

Departamento de Economia Política

A Fusão Inercial no futuro *mix* Energético Português?

Mauro André Oliveira Henriques

Trabalho de projecto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Economia e Políticas Públicas

Orientador:

Professor Doutor Luís Miguel de Oliveira e Silva, Professor Associado com Agregação,

Instituto Superior Técnico

Universidade Técnica de Lisboa

Setembro 2010

Aos meus pais

Agradecimentos

A elaboração do presente trabalho só foi possível graças à disponibilidade e auxílio dado pelo orientador, Professor Doutor Luís Miguel de Oliveira e Silva.

Agradeço também as esclarecedoras conversas e discussões travadas junto de alguns elementos pertencentes ao Grupo de Lasers e Plasmas (GoLP/ IPFN-LA, do Instituto Superior Técnico), do qual permito-me distinguir os Investigadores Doutor Jonathan Davies, Doutor Gonçalo Figueira, Doutor Jorge Vieira e Eng. Frederico Fúza, e o Professor Doutor João Mendanha Dias.

Um agradecimento especial também pela atenção e disponibilidade dispensados pelo Doutor Duarte Borba e Doutora Magdalena Gadomska, ambos da *European Fusion Development Agreement* (EFDA).

Finalmente, um óbvio agradecimento aos Professores e colegas da edição 2008/2010 do Mestrado em Economia e Políticas Públicas, do Departamento de Economia Política do ISCTE-IUL.

Resumo

As alterações climáticas são um dos principais desafios que a União Europeia (UE) enfrenta, para o qual procura promover uma série de medidas que procurem limitar os efeitos nefastos das actividades poluentes e melhorar a gestão dos recursos naturais e a eficiência no seu consumo.

Um das políticas que maior impacto terá nas questões ambientais será a energética, tendo a União visão desde a sua criação, quando foi instituída a Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA) e a Comunidade Europeia da Energia Atómica (EURATOM), tendo estes Tratados tido continuidade pela emissão de diversos documentos formais que têm delineado o caminho europeu pelas questões energéticas.

A UE, estabeleceu o objectivo de se transformar na economia do conhecimento mais competitiva e mais dinâmica do Mundo, facto que se tem reflectido no carácter inovador da Europa perante a necessidade de encontrar formas de produção de energia alternativas.

A Tecnologia de Fusão aparece como sendo uma das fontes energéticas que poderá ser a resposta para os desafios que enfrentamos, não só a UE, bem como o resto do Mundo: sustentabilidade, competitividade e segurança no aprovisionamento. O projecto HIPER (*High Power Laser Energy Research Facility*) pretende demonstrar a viabilidade desta tecnologia, enquanto futura fonte de energia.

A referida tecnologia tem ainda um longo caminho a percorrer, não só em termos técnicos, como também no demonstrar da sua viabilidade económica e aceitação perante a sociedade, caminho esse que deverá assumir uma estratégia de combinação de esforços político/ económico internacional.

Palavras-chave: Europa, ambiente, inovação, energia.

JEL Classification System: Q48, Q55.

Abstract

Climate change is one of the main challenges that the European Union (EU) faces, for which it seeks to promote a wide range of measures to limit the harmful effects of polluting activities and improve natural resource management and efficiency in its consumption.

One of the policies that have the greatest impact on environmental issues is the energetic one, where the Union has a vision since its foundation, when it was established the European Coal and Steel Community (ECSC) and the European Atomic Energy Community (EURATOM), having these Treaties continuity over the years with the issuing of several formal documents that have outlined the European path for energy matters.

The EU established the goal of becoming the most competitive and dynamic knowledge economy of the world, which in turn has reflected on the innovative attitude of the community towards alternative energy production systems.

Fusion Technology appears to be one of the key energy sources that may be the answer to the challenges we face nowadays, not only EU, but also the rest of the world: sustainability, competitiveness and security of supply. The project HIPER (High Power Laser Energy Research Facility) is intended to demonstrate the feasibility of this technology as a future source of energy.

This technology still has a long way to go, not only technically, but also in demonstrating its feasibility in terms of costs and society acceptance, being the strategic path that should be taken a combination of political and economic international effort.

Keywords: Europe, environment, innovation, energy.

JEL Classification System: Q48, Q55.

Lista de Siglas:

BM – Banco Mundial

CAC – Captação e Armazenamento de Carbono

CE – Comissão Europeia/ EC – European Commission

CECA – Comunidade Europeia do Carvão e do Aço

CEE – Comunidade Económica Europeia

CIB – Consumo Interno Bruto

CO₂ – abreviatura para dióxido de carbono

EFDA – European Fusion Development Agreement

EM – Estados Membros

ESFRI – European Strategy Forum on Research Infrastructures

EUA – Estados Unidos da América

EUR – Euro, moeda única europeia

EURATOM – Comunidade Europeia da Energia Atómica/ ECSC – European Coal and Steel Community

FIT – Feed-In Tariff

FOB – Free On Board

GoLP – Grupo de Lasers e Plasmas

GWh – GigaWatt hora

HIPER – High Power Laser Energy Research Facility

I&D – Investigação e Desenvolvimento

IEA – International Energy Agency

IFE – Inertial Fusion Energy

Lista de Siglas (cont.):

IPFN-LA – Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear – Laboratório Associado

IsPM – International Scientific Project Managers

IST – Instituto Superior Técnico

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado

JET – Joint European Torus

Kg - Kilograma

LHC – Large Hadron Collider

MFE – Magnetic Fusion Energy

MW – MegaWatt

NIF – National Ignition Facility

PE – Parlamento Europeu

PIB – Produto Interno Bruto

PPCS – Power Plant Conceptual Studies

SEAFP – Safety and Environmental Assessment of Fusion Power

SERF – Socio-Economic Research on Fusion

TGC – Tradable Green Certificate

Ton - Toneladas

UE – União Europeia

Lista de Figuras:

Figura 1: Consumo Interno Bruto (CIB) na UE em 2005.

Figura 2: Consumo Interno Bruto (CIB) na UE, previsão para 2030.

Figura 3: Estrutura da importação de produtos energéticos em 2009.

Lista de Tabelas:

Tabela 1: O Sistema Electroprodutor Português.

Tabela 2: Peso da Energia na Balança de Mercadorias Portuguesa, FOB 2009.

Tabela 3: Cenário energético para 2030, UE-27.

Tabela 4: Projecção dos custos da electricidade produzida por fontes energéticas não-Fusão.

Índice

1. Introdução	1
2. A Política Energética na União Europeia	2
2.1. A União Europeia e a Energia (e algumas considerações acerca de Portugal).....	3
2.2. Resenha documental histórica e actual	11
2.3. A União Europeia e alguns Mecanismos de Política Energética	14
2.4. A União Europeia e a Inovação.....	16
3. A Tecnologia de Fusão	18
3.1. Uma nova tecnologia – Inovação e Decisão	19
3.2. A Energia Nuclear – de Fusão e de Fissão	22
3.3. Tipos de Fusão – Confinamento Magnético e Fusão Inercial.....	24
3.4. Custos da Tecnologia de Fusão.....	26
3.5. A Fusão e a Sociedade.....	29
4. HIPER – High Power Laser Energy Research Facility	30
4.1. Breve referência ao processo de Fusão.....	31
4.2. Custos de uma futura infra-estrutura HIPER.....	31
4.3. HIPER Portugal.....	34
5. Trabalho futuro de Investigação	37
6. Conclusões	41
7. Referências bibliográficas	45
8. Bibliografia	47
9. Anexo A – Infra-estrutura HIPER (www.hiper-laser.org)	51

1. Introdução

Estando a Europa, bem como o Mundo, a atravessar um momento em que necessita de tomar medidas concretas, e corajosas, para fazer face ao difícil desafio que é contrariar o deteriorar das condições ambientais, procurando garantir a sobrevivência das gerações vindouras, considero ser de extrema importância dar a conhecer uma fonte de energia alternativa, desconhecida ainda da maioria, que poderá bem ser a resposta para os problemas energéticos e, conseqüentemente, económicos, globais.

Pretendo, com as páginas seguintes, para além de cumprir com parte do esquema de avaliação definido para a obtenção do grau de Mestre em Economia e Políticas Públicas, suscitar o interesse dos demais, que partilham o interesse pela temática energética, por uma nova tecnologia, a tecnologia de Fusão Nuclear Inercial, onde farei referência, não só a questões de carácter mais tecnológico (na tentativa de explicar cientificamente em que é que consiste), bem como a questões de índole social e económico, as mais importantes para o presente documento.

Esta questão em específico estará contextualizada pela referência inicial à **Política Energética na União Europeia**, onde é dada uma maior ênfase à situação energética actual na União (com algumas considerações também ao cenário energético português); onde é efectuado um levantamento dos principais documentos europeus oficiais que têm conduzido a política energética; onde é feita referência a alguns mecanismos políticos relacionados especificamente com esta temática; e onde se dá relevância à necessidade da Europa possuir e manter uma atitude inovadora.

Nos dois capítulos seguintes serão tratados a própria **Tecnologia de Fusão**, e um projecto em específico, demonstrativo da tecnologia de Fusão Inercial, o **HIPER – High Power Laser Energy Research Facility**.

Dado que o presente trabalho final assume a forma de projecto de investigação, o quinto ponto faz referência ao **Trabalho Futuro de Investigação**, ao longo caminho que há ainda a percorrer, para demonstrar que a tecnologia de fusão (e em especial a Fusão Inercial) será uma fonte energética rentável, aceite pela sociedade, e que deverá ter-se em consideração no futuro *mix* energético. É importante referir que,

dadas as características subjacentes aos desenvolvimentos em Fusão Nuclear por Confinamento Inercial (a sua génese está intimamente ligada a programas classificados), os estudos sobre esta temática, numa perspectiva de Economia e de Políticas Públicas, são escassos, existindo assim uma oportunidade única para o desenvolvimento de trabalho de investigação neste domínio.

Por fim são tomadas algumas **Conclusões** acerca do futuro da referida tecnologia e a forma como o projecto aqui proposto pode contribuir para os desenvolvimentos futuros em Portugal e na Europa.

