,5	1,56	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Gradagem	Tr.90cv+Grade Discos 22D-22"	MAR	1	1,1	3,15	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Transp. de Adubo e Semente	Tr.90cv+Reboque 7.0t	MAR	1	4,0	11,69	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Tratamentos Fitossanitários	Tr.70cv+Pulverizador convencional 600 l.	MAR	1	0,8	2,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Sementeira e Adubação	Tr.90cv+Semeador fertilizador p/ cereais out.	MAR	1	0,8	2,23	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Monda Química pré emergência	Tr.70cv+Pulverizador convencional 600 l.	MAR	1	0,8	2,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Monda Química pós emergência	Tr.70cv+Pulverizador convencional 600 l.	ABR	3	2,0	5,83	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Transporte de Adubo	Tr.45cv+Reboque 3,5t (basculante)	MAI	3	1,4	3,93	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Sacha e Adubação	Tr.90cv+Sachador Adubador 4L	MAI	3	3,0	8,83	0,0	0,00	3,0	7,01	0,0	0,00			
Abertura de regos	0	0	0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Tratamento Oídio	Tr.70cv+Pulverizador convencional 600 l.	MAI-JUN	2	1,5	4,40	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Rega	Centro pivot 10 - 20 ha (esc/ha)	MAI-SET	6	0,0	0,00	0,0	0,00	20,0	45,99	0,0	0,00			
Tratamento Afídeos	Tr.70cv+Pulverizador convencional 600 l.	ABR-MAI	2	1,4	4,02	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Colheita	Custo da colheita e carregamento p/ camião (\$/ha)	SET	1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
Transporte	Camião (distância de 40 Km)	SET	0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00			
TOTAL				22,9	66,33	0,0	0,00	23,0	53,00	0,0	0,00			
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)			

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

MÁQUINAS								CONSUMOS INTERMÉDIOS		
AUTOMOTRIZES + ALFAIAS				OUTRAS				Designação	Quantidade	Custo
horas	Custo Variável	Custo Fixo		horas	Custo Variável	Custo Fixo				
		Total	Amort.			Total	Amort.			
2,4	26,55	24,83	22,89	0,0	0,00	0,00	0,00	07-21-21 (kg)	476,0	107,79
2,1	25,78	27,73	25,57	0,0	0,00	0,00	0,00	Superfosfato 18 % (kg)	317,8	42,80
0,9	7,84	6,81	6,28	0,0	0,00	0,00	0,00	(Arv) Beterraba sacarina (1000 sementes)	100 000,0	124,70
0,3	3,20	2,73	2,52	0,0	0,00	0,00	0,00	Fonofos 5% (kg)	10,0	26,54
0,5	4,83	5,34	4,93	0,0	0,00	0,00	0,00	Hidrocloreto formetanato 50% (kg)	1,8	7,16
1,1	13,62	14,66	13,52	0,0	0,00	0,00	0,00	Hidrocloreto formetanato 50% (kg)	0,8	19,21
4,0	43,08	36,69	33, 83	0,0	0,00	0,00	0,00	Hidrocloreto formetanato 50% (kg)	4,5	18,41
0,8	5,97	6,69	6,17	0,0	0,00	0,00	0,00	Nitrolusal 20.5 % (kg)	586,0	85,35
0,8	14,18	21,65	19,97	0,0	0,00	0,00	0,00	Bitertanol 500g/l (l)	0,7	43,19
0,8	5,97	6,69	6,17	0,0	0,00	0,00	0,00	Água (m3)	6 000,0	0,00
2,0	15,82	17,73	16,35	0,0	0,00	0,00	0,00	Pirimicarbe 50% (kg)	1,1	49,66
1,4	7,03	5,84	5,38	0,0	0,00	0,00	0,00			
3,0	28,39	33,42	30,82	0,0	0,00	0,00	0,00			
0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00			
1,5	11,94	13,38	12,34	0,0	0,00	0,00	0,00			
0,0	0,00	0,00	0,00	26,7	50,42	141,39	129,99			
1,4	10,89	12,21	11,26	0,0	0,00	0,00	0,00			
0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00			224,46
0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00			192,04
22,9	225,09	236,39	218,00	26,7	50,42	141,39	129,99			941,29
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)			(17)