2. A Política Energética na União Europeia

A União Europeia (UE) procura um modo de desenvolvimento capaz de responder às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de crescimento das gerações futuras, melhorando as condições de vida dos indivíduos, ao mesmo tempo que preserva o meio envolvente a curto, médio e, sobretudo, a longo prazo. Um desenvolvimento através de uma prosperidade económica assente numa economia inovadora e eficiente do ponto de vista ecológico, da protecção e melhoria da qualidade do ambiente, entre outros aspectos.

Para promover um desenvolvimento sustentável, deverão ser adoptadas medidas adequadas que procurem limitar os efeitos nefastos das actividades poluentes (por exemplo, os transportes), melhorar a gestão dos recursos naturais e nomeadamente o seu consumo, e limitar as consequências das alterações climáticas.

Uma das questões que deverá merecer maior atenção por parte dos decisores e população europeia e mundial, será a problemática energética. A UE tem delineado a sua política para a energia no sentido de instaurar uma economia de baixo consumo de energia, mais sustentável, mais segura e mais competitiva.

Como tal, nos sub-capítulos seguintes, será feita referência à situação energética actual na UE (e, brevemente, acerca da situação energética nacional), tendo em conta também o que historicamente consistiram os seus esforços nesta área, bem como a

atitude inovadora que a comunidade tem demonstrado na procura de novas formas de produção de electricidade.

2.1. A União Europeia e a Energia (e algumas considerações acerca de Portugal)

Relativamente às questões energéticas, são diversos os desafios que a UE enfrenta: entre outros, a luta contra as alterações climáticas; a garantia de segurança no aprovisionamento energético; o investimento na investigação e no desenvolvimento em matéria de eficiência energética, de energias renováveis e de novas tecnologias, especialmente de tecnologias de baixos níveis de emissão de carbono.

As alterações climáticas são mesmo uma enorme ameaça, não só para a UE, bem como para o resto do planeta, pois fazem, por exemplo, com que o nível das águas do mar esteja a aumentar, se tornem insuficientes os recursos de água doce e que aconteçam fenómenos meteorológicos extremos, e todos os prejuízos materiais e económicos que daí possam advir.

Algumas actividades humanas, tais como a utilização de combustíveis fósseis e a destruição das florestas para obter terras agrícolas/ aráveis, têm vindo a aumentar os níveis de dióxido de carbono e de outros gases que retêm o calor na atmosfera. A acumulação destes gases potencia o efeito de estufa¹ natural, tornando a Terra mais quente e alterando o clima (sendo os combustíveis fósseis as principais fontes de emissão de gases nocivos).

Embora a actividade económica da UE tenha crescido entre 1990 e 2006, as emissões globais dos 27 países membros diminuíram em cerca de 10,8%, demonstrando que a comunidade tem conseguido dissociar o crescimento económico das emissões de

¹ A atmosfera contém vapor de água, dióxido de carbono e outros gases naturais que permitem que a luz do sol chegue à Terra, mas absorvem o calor irradiado pela superfície terrestre. É este processo natural, designado por efeito de estufa, que mantém a temperatura do planeta a um nível que permite a existência de vida.

gases com efeito de estufa (*in Combater as alterações climáticas: a UE assume a liderança*, texto da Comissão Europeia (CE)).

O *Livro Verde – Estratégia Europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura*, e tendo em conta o contexto em que a UE se encontra, traçou o seguinte cenário energético para a Europa:

- Existe uma necessidade urgente de investimento (para dar resposta à procura energética e ao envelhecimento de infra-estruturas existentes);
- A nossa dependência das importações está a aumentar (50% das necessidades energéticas da UE, 70% daqui a 20/30 anos);
- As reservas estão concentradas num pequeno número de países (por exemplo, o gás, da Rússia, Noruega e Argélia);
- A necessidade de desenvolver na União mercados energéticos plenamente competitivos;
- E em termos gerais, a volatilidade dos preços do gás e do petróleo, e a própria ameaça que representa o aquecimento global;

A Comunidade deverá mesmo actuar com urgência: são precisos muitos anos para pôr em marcha a inovação no sector energético. Deve também continuar a promover a diversidade – em termos de fontes de energia, de países de origem e de países de trânsito – criando também condições para o crescimento, o emprego, o aumento da segurança e a melhoria do ambiente.

Acordado em 1997, o Protocolo de Quioto estabeleceu para o conjunto dos países desenvolvidos o objectivo de reduzir, em média, as emissões de gases com efeito de estufa em 5,2% entre 1990 e 2012. Os países membros da UE naquela altura (15) quiseram ir mais longe e comprometeram-se colectivamente a reduzir as suas emissões em 8%.

Para além de que a UE tem, desde 2005, um mecanismo de Comercio Europeu de Licenças de Emissão, o principal impulsionador da rápida expansão do comércio de

carbono em todo o mundo (abrange cerca de 11.600 instalações nos sectores energético e industrial, responsáveis por cerca de metade das emissões de CO₂ da UE).

Energeticamente, os combustíveis fósseis – petróleo, gás natural e carvão – representam ainda 80% do consumo de energia na UE. Uma proporção considerável e cada vez maior destes combustíveis é importada do exterior da UE. A dependência em relação às importações de gás e de petróleo, que corresponde actualmente a 50%, poderá ascender a 70% até 2030. A UE tornar-se-á, portanto, mais vulnerável a rupturas de aprovisionamento ou subidas de preços provocadas por crises internacionais.

Como tal, está atenta à necessidade de diversificar o seu *mix* energético, interessando-se pelo maior número de fontes de energia, sejam elas de origem fóssil (carvão, gás e petróleo), nuclear ou renovável (solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica ou das marés).

As necessidades europeias de energia primária (segundo o Eurostat, o Consumo Interno Bruto (CIB), incluem tanto o de consumidores finais (particulares/ empresas), como também de indústrias que convertem a energia em electricidade, perdas na distribuição, auto-consumo de centrais energéticas fornecedoras), prevêem-se que cresçam 0,41% por ano, até 2030, sendo esta taxa de crescimento inferior à taxa de crescimento esperada para o PIB.

A intensidade energética (CIB/Produto Interno Bruto, PIB) apresentará, então, uma tendência decrescente (prevê-se um decréscimo de 1,7% ao ano, até 2030).

Os gráficos de seguida mostram como estava distribuído o CIB em 2005 (Figura 1), e a sua previsão para 2030 (Figura 2):

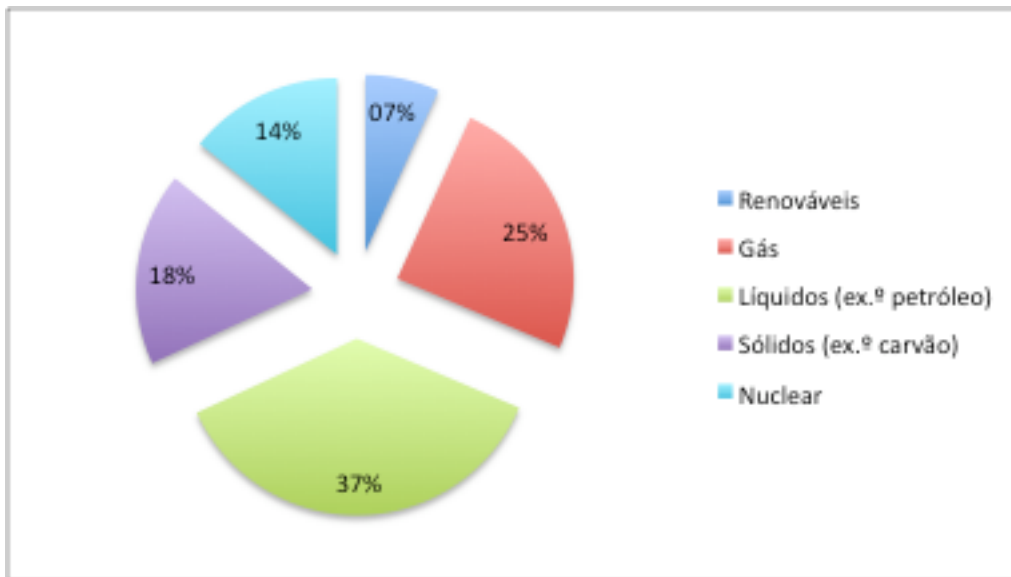


Figura 1: Consumo Interno Bruto (CIB) na UE em 2005. (Fonte: *European Energy and Transport – Trends to 2030*).

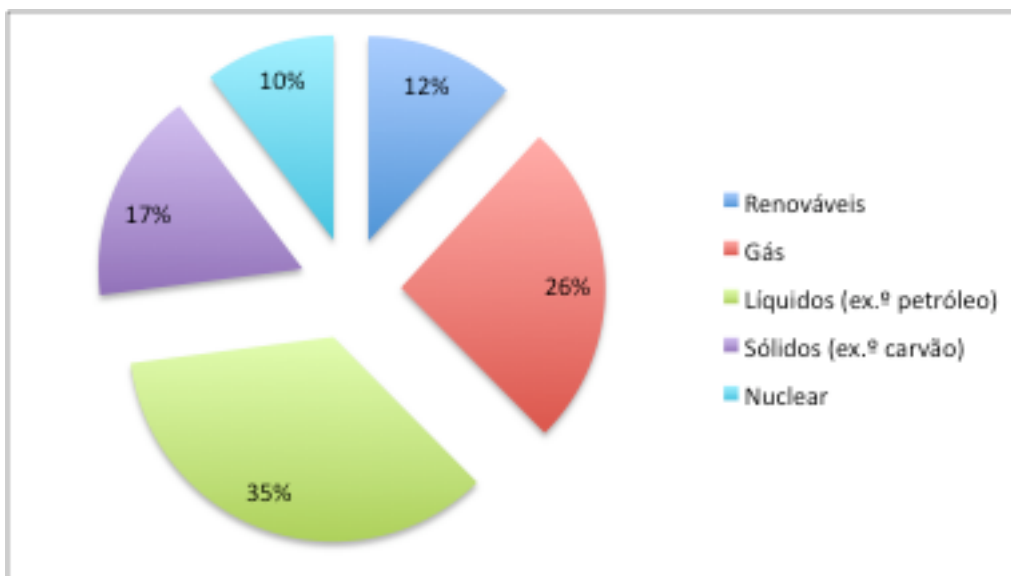


Figura 2: Consumo Interno Bruto (CIB) na UE, previsão para 2030. (Fonte: *European Energy and Transport – Trends to 2030*).

Pela leitura dos gráficos anteriores denotamos que o consumo de electricidade proporcionada pelas energias Renováveis irá quase duplicar, sendo que nas restantes fontes de energia apresentadas, os níveis de consumo irão conhecer pequenas variações,

distinguindo apenas a tendência de crescimento no Gás, e a de decréscimo nos combustíveis líquidos, sólidos e Nuclear.

Prevê-se igualmente que o custo da energia cresça 1,85% ao ano, entre 2005 (1.080 milhões EUR, 9,87% do PIB) e 2030 (1.709 milhões EUR, 9,15% do PIB), devido em parte do aumento do preço do gás natural e da usual incerteza nos mercados internacionais de crude, de onde tendencialmente se esperam igualmente subidas de preços.

Em Portugal (e segundo um estudo conjunto Deloitte e APREN, 2009), as energias Renováveis asseguram já 45% do total da electricidade produzida, e 38% do total da electricidade internamente consumida, reflectindo-se em termos macroeconómicos e sociais, directamente no PIB (em 2008 as Renováveis foram responsáveis por 1,3% do PIB (espera-se que atinja os 2,4% em 2015), cerca de 2.090 Milhões EUR, distribuídos da seguinte forma: Hídrica, 57%; Eólica, 31%; Biomassa e Biogás, 9%; Outras, 4%); na criação de emprego (directamente, em 2008, 2.400 postos de trabalho, e indirectamente, 33.700); e na redução da dependência energética (evitou-se, em 2008, a importação de cerca de 21.000 GWh, representando uma poupança de 1.270 Milhões EUR na balança comercial nacional).

Em 2008, Portugal tinha uma capacidade instalada (de energias Renováveis) de 8.300 MW, dos quais foram produzidos 20.900 GWh a partir das seguintes tecnologias: Hídrica, 62%; Eólica, 27%; Outras (bioenergia, geotérmica, solar, ondas/ marés), 11%. Estima-se que, para 2015, a capacidade instalada suba para os 14.140 MW, continuando a Hídrica a ser a mais importante, apesar de se esperar um aumento significativo da contribuição da tecnologia Eólica, e prevê-se que a produção nacional passará para os 34.900 GWh.

Em termos ambientais, onde os transportes são um dos principais responsáveis pelas emissões de CO₂ (32%), sendo a produção de electricidade a partir de combustíveis fósseis responsável por 27% das emissões, esta aposta portuguesa também teve o seu impacto: em 2008, as Renováveis permitiram evitar a emissão de 9 Milhões de toneladas de CO₂, o que equivale a uma poupança de 198 Milhões EUR, em conformidade com o custo de emissão de cada tonelada de CO₂ (em 2008, o custo de emissão por tonelada de CO₂ atingiu os EUR 22/ ton).

A Fusão Inercial no futuro mix energético Português?

No entanto, em 2005, e segundo o artigo *European renewable energy policy at crossroads – Focus on electricity support mechanisms*, Fouquet, Doerte e Johansson, Thomas (Energy Policy, 2008), Portugal detinha cerca de 15% de energia consumida a partir de fontes de energia renováveis (a meta para 2010 é 40%), o que é uma situação singular, visto que em 1990, esta quota percentual era bem mais elevada, de 35%. A explicação para esta situação poderá residir no facto de o consumo de energia em Portugal ter apresentado uma evolução crescente, não tendo as energias renováveis acompanhado proporcionalmente esse mesmo crescimento, compensando o país as suas necessidades energéticas através da importação de mais energia, e consumo de mais energia proveniente dos combustíveis fósseis (comentário efectuado tendo como base quadros, gráficos e comentários do Prof. Mira Amaral, na sua apresentação de 21.04.2008).

Quanto ao sistema electroprodutor português, o quadro seguinte (Tabela 1) mostra-nos a relação entre os consumos de electricidade, a percentagem dessa que foi importada e qual a sua proveniência (renováveis ou fósseis). São de destacar as seguintes apreciações: em 10 anos (1997 – 2007), a quota das energias renováveis estranhamente caiu 10 pontos percentuais, bem como se denota uma certa tendência de aumento da quantidade de electricidade importada:

ANOS	CONSUMO Electricidade (GWh)	IMPORTAÇÕES %	RENOVÁVEIS %	FÓSSEIS %
1997	35,6	8,9%	40,1%	51,0%
1998	37,6	0,8%	38,4%	60,8%
1999	40,4	-2,3%	21,3%	81,0%
2000	42,6	2,4%	30,6%	66,0%
2001	44,6	0,6%	35,4%	60,0%
2002	45,6	4,5%	21,8%	73,7%
2003	47,7	6,3%	37,3%	56,4%
2004	49,5	14,2%	25,2%	60,6%
2005	51,2	14,5%	16,8%	68,7%
2006	52,2	11,2%	30,6%	58,2%
2007	52,8	14,1%	30,7%	55,2%
2008	-	18,6%	25,3%	56,1%

Tabela 1: O Sistema Electroprodutor Português. (Fonte: Amaral, 2008).

O saldo importador de produtos energéticos cifrou-se, em 2009, em 4.960 Milhões EUR, uma queda para quase metade, se tivermos em conta os 8.264 Milhões EUR de 2008. Esta tendência, ficou a dever-se em grande parte à redução dos preços de importação (uma grande quebra do preço do Brent de 32,6% face a 2008). O peso nas importações dos produtos energéticos na balança de mercadorias foi, em 2008, de

17,6%, e em 2009, de 13,4% (dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), 2010).

As importações energéticas portuguesas, e ainda de acordo com a mesma fonte, estruturam-se da seguinte forma (dados de 2009):

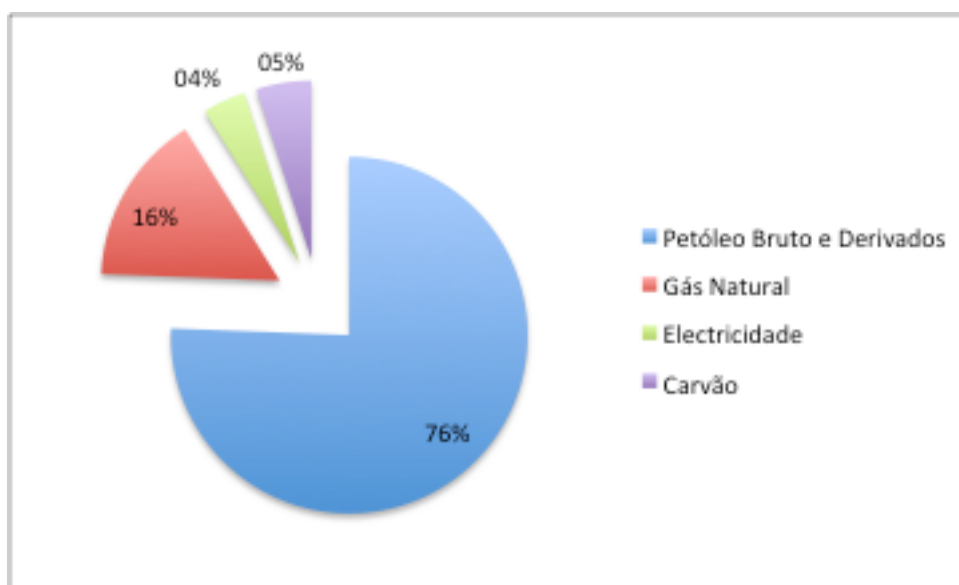


Figura 3: Estrutura da importação de produtos energéticos em 2009. (Fonte: DGEG, 2010).

Complementarmente ao gráfico anterior, a tabela seguinte mostra-nos o peso da energia na Balança de Mercadorias nacional (FOB-2009), cujo saldo, importador, entre 2007 e 2009, tem conhecido oscilações, sendo de destacar uma quebra acentuada no último ano referido:

	IMPORTAÇÃO			EXPORTAÇÃO			SALDO		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
Energia (total)	8.018	10.290	6.405	1.558	2.026	1.444	6.460	8.264	4.960
	14,8%	17,6%	13,4%	4,1%	5,3%	4,6%	38,4%	40,6%	29,8%
Tot.Mercadorias (FOB)	54.351	58.318	47.736	37.544	37.961	31.085	16.807	20.357	16.651

Tabela 2: Peso da Energia na Balança de Mercadorias Portuguesa, FOB 2009. (Fonte: DGEG, 2010).

Relativamente às emissões de gases nocivos, e no âmbito do Protocolo de Quioto, Portugal tem como meta para 2012 emitir, no limite, 77 milhões de toneladas de

CO2. Em 2008, emitíamos 80 milhões de toneladas de CO2 (segundo o estudo Deloitte e APREN, já referido anteriormente).

Ainda quanto às emissões de gases nocivos, e como curiosidade, o Financial Times (Amaral, 2008) indicou numa das suas publicações as emissões de dióxido de carbono por cada unidade de energia produzida (CO2/kg/MWh) para algumas fontes de energia que usualmente compõem o mix energético: Nuclear, 15; HidroElectricidade, 5 a 20; Eólica, 10 a 30; Biomassa, 30; Solar, 100; Gás Natural, 400 a 440; Carvão, 750 a 800. Será de destacar o facto do Nuclear ser uma das menos poluentes, e o facto da energia Solar mostrar índices de emissão de gases relativamente elevados.

Em termos mundiais, os cenários energéticos no longo prazo têm de ter em conta o crescimento populacional, que se espera que cresça de 6 Mil Milhões de pessoas em 1999, para aproximadamente 8 Mil Milhões em 2025, prevendo-se que atinja as 11 Mil Milhões de pessoas em 2050; as limitações ao nível da existência de combustíveis fósseis (cuja utilização atingirá o seu pico no decorrer da primeira metade do presente século); e o crescimento económico previsto e o consequente acréscimo na de energia (Borreli, 2001).