FERTILIZAÇÃO e CORRECÇÃO	unidades/ha	RESULTADOS ECONÓMICOS DA ACTIVIDADE										
N	153	MÃO DE OBRA	MÁQUINAS (CUSTO FIXO)		CONSUMOS INTERMÉDIOS + CUSTOS VARIÁVEIS MÁQUINAS	JUROS DO CAPITAL CIRCULANTE	GASTOS GERAIS	CUSTO DE INSTALAÇÃO ANUALIZADO	RENDA	CUSTO TOTAL	VALOR DA PRODUÇÃO	RENDIMENTO SEM AJUDAS
P	157		Total	Amortizações								
K	100											
Estrume (Kg)	0	119,33 (2+4+6+8)	377,78 (11+15)	347,99 (12+16)	1216,80 (10+14+17)	5,32 (10+14+17) x x nº de meses/2 x taxa juro / 12	47,06 (17x 5%)	0,00	232,32	1998,60 (2+4+6+8+10+11+14 +15+17) + juros do capital circulante + gastos gerais + custo de instalação anualizado + renda	3486,98 Produto principal (unidades x preço) + Produto secundário (unidades x preço)	1488,38 Valor da produção - Custo total
Calcário (kg)												
UTA	0,021											

Tabela C38 - Contas de Cultura das Actividades Vegetais da beterraba sacarina (GPAA, 2001)

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

MADRP/GPPAA						Contas de Cultura das Actividades Vegetais - Modelo de Base Microeconómica					
REGIÃO	ACTIVIDADE	PRODUÇÃO	kg/ha	euro/kg	Ano	Área (m²)	Distância Assento Lavoura (m)	Nº Meses de Actividade	Tx. Juro Capital Circulante	CÓDIGO	TIPO REGA
RO,ALE	BATATA CONSERVAÇÃO Rega por aspersão, bombagem eléctrica	Produto Principal	21 000	0,12							
		Produto Secundário	0	0,00	1997	10 000	1 000	5	1,5%	BAC 9	4A
Unidade monetária: € (euro)											
CALENDÁRIO DE OPERAÇÕES						MÃO DE OBRA					
OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	Data de realização	Nº de vezes	ESPECIALIZADA				NÃO ESPECIALIZADA			
				Tractorista		Outra		Homem		Mulher	
				horas	Custo	horas	Custo	horas	Custo	horas	Custo
Estrumação	Tr.70CV+Reboque Dist. Estrume 6,0t	FEV	1	0,4	1,26	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Lavoura	Tr.70CV+Charrua de Aivecas 2F-14"	FEV	1	3,5	10,21	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Gradagem	Tr.70CV+Grade Discos off-set 28D-24"	FEV	1	0,9	2,71	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Adubação de Fundo	Tr.70CV+Distribuidor Centrifugo 600 l. (montado)	FEV	1	0,6	1,63	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Gradagem	Tr.70CV+Grade Discos off-set 28D-24"	FEV	1	0,9	2,71	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Plantação	Tr.70CV+Plantador de Batata 2L	MAR	1	3,6	10,37	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Transporte de Batata	Tr.70CV+Reboque 6.0t	MAR	1	0,3	0,87	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Monda Química	Tr.70CV+Pulverizador convencional 600 l.(montado)	MAR	1	0,8	2,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Rega por Aspersão	Aspersao Electricidade (sistema móvel - clássico)	MAI	4	0,0	0,00	0,0	0,00	50,0	114,97	6,0	12,42
Sacha e Amontoa	Tr.70CV+Sachador Fertilizador 4L	MAI	2	2,1	6,05	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Transporte de Adubo	Tr.70CV+Reboque 6.0t	MAI	0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Tratamentos Fitossanitários	Tr.70CV+Pulverizador convencional 600 l.(montado)	ABR/JUN	4	3,0	8,81	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Colheita e ensaque	Tr.70CV+Colhedor Batata 1L	JUN/JUL	1	5,5	16,00	0,0	0,00	0,0	0,00	48,0	99,36
Transporte de Batata	Tr.70CV+Reboque 6.0t	JUN/JUL	1	0,7	2,03	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
TOTAL				22,4	64,83	0,0	0,00	50,0	114,97	54,0	111,78
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