O documento *European Energy and Transport – Trends to 2030*, traça o cenário energético da UE-27 para 2030:

	CENÁRIO ENERGÉTICO PARA 2030, UE-27 (ktoe)					
	1990	2000	2010	2020	2030	2010/2030
Produção Primária	933.011	937.567	833.813	724.758	690.691	-17%
Importações	748.677	818.875	1.073.937	1.301.127	1.375.782	28%
Cons.Interno Bruto	1.649.991	1.711.954	1.854.101	1.967.569	2.004.713	8%
Geração Electricidade (GWh)	2.562.717	2.992.030	3.568.320	4.078.237	4.408.034	24%
Procura Final de Energia	1.070.684	1.112.182	1.237.040	1.347.807	1.405.680	14%
Emissões de CO2 (Mt)	4.046,9	3.820,8	3.996,6	4.252,5	4.263,7	7%
Índice de emissões (1990 - 100)	100,0	94,4	98,8	105,1	105,4	7%

Tabela 3: Cenário energético para 2030, UE-27. (Fonte: *European Energy and Transport – Trends to 2030, European Commission*).

Podemos concluir que, entre 2010 e 2030, a tendência será de aumento para todos os itens referidos na quadro anterior, exceptuando a produção de energia primária. Será de destacar o acréscimo de 28% esperado para as importações, numa altura em que é admitido estrategicamente que a UE deverá definir acções, entre outras, para diminuir

a dependência energética, aumentando a segurança no aprovisionamento e protecção perante oscilações dos preços nos mercados internacionais.

2.2. Resenha documental histórica e actual

No que diz respeito a Tratados da UE, são de referência obrigatória os que instituíram a Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA, 1951) e a Comunidade Europeia da Energia Atómica (Euratom, 1957), fazendo estes parte dos alicerces do projecto Europeu.

Os fundadores da UE previram acertadamente que a futura prosperidade da Europa iria depender da sua capacidade de se manter na liderança do progresso tecnológico a nível mundial. Perceberam as vantagens da investigação europeia conjunta. Por isso, paralelamente à Comunidade Económica Europeia (CEE), foi criada, tal como referido anteriormente, a Euratom. O seu objectivo era permitir que os Estados Membros explorassem em conjunto a energia nuclear para fins pacíficos.

A apresentação de uma política comum para a energia, em 2007, voltou a atribuir à energia um papel central na acção europeia.

Depois de ter sido lançada a iniciativa do mercado único (COM(85) 310, 1985), a directiva 96/92/EC deu início ao mercado interno de electricidade.

As energias renováveis na UE entraram em movimento com o Livro Branco sobre a Energia, em 1995, tendo o documento *Energy for the future: Renewable Sources of Energy – White paper for a Community Strategy and Action Plan*, definido metas mais concretas, e a directiva 2001/77/EC estabelecido, pela primeira vez, metas para cada um dos EM até 2010.

A UE tem marcado a sua política energética através da emissão de vários outros documentos, tais como o regulamento do PE e do Conselho n.º 663/2009 (*European Energy Programme for Recovery*, que integrou o *Plano de Recuperação Económica da UE*, a seguir à crise de 2008), que veio estabelecer financiamentos para o

desenvolvimento, segurança, fiabilidade de sistemas de gás e outras infra-estruturas, energia eólica em mar alto e sistemas de captura e armazenamento de dióxido de carbono (neste caso em específico, serão financiados os sistemas que sejam capazes de reter cerca de 80% dos gases emitidos por instalações industriais).

O próprio Tratado de Lisboa² procurará ajudar a Europa a garantir o abastecimento energético e a promover a utilização de recursos sustentáveis e competitivos, proporcionando respostas à necessidade de incrementar a segurança no abastecimento energético, protegendo os europeus, por exemplo, da volatilidade dos preços.

O referido Tratado contém um capítulo específico sobre a energia que define as competências principais e os objectivos gerais da política energética: o funcionamento dos mercados energéticos, a segurança do abastecimento, a eficiência e a poupança energéticas, o desenvolvimento de novas formas de energia renovável e a interconexão das redes energéticas. Pela primeira vez, está consagrado o princípio de solidariedade, de acordo com o qual, se um país enfrentar graves dificuldades de abastecimento energético, deverá ser ajudado por outros EM.

A UE reconheceu também que uma política energética eficiente depende de questões como a segurança (relativo ao qual foi também publicado o documento 2006/67/ EC, impondo aos EM níveis mínimos de stocks de combustível, o equivalente a 90 dias de consumo médio) e solidariedade entre os EM, através do documento COM (2008) 781 – *Second Strategic Energy Review: an EU Energy Security and Solidarity Action Plan*, tendo definido como principais objectivos diminuir o consumo de electricidade em 15% e diminuir as importações em cerca de 26%, até 2020, alimentando também a esperança de que as energias renováveis substituam por completo as fósseis em 2050. Algumas áreas de intervenção: ao nível da modernização das infra-estruturas, diversificação dos parceiros/ fornecedores internacionais, eficiência energética (edifícios, automóveis, co-geração, etc...), promoção de fontes energéticas alternativas (a UE produz 46% da energia que consome, sendo que 9% desta grandeza advém das energias renováveis. Pretende-se que esta participação das renováveis no consumo de electricidade ascenda aos 20% em 2020).

² A 13 de Dezembro de 2007, os dirigentes da UE assinaram o Tratado de Lisboa, que alterou, sem os substituir, os tratados da União Europeia e da Comunidade Europeia, dotando a União do quadro jurídico e dos instrumentos necessários para fazer face a desafios futuros e responder às expectativas dos cidadãos.

O documento COM (2007) 1 – *Uma Política Energética para a Europa*, e com o propósito de ir transformando a economia europeia numa economia de baixo consumo de uma energia mais segura, competitiva e sustentável, faz referência à necessidade de existir um mercado interno de energia (proporcionar aos consumidores hipóteses de escolha, preços concorrenciais, separando as actividades de produção e distribuição, das actividades de gestão, incentivando ao aparecimento de novos actores no mercado; harmonizando regulamentações técnicas entre países, de forma a facilitar as trocas transfronteiriças), de haver segurança num abastecimento estratégico, de reduzir de forma efectiva as emissões de gases nocivos (o consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa na UE. Como tal, compromete-se a reduzi-las em 20% até 2020) e de haver uma Europa a falar a uma só voz (poder negocial, inovadora, etc...).

A comunicação COM (2007) 2 – *Limitação das alterações climáticas globais a 2.º graus célsius – Trajectória até 2020 e para além desta data*, preconiza uma série de medidas que vão de encontro deste objectivo principal, entre outras medidas energéticas: aumento da eficiência energética da UE de 20% até 2020; aumento para 20% da quota das energias renováveis até 2020 e adopção de uma política ambientalmente inócua de captura e armazenagem geológica de carbono.

A Directiva 2003/87/CE (e os demais actos modificativos) é relativa ao regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa, e tem em vista a sua redução na Comunidade de modo economicamente eficiente, em conformidade com os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto (compromete os EM a reduzirem em 8% as emissões de gases com efeito estufa entre 2008 e 2012, relativamente a 1990). A mesma obriga algumas instalações que desenvolvam certo tipo de actividades a possuírem estas licenças, emitidas anualmente (distribuídas gratuitamente pelos EM, os quais procedem à sua venda por leilão), e com tendência a diminuir a partir de 2013.

A UE tem assumido um papel preponderante no tornar da resolução da problemática energética num compromisso internacional, sendo disso exemplo a Decisão 98/181/CE, que conclui o Tratado da Carta da Energia, que cria um quadro de cooperação internacional entre os países da Europa e outros países industrializados, com o objectivo de desenvolver o potencial energético dos países da Europa Central e

Oriental e garantir a segurança do abastecimento de energia da UE; e o Protocolo da Carta de Energia (assinados em Lisboa em 1994, por 49 países. Os EUA e o Canadá ficaram de fora), relativo à eficiência energética e aos aspectos ambientais associados, promovendo políticas de eficiência energética compatíveis com o desenvolvimento sustentável, uma utilização mais eficaz da energia e o incentivo à cooperação no domínio da eficiência energética.

A Decisão 406/2009/EC debruçou-se sobre o esforço necessário entre os EM na diminuição da emissão dos gases de efeito estufa, definindo a contribuição de cada um dos EM.

2.3. A União Europeia e alguns Mecanismos de Política Energética

As bases de uma política energética europeia (acompanhada de compromissos, objectivos e procedimentos) são em matéria de alterações climáticas, um compromisso independente da União de reduzir os gases com efeito de estufa em pelo menos 20% até 2020 (comparativamente a 1990), bem como um compromisso de aumentar essa redução para 30%, caso outros países industrializados se comprometam a realizar reduções de emissões da mesma ordem; no que respeita ao mercado interno do gás e da electricidade, a necessidade de assegurar uma efectiva dissociação das actividades de aprovisionamento e de produção, por um lado, e da gestão de redes, por outro; quanto às energias renováveis, o objectivo vinculativo de 20% (energia consumida a partir de fontes renováveis) até 2020, com uma percentagem mínima de 10% de biocombustíveis no total do consumo de gasolina e gasóleo na UE.

A política energética europeia procura então, em traços gerais, cumprir com três grandes objectivos:

- **Sustentabilidade:** desenvolvimento de fontes de energia renováveis competitivas e outras fontes de energia com baixa produção de carbono. Ter noção de que nem todos os países possuem características naturais que permitam a produção de energia a partir de instrumentos como os

painéis solares, ondas, vento. Para além de que a preocupação não poderá ser apenas o aumentar as fontes alternativas de energia, mas também diminuir as emissões de carbono (alterar hábitos sociais/ industriais de consumo);

- Competitividade: abertura do mercado energético; atenuar o impacto do aumento dos preços internacionais; manter-se na vanguarda tecnológica;
- Segurança no aprovisionamento: um dos principais factores que fragilizam a posição da UE relativamente a este ponto, reside no facto de 25% do gás que consumimos (e com tendência a aumentar) ser fornecido pela Rússia. Há que procurar desenvolver/ apostar em novos gasodutos (como o Nabucco, que transportará gás do mar Cáspio, através da Turquia), enfraquecendo o controlo Russo do gás do Leste, e endurecer a posição negocial perante estes, o que, tendo em conta os milhões de possíveis consumidores que a UE detém, representa, por si só, um forte argumento de negociação.

Melhorar a segurança no abastecimento de energia, reduzir as emissões de CO₂ e aumentar a competitividade das economias europeias são os grandes objectivos da Comunidade (objectivo 20-20-20, 20% da energia consumida proveniente de fontes renováveis, diminuir em 20% o uso de energia (maior eficiência) e reduzir as emissões em 20%, até 2020, comparativamente a 1990 (Fouquet, 2008)).

Foram definidos 2 mecanismos políticos de suporte aplicados aos 27 EM (Fouquet, 2008), o FIT (*Feed-In Tariff*, usado, por exemplo, na Dinamarca, Alemanha, Espanha e Portugal), e o TGC (*Tradable Green Certificate*, adoptado, por exemplo, na Bélgica, Itália, Polónia, Roménia, Suécia e Reino Unido).

A FIT é uma política que procura promover e encorajar a adopção das fontes energéticas renováveis, garantindo e facilitando o acesso à rede energética, proporcionando contratos de abastecimento de electricidade de longo prazo, e preços de electricidade metodologicamente baseados no custo de geração das energias renováveis, incentivando a paridade perante as outras formas de produção de electricidade. É desta forma incentivado o investimento em diferentes tecnologias de produção renovável de electricidade, com retorno razoável garantido.

Ao abrigo desta política, as redes de distribuição de electricidade regionais/nacionais, são obrigadas a comprar a electricidade que é produzida através das fontes renováveis.

O TGC é, *grosso modo*, um certificado transaccionável que prova que determinada electricidade é gerada a partir de alguma fonte de energia renovável (tipicamente, um certificado equivale a 1 MWh de electricidade. O mesmo não pode ser transaccionado entre países europeus).

Uma das principais razões para a intenção da UE em aumentar a quota das energias renováveis foi a integração do princípio poluidor – pagador em todas as suas políticas, em especial a energética. Outra razão é o facto de algumas formas de energia serem discriminadas no mercado, não recebendo apoios/ subsídios, que por exemplo os combustíveis fósseis recebem anualmente do Banco Mundial (BM) e da *International Energy Agency* (IEA) (100 a 200 mil milhões de dólares, para além de outros tipos de subsídios públicos, directos e indirectos), provoca uma distorção no mercado, fazendo com que seja mais difícil atingir níveis comercialmente competitivos.

2.4. A União Europeia e a Inovação

São vários os domínios políticos em que a UE actua – económico, social, regulamentar e financeiro – sendo a sua acção claramente benéfica para os EM, nos quais se incluem as políticas de inovação, que introduzem as tecnologias mais avançadas em áreas como a protecção do ambiente, a Investigação e o Desenvolvimento (I&D) e a energia, dispondo de um orçamento anual de mais de 120 mil milhões de euros, financiado em grande medida pelos EM, o que representa uma pequena parte da sua riqueza colectiva³.

³ Um máximo de 1,24% do Rendimento Nacional Bruto do conjunto dos Estados Membros. Esses recursos são obtidos através de direitos aduaneiros cobrados sobre os produtos importados do exterior; de uma percentagem do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA) cobrado sobre bens e serviços no conjunto da UE; e de contribuições dos Estados Membros, consoante a respectiva riqueza.

A aceleração da inovação, levou a investigação europeia a promover a diversificação, pondo a trabalhar em conjunto a mais ampla variedade possível de cientistas e investigadores. A UE teve de encontrar novas formas de financiar este trabalho e de multiplicar as suas novas aplicações industriais.

O principal mecanismo de financiamento da investigação da UE é constituído por programas quadro. O 7.º Programa Quadro de investigação e de desenvolvimento tecnológico abrange o período de 2007-2013. O orçamento, de mais de 50 mil milhões de euros, consagra áreas como a saúde, a alimentação e a agricultura, as tecnologias da informação e da comunicação, as nanociências, a energia, o ambiente, os transportes, a segurança, o espaço e as ciências socioeconómicas. Programas complementares promovem ideias, pessoas e capacidades, através de um trabalho de investigação nas fronteiras do conhecimento, do apoio aos investigadores e ao desenvolvimento das suas carreiras, bem como à cooperação internacional.

O Tratado de Lisboa (2009) coloca também, no centro da sua política de investigação, a criação de um Espaço Europeu da Investigação no qual os investigadores, os conhecimentos científicos e as tecnologias circulem livremente, sendo o próprio 7.º Programa Quadro um incentivo também para que os investimentos nacionais em I&D atinjam o objectivo de 3% do respectivo PIB.

A UE pretende então, para além do seu desenvolvimento sustentável, ser uma economia competitiva, registando um crescimento elevado e sustentado da produtividade.

Visto que a Estratégia de Lisboa (2000) estabeleceu o objectivo de transformar a Europa na economia do conhecimento mais competitiva e mais dinâmica do mundo, a competitividade passou a ser uma das prioridades políticas da UE. Uma indústria europeia competitiva é, de facto, indispensável para alcançar os objectivos comunitários, sejam eles económicos, sociais ou ambientais, garantindo, assim, uma melhoria da qualidade de vida dos cidadãos europeus. Os esforços de competitividade da União pretendem igualmente adaptar a economia europeia às mudanças estruturais, à deslocalização de actividades industriais para países emergentes, à reafecção de postos de trabalho e recursos para novos sectores industriais e ao risco de um processo de desindustrialização.

A competitividade da União é determinada pelo crescimento da produtividade e depende, assim, dos desempenhos e do futuro da indústria europeia, nomeadamente da sua capacidade para efectuar ajustamentos industriais. Se a União pretende ser competitiva, é indispensável que se torne mais eficaz em termos de investigação, inovação, tecnologias da informação e da comunicação, empreendedorismo, concorrência, educação e formação.

No centro da Estratégia de Lisboa, que se destina também a reforçar o emprego e o crescimento na Europa, a política de investigação e desenvolvimento constitui uma das prioridades da UE. Em conjunto com a educação e inovação, a investigação forma o “triângulo do conhecimento” que deve permitir à Europa preservar o seu dinamismo económico e o seu modelo social.

Além disso, a criação de um Instituto Europeu de Tecnologia (2009), deverá permitir à excelência europeia assumir a sua plena dimensão.

De forma a tornar-se, então, na sociedade baseada no conhecimento mais avançada do mundo, convém à UE criar também um ambiente social e cultural conducente a um bem sucedido trabalho de investigação e descoberta.

Como tal, as preocupações sociais e as necessidades da sociedade têm de ser tidas também em linha de conta, através de uma discussão democrática com um público cada vez mais bem informado e criação de melhores condições para a tomada de decisões públicas de interesse comum nas questões científicas.

Esta questão é particularmente importante nas questões relacionadas com a energia, visto o seu impacto diário na vida dos europeus.

3. A Tecnologia de Fusão

Uma política energética responsável deveria procurar: otimizar a utilização de tecnologias já existentes, de forma a diminuir o seu impacto ambiental (redução da emissão de gases, aumento da eficiência na produção e consumo); desenvolver e implementar novas tecnologias, em direcção a um diferente sistema de fornecimento de energia eléctrica (Cook, 2002).

São vários os motivos de preocupação ligados à energia: a ameaça das alterações climáticas; a crise financeira (2008/2009), que muitos associaram à volatilidade do preço do petróleo, acentuou o receio de que o preço elevado da energia possa afectar o crescimento económico; ameaças à segurança energética, por exemplo, como os cortes de abastecimento de gás na Ucrânia, assaltos a petroleiros na costa da Somália, bombardeamentos na Nigéria, ciclones que destruíram plataformas no Golfo do México; e a necessidade de atender a uma procura de energia crescente (IEA, 2010).

É necessária uma revolução tecnológica: investimentos em energias renováveis, melhoramentos ao nível de eficiência energética, investimentos em I&D, utilização de motorizações híbridas e eléctricas na indústria automóvel, etc...

3.1. Uma nova tecnologia – Inovação e Decisão

Os critérios que servirão de base para decidir quais as tecnologias a desenvolver e implementar no séc. XXI não são fáceis de determinar, apesar de poderem ser considerados os seguintes: competitividade comercial, impacto ambiental, características de segurança, eliminação de resíduos, necessidades ao nível de área de terreno, segurança no fornecimento de combustível, aceitação pública/ social, etc... (Hender, 1996)

O verdadeiro desafio para as fontes de energia alternativas é torná-las mais baratas e viáveis, de forma a convencer os países em desenvolvimento (ou outros, principalmente aqueles que possuem grandes reservas de combustíveis fósseis), a não fazerem uso das suas reservas (Muller, 2008).

O custo das novas tecnologias só poderá ser reduzido tornando as tecnologias economicamente acessíveis, graças aos avanços tecnológicos provenientes da investigação, desenvolvimento, da demonstração e da disseminação (IEA, 2010).

A capacidade de definição de prioridades pelos responsáveis pela implementação das políticas públicas (Watson, 2008) deverá ter como critérios a relação

entre os custos e os riscos inerentes ao investimento, o grau/ estágio de desenvolvimento das diferentes tecnologias, a diversidade existente ao nível de tecnologias já existentes e o papel de outras políticas públicas nas questões energéticas (por exemplo, as relacionadas com a indústria).

A inovação (que comporta a I&D, prototipagem, demonstração, comercialização) na política energética pode revelar-se ineficiente, tendo em conta as barreiras que podem enfrentar (necessidade de capital intensivo e de longa duração, regras legais, regulamentos, próprio mercado, a panóplia de instituições envolvidas, etc...).