MÁQUINAS								CONSUMOS INTERMÉDIOS		
AUTOMOTRIZES + ALFAIAS				OUTRAS				Designação	Quantidade	Custo
horas	Custo Variável	Custo Fixo		horas	Custo Variável	Custo Fixo				
		Total	Amort.			Total	Amort.			
0,4	4,86	5,56	5,13	0,0	0,00	0,00	0,00	Estrume (kg)	10 000,0	0,00
3,5	23,46	20,30	18,72	0,0	0,00	0,00	0,00	07-21-21 (kg)	600,0	135,87
0,9	6,39	5,65	5,21	0,0	0,00	0,00	0,00	Cloreto de K 60% (kg)	100,0	22,10
0,6	3,83	4,48	4,13	0,0	0,00	0,00	0,00	Batata sem.	1 200,0	377,09
0,9	6,39	5,65	5,21	0,0	0,00	0,00	0,00	Metribuzina 35% (kg)	2,0	87,99
3,6	23,54	25,81	23,80	0,0	0,00	0,00	0,00	Água (m3)	1 800,0	0,00
0,3	2,43	2,01	1,86	0,0	0,00	0,00	0,00	Sulfato de amónio 20,5% (kg)	0,0	0,00
0,8	5,97	6,69	6,17	0,0	0,00	0,00	0,00	Mancozebe 56%+Oxadixil 8% (kg)	4,0	48,30
0,0	0,00	0,00	0,00	25,7	43,23	117,27	107,76	Azinfos-metilo 25% (kg)	1,0	16,56
2,1	14,93	18,78	17,32	0,0	0,00	0,00	0,00	Met. 10%+N-(tricloro.)-ftalimida 40% (kg)	5,0	90,81
0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	Sacos serapilheira (nº)	360,0	174,40
3,0	23,88	26,77	24,68	0,0	0,00	0,00	0,00			
5,5	35,89	38,46	35,47	0,0	0,00	0,00	0,00			
0,7	5,68	4,69	4,33	0,0	0,00	0,00	0,00			
22,4	157,27	164,84	152,02	25,7	43,23	117,27	107,76			953,12
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)			(17)

Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal

FERTILIZAÇÃO e CORRECÇÃO	unidades/ha	RESULTADOS ECONÓMICOS DA ACTIVIDADE										
N	42	MÃO DE OBRA	MÁQUINAS (CUSTO FIXO)		CONSUMOS INTERMÉDIOS + CUSTOS VARIÁVEIS MÁQUINAS	JUROS DO CAPITAL CIRCULANTE	GASTOS GERAIS	CUSTO DE INSTALAÇÃO ANUALIZADO	RENDA	CUSTO TOTAL	VALOR DA PRODUÇÃO	RENDIMENTO SEM AJUDAS
P	126		Total	Amortizações								
K	186											
Estrume (Kg)	10 000	291,59 (2+4+6+8)	282,11 (11+15)	259,78 (12+16)	1153,63 (10+14+17)	3,61 (10+14+17) x x nº de meses/2 x taxa juro / 12	47,66 (17x 5%)	0,00	330,40	2108,99 (2+4+6+8+10+11+14+15+17) + juros do capital circulante + gastos gerais + custo de instalação anualizado + renda	2618,69 Produto principal (unidades x preço) + Produto secundário (unidades x preço)	509,70 Valor da produção - Custo total
Calcário (kg)	-											
UTA	0,057											

Tabela C39 - Contas de Cultura das Actividades Vegetais da batata (GPPAA, 2001)

Anexo D – Culturas exóticas alternativas

Obviamente não seria possível neste trabalho abordar todas as espécies de plantas que são utilizadas correntemente na produção industrial de bioetanol, pelo que foram abordadas as principais culturas com especial atenção dada à beterraba sacarina e à batata. No entanto, este não é um assunto fechado e existem outras possibilidades que se encontram actualmente em pesquisa e desenvolvimento. Como foi discutido, um dos principais inconvenientes à utilização de determinadas culturas bivalentes, energéticas e alimentares, prende-se com a eliminação de uma quota da produção alimentar em detrimento da produção energética. Aqui podem entrar culturas exóticas tais como o tupinambo (ou girassol batateiro – *Helianthus tuberosus* L.) e o agave-azul (*Agave tequilana*). Estas culturas devem ser encaradas como soluções possíveis para produção de etanol em larga escala, pois o seu melhor atributo é não serem fulcrais como cultura alimentar como é a batata, o milho e o trigo.

A primeira é uma cultura renegada que em tempos de crises agrícolas ou falta de alimento, tais como uma falha na produção de batata, readquire renovado interesse, tal como aconteceu durante e após a Segunda Guerra Mundial (Kays e Nottingham, 2008).



Figura D38 – Tupinambo ou girassol batateiro (Wikipedia, 2011g)

Os primeiros registos sobre tupinambo utilizado para produção de etanol remontam a fins do século XIX, quando o químico francês Anselme Payen aconselhou a França a olhar para esta cultura como matéria-prima para a produção de etanol puro; desde a década de 1920 que esta cultura se revelou como sendo promissora na indústria do etanol e chegaram a ser implementados programas governamentais nos Estados Unidos nas décadas de 1930 e 1980, mas a falta de mercado para esta cultura acabou no seu abandono (Kays e Nottingham, 2008).