Uma das etapas do processo de inovação negligenciadas pela política pública é aquela que medeia a demonstração e a implantação comercial, conhecida como o “*valley of death*”. Este questão foi justificada pelo facto dos custos serem bastante elevados no desenvolvimento de novos produtos, representando *cash flows* negativos para a empresa que coloca no mercado esses novos produtos. O referido “*valley of death*” poderia ser solucionado com o diminuir do apoio às tecnologias que estejam muito próximas de integrar o mercado (ao ponto de se tornarem comercializáveis).

Nas fases de I&D e demonstração, os Governos usam empréstimos, subvenções, benefícios fiscais. No entanto, este tipo de apoio talvez não seja o mais indicado para as fases seguintes, nas quais deveriam existir incentivos à performance (que existiriam como complementares aos referidos anteriormente, ou até mesmo substituindo-os).

Ganhar-se-ia com o combinar do interesse comercial por determinada tecnologia, com a maximização da eficiência, fiabilidade e *output*. Se o incentivo fosse explicitamente desenhado para minimizar as emissões de carbono, poderia também ajudar a reforçar os fracos sinais do preço do carbono que têm sido estabelecidos até agora.

O mercado liberalizado da energia faz com que, tendencialmente, sejam escolhidas as tecnologias com melhor relação custo/ benefício (o próprio mercado tratará de incentivar as melhores tecnologias).

No entanto, o Governo não poderá alhear-se desta questão (apesar de operarem na incerteza, dado que a informação (quantidade/ qualidade) muitas das vezes é limitada, na altura de melhor suportarem as suas decisões), nem que seja até para evitar que más

tecnologias ganhem terreno, incentivando de alguma forma o desenvolvimento das melhores, beneficiando-as fiscalmente, por exemplo.

O perfil de risco das diferentes tecnologias depende muito de estas terem comprovadas, ou não, a sua comercialização (e a própria percepção e entendimento da tecnologia em causa).

Os Governos deverão levar a cabo acções destinadas a eliminar obstáculos à entrada e ao crescimento de novas empresas, que questionarão os modelos de negocio já existentes. Estes têm à sua disposição outros instrumentos destinados a estimular os mercados em direcção às novas tecnologias energéticas, como regulamentações, isenções de impostos, subsídios, campanhas de informação, etc... (IEA, 2010).

Financiamentos públicos em I&D⁴ e demonstração devem ser 2 a 5 vezes superiores aos actuais, de forma a atingir-se uma redução de 50% nas emissões de carbono.

Existem, claramente, ainda outras razões para que sejam envidados esforços para o desenvolvimento de novas tecnologias, tais como o aumento do preço do petróleo e a crescente instabilidade geopolítica nas regiões produtoras de combustíveis de origem fóssil.

O sistema energético a escolher (ou melhor, o *mix* de tecnologias) entre as diversas alternativas dependerá, em grande parte das características onde este ficará localizado. Todos têm os seus atributos, estando listados de seguida alguns para os principais sistemas (Schmidt, 2002):

- Fissão (Nuclear) – merecem atenção por parte do seu desenvolvimento tecnológico as questões de segurança, resíduos, proliferação e compreensão e aceitação social e política. Como resultado, poderá conhecer bastante sucesso no futuro. Mas será benéfico se a tecnologia de Fusão for desenvolvida em paralelo, porque o risco de proliferação na Fissão poderá ser um obstáculo ao seu desenvolvimento;

⁴ O Governo Alemão emitiu um documento onde estava inscrito: o financiamento da investigação ajudará as empresas alemãs a assegurar posições de topo nos mercados de energia renovável, de rápido crescimento, e como tal, criando também emprego. É também estratégico serem pioneiros no desenvolvimento de tecnologias replicáveis posteriormente no estrangeiro (Watson, 2008).

- Eólica – o seu desenvolvimento irá, mais cedo ou mais tarde, ser afectado pelas limitações de espaço para progressão (limitações geográficas), para além de que o seu combustível (vento) não é constante. Esta questão poderia ser resolvida se se criassem sistemas de armazenamento da energia produzida, o que tecnicamente não será tarefa fácil, para além de que o seu custo iria pôr em causa a sua competitividade;
- Solar – depende das condições climáticas, factor importante para que no futuro sejam criadas condições para a existência de economias de escala. Poderá haver a necessidade também de desenvolver sistemas de armazenamento para fornecimento energético, por exemplo, durante os meses chuvosos, o que irá encarecer o preço da electricidade produzida;
- CAC – o sequestro de dióxido de carbono durante o processo de produção de electricidade a partir de fontes de combustível fóssil, e o seu armazenamento de forma a que este não atinja a atmosfera (injectando no solo, preferencialmente, em reservas de petróleo/ gás. Existem projectos de demonstração na Noruega e Canadá).

3.2. A Energia Nuclear – de Fusão e de Fissão

Uma das novas tecnologias a merecer atenção por parte, não só dos decisores políticos, como também da sociedade poderá ser a Fusão, tecnologia praticamente desconhecida da maioria da população. De forma sintética, a Fusão é o processo que alimenta o sol e as estrelas. É a reacção na qual dois átomos de hidrogénio se fundem, para formar um átomo de hélio. Neste processo, uma parte dessa massa de hidrogénio é convertida em energia.

A forma mais fácil de provocar uma reacção de Fusão é combinar deutério e trítio, resultando em hélio e num neutrão. Deutério encontra-se em abundância em água comum, e o trítio pode ser produzido pela combinação de um neutrão com lítio (metal

leve e abundante). Assim, a Fusão tem potencial para ser uma fonte inesgotável de energia.

Para que a Fusão aconteça, os átomos de hidrogénio devem ser aquecidos a temperaturas muito elevadas, de tal forma que são ionizados (formando um plasma), tendo então energia suficiente para fundir.

As próprias empresas construtoras das comuns centrais nucleares, uma vez que estão mais acostumadas à tecnologia do nuclear, poderão ser estimuladas a transformar as antigas infra-estruturas em novas centrais de fusão (Dean, 1998).

A Fusão aparece como sendo uma das fontes de energia mais atractivas a longo prazo, devido à generalizada e abundante distribuição, a baixo custo, do combustível que necessita, e por causa também das suas vantagens ao nível da segurança e ambiente (Cook, 2002).

Dentro da Energia Nuclear, existe também a Fissão, sendo que esta refere-se a uma espécie de radioactividade⁵, o súbito separar de um núcleo em duas ou mais partes (espontâneo ou induzido), sendo a base fundamental para os reactores nucleares. A Fusão, fonte de energia que tenta replicar o que se passa no sol (altas temperaturas), e outras estrelas (virtualmente inesgotável), contrasta com a Fissão, na medida em que congrega/ junta as partículas (Muller, 2008).

Investiga-se a Fusão desde os anos 50, do século passado, e não tem sido tarefa fácil: um dos principais problemas, a nível técnico, reside no facto de que a maioria das técnicas que proporcionam a Fusão exigem temperaturas mais altas do que o centro do próprio sol (milhões de graus Célsius), para que o combustível arda mais rapidamente.

Para além de que o mercado, por si só, possui obstáculos que dificultam a aposta na tecnologia de Fusão (dificultam a sua competitividade) no curto/ médio prazo, tais como a existência ainda abundante de combustíveis fósseis, combinados com a possibilidade de sequestro do carbono; a diminuição dos custos de produção de energia eléctrica a partir de outras tecnologias (estando mais avançadas no seu desenvolvimento, permitem economias de escala); e a aposta nas centrais de produção de electricidade cada vez mais pequenas (Dean, 1998).

⁵ Radioactividade é a explosão do núcleo de um átomo (a explosão/ separação/ fissão desta nuvem de partículas, composta por protões e neutrões, liberta uma quantidade enorme de energia).

O referido combustível, considerado na maioria das vezes na tecnologia de Fusão, contém deutério e trítio. Quando se dá a fusão entre estes dois elementos, é libertada uma grande quantidade de energia (contendo neutrões, partículas alteradas e radiação electromagnética). Como tal a Fusão, enquanto fonte de altas temperaturas, plasmas de alta energia e partículas energéticas, poderá ser utilizada não só para produzir electricidade, mas também aproveitar a sua capacidade de criar e modificar componentes químicos, para produzir então o hidrogénio (Sheffield, 2000).

3.3. Tipos de Fusão – Confinamento Magnético e Fusão Inercial

Neste momento estão a ser investigadas e desenvolvidas duas técnicas que irão proporcionar a Fusão: Confinamento Magnético (*Magnetic Fusion Energy*, MFE) e a Fusão Inercial (*Inertial Fusion Energy*, IFE).

O Confinamento Magnético é uma das técnicas em desenvolvimento para demonstrar a Fusão, enquanto futura fonte energética comercialmente viável (equipamentos de momento e futuros: TOKAMAK, reactor de testes de Fusão, um deles existente no Instituto Superior Técnico (IST), Portugal; JET, *Joint European Torus*, o maior dispositivo europeu de Fusão, Culham (Reino Unido); ITER, projecto internacional para a construção de uma central de Fusão, tendo como base o conceito dos TOKAMAK, Cadarache, França; DEMO, o qual pretende ser o primeiro reactor de fusão a gerar electricidade, a ser construído após confirmação do sucesso da operação do ITER).

Quanto à Fusão Inercial, outra forma a partir da qual irá provar-se a fusão, é um processo onde a fusão nuclear é iniciada através do aquecimento e compressão de um alvo (de combustível), que possui usualmente a forma de uma pequena pastilha (têm tipicamente o tamanho de uma cabeça de alfinete, e contém cerca de 10 miligramas de combustível), contendo uma mistura de deutério e trítio. Para aquecer e comprimir o alvo, a energia é direccionada para a sua camada exterior através de feixes de luz laser (de alta energia), electrões ou iões. A camada exterior aquecida do alvo explode,

produzindo pressão sobre o restante alvo, acelerando-o em direcção ao seu interior, provocando ondas de choca no mesmo. Um conjunto suficiente de ondas de choque permitirá um aquecimento e compressão do centro do alvo tão grande que a reacção de fusão acaba por acontecer. A energia libertada por estas reacções irá aquecer o combustível circundante, o qual entrará também em fusão (IEA, 2010).

Possui neste momento também algumas infra-estruturas de investigação, como o NIF, *National Ignition Facility*, Livermore, EUA, e o Laser MegaJoule, França (2014). O Reino Unido (que possui já alguns lasers de apoio à investigação, como o VULCAN, HELEN e ORION) lidera um plano de cooperação internacional de cooperação para o desenvolvimento da energia de Fusão Inercial, o HIPER (*High Power Laser Energy Research*, sobre o qual será dada maior ênfase no capítulo seguinte), no qual Portugal, através do IST, tem dado a sua contribuição.

Um dos problemas da Fusão são os elevados custos iniciais, principalmente os de capital (os quais são tendencialmente baixos para centrais de combustíveis fósseis, mas que acabarão por ser contrabalançados por um custo de combustível (matéria prima) elevado, volátil), situação compensada pelos previsíveis custos variáveis baixos, estando, portanto, o seu sucesso comercial dependente, em grande parte, do custo de capital e do preço final da electricidade.

Os custos, por exemplo, com o ITER (que se esperavam ser de 4.870 Milhões de EUR), que estão a ser discutidos actualmente, atingem o montante de 15.000 Milhões de EUR (equivalente a 15 Pontes Vasco da Gama), dos quais 45% cabem à UE. Uma central de Fusão a produzir electricidade terá 1/10 do tamanho do ITER, não sendo no entanto fácil de estabelecer o quanto é que os custos diminuirão (não será em igual proporção) (Borrelli, 2001).

No entanto, os custos de capital de uma futura central de fusão são relativamente seguros de determinar. São fortemente diluídos pelo custo dos itens mais convencionais como o terreno de implantação, edifícios, instalações eléctricas, etc..., tendo isto o efeito de reduzir o impacto de possíveis incertezas no custear da energia de Fusão (para além de que os custos de Fusão são dominados por um pequeno número de itens chave, como os magnetismos e câmaras de vácuo, que também tendem a ter custos facilmente determináveis) (Borrelli, 2001).

Existem uma série de questões que permitirão melhorar as condições económicas da electricidade produzida a partir da tecnologia de Fusão: a fracção de tempo em que a central está disponível para produzir energia; a alta eficiência termodinâmica; pressão normalizada (a medida de controlo de quanta energia de Fusão pode ser produzida em determinado dispositivo); a dimensão da central (*output* de electricidade possível) e explorando ao máximo a densidade plasma que a física permitirá (Borrelli, 2001).

O que ainda não está provado/ determinado são os níveis de potência que irão ser assumidos, os níveis de eficiência e a disponibilidade da própria central (Han, 2009).

Os custos de implementação de uma central eléctrica de Fusão diminuirão tendencialmente, à medida que forem construídas mais do que uma (economia de escala das tecnologias utilizadas, produção em quantidade de materiais consumíveis necessários, etc...), para além de que os custos de uma central comercial serão mais baixos do que a construção inicial de um laser de base à investigação.

A Fusão tem inúmeras vantagens, ao nível da segurança com que esta é operacionalizada, até às questões ambientais, com zero de emissões de carbono, para além do fuel existente em abundância (Cook, 2005).

As excelentes qualidades relativas à segurança e respeito pelo ambiente, e em específico para a Fusão Magnética, têm os seus argumentos inscritos no SEAFP (*Safety and Environmental Assessment of Fusion Power*) (Hender, 1996).

Mas será necessário fazer com que o preço da electricidade por ela produzida seja razoavelmente competitivo (Han, 2009).

3.4. Custos da Tecnologia de Fusão

Ao serem analisados os custos inerentes à referida tecnologia, têm de ser tidos em linha de conta os custos internos, que não são mais do que as contribuições para o custo da electricidade vindos da construção de infra-estruturas, o abastecimento do fuel

necessário, custos operacionais e os custos relacionados com a desactivação deste tipo de central eléctrica.

Foram desenvolvidos 4 estudos, denominados por *Power Plant Conceptual Studies* (PPCS), usando diferentes modelos de custeio, os quais chegaram aos seguintes valores para os custos internos resultantes da produção de electricidade a partir da Fusão: 0,03 € a 0,09 € /kWh.

A optimização económica dependerá de restrições/ interacções entre Engenharia, Física e Tecnologia, não sendo claramente e compreensão fácil para alguém que não tenha conhecimentos nestas áreas.

Alguns cálculos efectuados (Cook, 1999) , permitiram concluir que: a eficiência económica aumenta com a parede da cápsula a resistir à carga máxima de energia (parede esta constituída pela primeira parede, rede, escudo e bobinas magnéticas); diminui quando a recirculação de energia ganha uma importância crescente na energia de fusão; a eficiência tende para zero quando toda a energia produzida é necessária para sustentar a corrente plasma; é mais benéfico em termos económicos uma máquina de fusão de dimensões maiores, porque à medida que a infra-estrutura aumenta, a energia de fusão aumenta mais rapidamente que os custos inerentes.

Há que ter em conta também os custos externos, mais difíceis de determinar, pois estão associados a possíveis danos ambientais e impactos adversos relativamente à saúde pública. Os mesmos estudos concluíram que estes custos irão rondar os 0,0006 € a 0,0009 € /kWh (Cook, 2005).

Os custos pagos pelos consumidores não reflectem todos os custos inerentes a um determinado bem/ serviço, sendo considerados como custos externos. Tendo em conta, então, que os custos externos deste tipo de tecnologia são praticamente nulos, os custos totais poderão ser considerados como sendo o somatório dos custos internos. Como tal, interessará dar relevância ao facto de serem praticamente inexistentes os custos externos, tentando quantificar esse “proveito”, e abater este valor aos elevados custos iniciais com o capital necessário.

O Financial Times mostrou o comparativo do custo da energia eléctrica por diferentes fontes (EUR/ MWh): Nuclear, 50; Carvão, 40 a 50; Petróleo, 80; Gás Natural, 50 – 80; Biomassa, 30 a 85; HidroElectricidade, 30 a 90; Eólica, 30 a 180 (em Portugal,

cerca de 95); Solar, 150 a 420. A energia Nuclear apresenta novamente dos valores mais baixos, sendo também de realçar o maior custo das energias renováveis, muito provavelmente porque não atingiram dimensão e desenvolvimento tecnológico suficiente para serem obtidas economias de escala (Amaral, 2008).

Ainda em relação ao custo da energia entre as diferentes formas de a obter, um outro artigo (Ward, 2001) tem em consideração os preços actuais e os que se esperam em 2050, permitindo uma comparação entre os mesmos, mostrando as correspondentes tendências e possíveis justificações para essas tendências:

FONTE	CUSTO presente (m\$/kWh)	CUSTO projectado (2050) (m\$/kWh)	COMENTÁRIOS (retirados do artigo)
Carvão	30-70	50-120	Aumento devido à necessidade de diminuir a poluição
Gás	30-80	60-200	Aumento devido à subida de preços do combustível e diminuição da poluição
Fissão	30-80	30-80	Estável
Hidroeléctrica	20-60	20-100	Não existe grande margem de manobra para o seu desenvolvimento nos países da OCDE
Biomassa	80-150	80-150	Combustível necessário relativamente caro
Eólica	40-75	80-300	Possíveis custos com armazenagem de energia
Solar Fotovoltaico	200-600	200-600	Redução do capital necessário, mas aumento do custo com armazenagem
Marés	50-100	70-140	Custos de armazenagem de energia

Tabela 4: Projecção dos custos da electricidade produzida por fontes energéticas não-Fusão. (Fonte: Ward, 2001).

Existe também um código de sistemas, o PROCESS, que também tem sido utilizado em alguns estudos que têm sido efectuados para aferir a viabilidade económica da energia de Fusão. Como resultados, indica que o custo da electricidade tendencialmente decresce com o caminhar para uma tecnologia mais madura (desenvolvimento da tecnologia inicial, *learning curve*, amadurecimento da tecnologia) (Ward, 2005).

Indica também que o custo da electricidade da Fusão será comparável ao da Eólica e Fotovoltaica, se o armazenamento energético fosse necessário para fornecer energia de uma forma constante. Uma infra-estrutura de tecnologia amadurecida de Fusão poderá oferecer energia eléctrica a 0,05 € – 0,10 € / kWh, valor bastante competitivo, principalmente se tivermos em linha de conta as restrições de índole ambiental.

Uma questão crucial para a Fusão é o desenvolvimento e demonstração de materiais que irão tolerar o ambiente de Fusão (altas temperaturas) por tempo suficiente (longevidade do material). Especial importância, pela proximidade à fusão em si, à primeira parede, rede e *divertor* (é desejável que este tenha uma validade de 2 anos), de forma a que a central opere com alta eficiência e disponibilidade.

3.5. A Fusão e a Sociedade

Socialmente, e tendo em conta a fácil ligação que as pessoas irão fazer da tecnologia de Fusão à energia Nuclear, o explicar da tecnologia, e de todas as suas vantagens (que fazem com que a forma de produção energética não tenha nada a ver com os processos de uma central nuclear convencional), será sinónimo de uma tarefa árdua, complicada. O acidente de *Chernobyl* (Ucrânia, 1986), estará ainda bem presente na mente das pessoas (Muller, 2008).

Há ainda a conotação das centrais nucleares convencionais com a questão das armas nucleares (Hiroshima, urânio; Nagasaki, plutónio. Ambas lançadas no Japão, pelos Estados Unidos da América (EUA), em 1945). É complicado, para qualquer grupo terrorista, desenvolver uma bomba atómica, uma vez que a obtenção de urânio (U-235) altamente enriquecido é bastante difícil, requer milhares de milhões de dólares de investimentos em programas de investigação e de desenvolvimento.

Os EUA terão cerca de 12.500 armas nucleares (apesar de nem todas estarem activas), sendo que a Rússia poderá tê-las no mesmo número (muito por conta da época da Guerra Fria, entre 1945 e 1991).