Figura D39 – Tubérculos de tupinambo (InfoJardim, 2005)

O cultivo é restrito à faixa de latitudes entre 44 e 55 °N e no hemisfério Sul obedecerá aproximadamente ao mesmo critério; apesar da pequena margem de manobra, as necessidades da cultura e o seu cultivo variam amplamente com a latitude (Kays e Nottingham, 2008). É uma cultura pouco exigente no que toca ao solo e condições de cultivo e apesar de ser sensível à geada, os tubérculos aguentam temperatura até -30 °C (El Bassam, 2010), o que a torna atractiva para ser cultivada em terrenos marginais e zonas de clima frio. As suas necessidades nutricionais estão resumidas na Tabela D40, abaixo.

Nutrientes	Quantidade [kg/ha]
Fósforo (P ₂ O ₅)	90 – 140
Potássio (K ₂ O)	240 – 300
Azoto (N)	40 – 80
Magnésio (MgO)	60 - 90

Tabela D40 - Necessidades nutricionais do tupinambo (El Bassam, 2010)

Como se pode comprovar, esta cultura apresenta necessidades nutricionais energeticamente baixas, pois o fertilizante com maior energia específica de consumo, o azoto, é o que aparece em menor quantidade e em baixos valores de adubação.

Outra das vantagens desta cultura é o seu conteúdo em inulina, um polímero da frutose, que varia entre 7 % e 8 % do peso dos tubérculos, apesar de possuir apenas 15 % a 16 % de hidratos de carbono; o seu constituinte principal é a água, entre 75 % a 79 %, e possui ainda 2 % a 3 % de proteína (El Bassam, 2010). Este hidrato de carbono é muito solúvel em água quente, o que facilita a sua remoção da polpa triturada para posterior fermentação (El Bassam, 2010). A produtividade deste tubérculo é comparável à da batata e da beterraba, caso sejam devidamente supridas as suas necessidades nutricionais e hídricas, Tabela D41 e Tabela D42, mas nem sempre maior investimento na época de cultivo corresponde a maior retorno na colheita (Kays e Nottingham, 2008).

Characteristic	'Bianka'	'Waldspindel'	'Medius'
Growth height	low	very high	very high
Ripeness	very early	middle	late
Tuber size	very large	large	middle
Dry matter (%)	19.27	26.59	24.33
Fructose (%)	10.67	17.90	16.24
Total sugar (%)	13.7 I	20.80	19.50
Tuber yield (t/ha)	49.667	61.417	62.333
Dry matter (t/ha)	9.57 I	16.33 I	15.166
Fructose (t/ha)	5.299	10.994	10.123
Ethanol (L/ha)	3969.85	7447.67	7086.33

Tabela D41 - Características de três variedades de tupinambo (El Bassam, 2010)

Ethanol Yields from Jerusalem Artichoke

Plant Part	Yield per Wet Weight (l·t ⁻¹) ^a	Yield per Area (l·ha ⁻¹)	Reference
Tops (aboveground parts)	78	11,230	Judd, 2003
Tops	83	—	Klass, 1998
Tubers	—	11,000	Ercoli et al., 1992
Tubers	—	3,970 to 7,448	Schittenhelm, 1987
Tubers	80–100	—	Franke, 1985
Tubers	—	2,500–7,500	Guiraud et al., 1982
Tubers	—	2,610	El Bassan, 1998
Tubers	—	3,840–5,850	Kahnt and Leible, 1985
Tubers	—	6,400	Chabbert et al., 1983
Tubers	337 ml·kg ⁻¹	3,060	Zubr, 1988
	—	5,600	Williams and Ziobro, 1982
Tubers	77	1,500–3,100	Kaía et al., 2005
Tubers	—	4,169	Mays et al., 1990
Tubers	—	2,630–5,589	Stolzenburg, 2006
Tubers	—	5,708	Fernandez, 1998

^a Unless otherwise noted.

Tabela D42 - Produção de etanol por unidade de massa e por unidade de área do tupinambo (Kays e Nottingham, 2008)

Na última linha da Tabela D41 são apresentados os valores de produção de etanol por unidade de área de cultivo, que estão associados à produtividade por hectare e ao conteúdo em hidratos de carbono. Dentre as três variedades da tabela, a mais vantajosa para produção de etanol seria a “Waldspindel”, cuja produção de etanol é próxima da beterraba: 7448 l etanol/ha tupinambo face a 8638 l etanol/ha beterraba. Segundo Rosa *et al.* (1991, citado em El Bassam, 2010), em Portugal foram atingidos valores de produtividade de tubérculos entre 30 a 43 t/ha em solos arenosos e argilosos, valor bastante significativo para uma cultura com fins puramente energéticos.

O *Agave tequilana*, comumente designado por agave-azul, é uma descoberta relativamente recente na produção de bioetanol. Esta planta originária da Mesoamérica, nativa de Jalisco no México, e é muito popular neste país que a utiliza principalmente como matéria-prima no fabrico da bebida nacional denominada tequila, nas zonas sul, centro-oeste e oeste do país, e na produção de fibra para cordame na península de Yucatan (Hernández-Salas *et al.*, 2009).



Figura D40 - *Agave tequilana* (Wikipedia, 2011a)

A produção de tequila é feita a partir da espécie *Agave tequilana* e produção de fibra a partir de *Agave sisalana* e o género *Agave* foi dada a conhecer ao mundo científico em 1753 por Carlos Linneo (Wikipedia, 2011a).

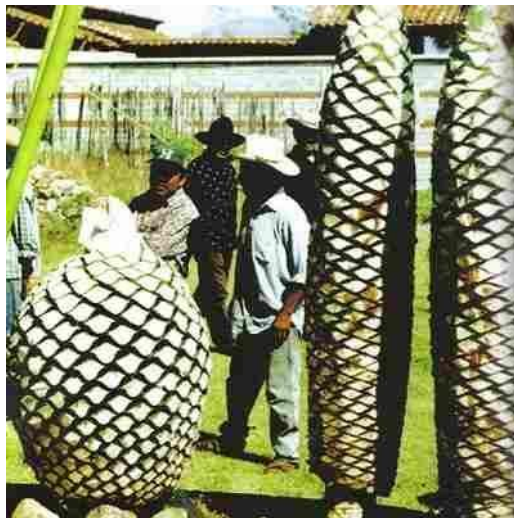


Figura D41 - Caule de agave-azul adulto (Renewable Energy World.com, 2011)

Esta espécie armazena frutose sob a forma de inulina em grandes quantidades e segundo Arturo Velez, que iniciou o projecto de converter agave-azul em bioetanol, a sua equipa desenvolveu variedades de *Agave tequilana* que possuem entre 27 e 38 °Brix e rondam os 300 kg de massa e outras que possuem aproximadamente 25 °Brix e

rondam os 1200 kg; após conversão em etanol obtém-se cerca de 46.763 l etanol/ha agave (5000 gal/acre) (Renewable Energy World.com, 2011). Ainda segundo A. Velez, esta espécie prolifera por toda a área semi-árida do México, que representa 50 % da sua área total, o que indicia elevada capacidade de adaptação e não necessita de rega e aplicação de agroquímicos em grande quantidade. No entanto, esta planta sente-se mais confortável em solos arenosos e acima de 1500 m de altitude (Wikipedia, 2011a).

Não se deverão tomar estes valores relativos ao agave-azul como sendo uma verdade absoluta, pois ainda não existem muitos estudos sobre esta espécie e a produção de bioetanol a partir dela, face a uma quantidade avultada de informação sobre o tupinambo. Ainda assim, é uma hipótese a tomar em consideração, pela sua elevada produtividade e pelo facto de não representar perigo para a indústria alimentar.

Anexo E – Lista de unidades

Salvo erro, as unidades básicas encontram-se listadas pela ordem em que apareceram no texto.

Unidade	Nome	Equivalência/definição
tep	tonelada equivalente de petróleo	-
MW	MegaWatt	1×10^6 W
boe	barrels of oil extracted	-
€	Euro	-
m ²	metro quadrado	-
l	litro	1×10^{-3} m ³
kWh	kiloWatt·hora	1×10^3 W x 3600 s
ktep	kilotonelada equivalente de petróleo	1×10^3 tep
m	metro	-
°C	Graus Celsius	-
Mb/d	Megabarril por dia	1×10^6 b/d
toe	ton of oil equivalents	tep
J	Joule	-
cal	caloria	4,1686 J
Feet	pé	0,305 m
kb/d	kilobarril por dia	1×10^3 b/d
Mtoe	Megaton of oil equivalents	1×10^6 toe
mb/d	megabarrel per day	Mb/d
kg	kilograma	1×10^3 g
Btu	British thermal unit	1055,1 J
gal	galão americano	3,785 l
t	tonelada	1×10^3 g
ha	hectare	10.000 m ²
cm	centímetro	1×10^{-2} m
mm	milímetro	1×10^{-3} m
MJ	MegaJoule	1×10^6 J
bar	bar	1×10^5 Pa
acr	acre	4046,9 m ²
°Brix	Graus Brix	g açúcar/g solução aquosa