Um reactor nuclear é um dispositivo onde se efectuam, de forma controlada, reacções em cadeia. A potência é libertada pela forma de calor, frequentemente usado para ferver água, transformando-a em vapor, vapor esse usado para activar uma turbina, que irá produzir electricidade.

Como combustível, os reactores nucleares comerciais usam U-235, mas este não é enriquecido (concentrado) ao ponto de ser usável numa bomba atómica (é enriquecido

a apenas 3%. Para uma bomba, seria necessário atingir os 80%). Daí que, é pouco provável que um reactor convencional possa explodir, como se de uma bomba nuclear se tratasse.

Uma central de Fusão não conhecerá consequências graves a partir dos piores acidentes possíveis; não necessitará de eliminação de repositório material resultante da operação e desmantelamento das instalações; não emitirá substâncias nocivas para o meio ambiente; e o combustível que necessita existe em abundância (Cook, 2005).

Relativamente à performance da Fusão (Ward, 2001) quanto aos aspectos relacionados com a segurança e ambiente, o estudo SEAFP-2 demonstra que a mesma tem uma boa performance na gestão de material activo (que poderá estar livre de controlo regulamentar ou reciclado após 50 – 70 anos) e acidentes (qualquer acidente, por muito severo que possa ser, não provocará a necessidade de evacuação, dado que as temperaturas estarão sempre sob controlo).

4. HIPER – *High Power Laser Energy Research Facility*

O *High Power Laser Energy Research Facility* (HIPER, vide Anexo A) pretende demonstrar a viabilidade da Fusão, enquanto futura fonte de energia, através de laser, cuja força servirá como ignição, sendo uma das respostas ao desafio de sustentabilidade energética.

Este projecto figura no *Roadmap* Europeu para as futuras infra-estruturas de larga escala dedicadas à ciência e apresenta um potencial enorme como caminho alternativo para uma fonte de energia limpa. Com efeito, e de acordo com um dos líderes do projecto:

“In just one cubic kilometre of seawater there is the equivalent energy of the world’s oil reserves” – Mike Dunne, BBC News.

4.1. Breve referência ao processo de Fusão

A Fusão ocorre quando o deutério e trítio (componentes do hidrogénio) são forçados a juntarem-se para criar hélio e uma partícula bastante energética chamada neutrão. É caracterizada por ser inesgotável, segura (as fontes de combustível para a Fusão são a água do mar e a crosta terrestre), sem emissões de carbono ou outro tipo de gás nocivo, sem resíduos radioactivos e de operacionalização segura (não existe acumulação de energia, não havendo probabilidade de falhas catastróficas).

A Fusão Inercial é uma técnica que consiste, *grosso modo*, na implosão de uma cápsula de combustível (de Fusão) através da utilização de um laser, de forma a libertar uma quantidade significativa de energia (sendo que a ignição torna a reacção auto-sustentável, com produção líquida de energia).

Será possível tornar esta energia comercializável, a partir de um elevar da taxa de repetição dos disparos do laser; através da produção em massa de cápsulas de combustível e optimização do mecanismo de produção de energia de Fusão.

Para haver Fusão, é necessário que o combustível atinja temperaturas elevadíssimas (estado plasma), reproduzindo o que se passa no interior do Sol. Este plasma terá de ser feito recluso (confinado), para que este não se expanda e arrefeça.

O HIPER conseguirá atingir as altas temperaturas necessárias (100 milhões de C°) através da utilização de lasers de elevada potência. A Fusão a laser deverá ser provada proximamente no NIF, EUA, o que fará com que estas questões passem do plano científico/ de engenharia, para o plano público/ político.

4.2. Custos de uma futura infra-estrutura HIPER

O custo da electricidade produzida por uma central de Fusão, com recurso a laser, é ainda difícil de determinar com segurança, tendo em conta os avanços esperados na investigação e desenvolvimento desta tecnologia. Daí ser necessário fazer previsões com base em diferentes cenários e suposições.

A participação em algumas reuniões HIPER, e em trabalhos iniciais da ISPM (*International Scientific Project Managers*, Paris, França), a propósito de uma futura central eléctrica de Fusão (comercial) e definição de estratégias para a redução dos custos, permitiu tirar algumas ilações sobre esta temática (tendo como suporte um relatório preliminar acerca deste assunto, de cariz confidencial).

Considerando o intervalo espacial 2013 – 2080, o projecto foi dividido em três fases: o protótipo (HIPER), a central a produzir energia eléctrica através de feixes laser (energia de Fusão Inercial) e finalmente a fase de desactivação da central.

As receitas/ ganhos virão principalmente da venda de electricidade à rede de distribuição, as quais poderão ser complementadas, marginalmente, com a patenteação de alguma tecnologia e sua exploração. Poderá ter-se em linha de conta também a possibilidade de produzir pilhas de hidrogénio, que poderão ter aplicação em vários sectores, especialmente o automóvel e transportes.

Quanto às despesas/ custos, as principais serão relacionadas com recursos humanos, construção do edifício (e materiais para a infra-estrutura), custos operacionais, impostos, e custos com capital (juros, capital, dividendos (se existirem)).

Espera-se atingir níveis de eficiência elevados durante a fase de protótipo, com uma alta taxa de repetição de disparos de laser. Neste momento, uma das principais questões a exigir um rápido desenvolvimento tecnológico está relacionada com o alvo de combustível que, para além da necessidade de se encontrar uma forma de o substituir entre disparos, apresenta neste momento um preço elevadíssimo (entre EUR 30.000/ EUR 40.000, conforme indicações existentes para os alvos (que são semelhantes) utilizados pelo NIF, EUA), que hipoteca qualquer tipo de veicidade em transformar este tipo de energia em electricidade.

É claro que o número de alvos a consumir será elevado, o que poderá levar a ganhos de economia de escala. Mas este facto também irá fazer com que haja, muito provavelmente, a necessidade de construir uma fábrica nas imediações da central de

Fusão, para a produção dos alvos necessários (quando a central estiver em pleno funcionamento, espera-se que a mesma consuma, anualmente, entre 270 e 1.300 milhões de alvos, dependendo da taxa de repetição de disparos do laser e do tempo que irá demorar a reposição de alvos. Não se sabe se esta fábrica a construir em paralelo poderá ter capacidade de produzir excedente, de forma a conseguir vender parte do que produz, ajudando a rentabilizar os investimentos efectuados).

Espera-se que o protótipo não seja desactivado (cuja construção está programada para acontecer a partir de 2018), pois poderá ser um laser de apoio ao trabalho de investigadores que possam fazer uso desta tecnologia para inovar em diversas áreas, não só na Física, como também na Medicina, Engenharia e outras, sendo justificável o seu financiamento público (pelo menos em parte, dado que será também do interesse do sector privado, principalmente empresas ligadas à energia, apoiar projectos conducentes a novas formas de produção de electricidade).

A electricidade a produzir resultará do funcionamento de um (ou mais) laser de alta taxa de repetição (sobre alvos compostos por isótopos de hidrogénio, deutério e trítio), desencadeando a reacção de Fusão. Esta reacção irá gerar energia através de neutrões (80 % da energia libertada) e raios-x ou partículas (restantes 20%). Os neutrões irão interagir com a parede que envolve, que contem lítio, que conseqüentemente gera trítio. Nesta fase é possível extrair a energia térmica e convertê-la em electricidade através de turbinas.

Sempre que o laser é disparado, o alvo é destruído, tendo o mesmo de ser substituído. Como tal, o custo de cada alvo é um dos elementos mais importantes na altura de custear a electricidade que irá ser produzida, e para o qual concorrem a matéria prima necessária e o processo de produção inerente.

O laser (composto, por exemplo, por díodos, grelhas de compressão, elementos ópticos, cristais, etc...) a ser utilizado é também por si só outros dos elementos fundamentais, não fosse este o responsável pelo processo de ignição para a reacção de Fusão. Para determinar do custo da electricidade, será necessário determinar a taxa de repetição de disparos que conseguirá atingir (que irá influenciar o número de alvos que serão consumidos. Terá de ser feita uma análise de forma a determinar o número de disparos necessários para que se considere esta forma de produção de energia rentável), a energia libertada, a longevidade do equipamento, entre outros. As características do

laser e a sua operacionalização, irão determinar também as características e longevidade de outros equipamentos, consumíveis, infra-estruturas, componentes complementares ao laser.

Portanto, a eficiência e a longevidade do equipamento fazem do laser uma das peças chave no processo de produção de electricidade através da tecnologia de Fusão.

Quanto ao edifício, para além das construções comuns (gabinetes administrativos, e outros), deverão ter-se em consideração a construção da câmara de vácuo (onde se dá a explosão do alvo), a parede que irá proteger o exterior das radiações, as turbinas e outros dispositivos que irão produzir electricidade.

Aos custos referidos nos parágrafos anteriores, deverá ter-se em linha de conta os recursos humanos que serão necessários (pessoal especializado, cientistas, administrativos, etc...), para além de outros custos operacionais.

Ao nível de possíveis rendimentos, estes poderão advir da venda de electricidade, exploração de patentes e transferências de tecnologia. A electricidade vendida resulta daquela que é produzida directamente na central, sendo que alguma da qual será reutilizada para alimentar a própria central (não só para o laser, mas também como para os sistemas de arrefecimento da câmara de vácuo), bem como a fábrica de alvos, implementada junto à central.

O custo do capital necessário (o qual se junta aos custos de construção, custos operacionais, recursos humanos, impostos), tendo em conta a dimensão dos investimentos necessários, é de importância extrema que o mesmo seja determinado de forma mais realista possível, pois será um dos componentes do negócio mais onerosos. A percentagem de financiamento necessário poderá variar, consoante se consiga, ou não, vender a tecnologia aos privados, incentivando-os a arriscar e investir neste negócio (ajudará mostrar que o desenvolvimento desta tecnologia tem sido entusiasticamente apoiada por diferentes Governos, de diferentes continentes).

4.3. HIPER Portugal

A inovação no sector energético reveste-se de extrema importância para Portugal, de forma a que continue a promover a sustentabilidade e diversidade no que às fontes de energia diz respeito, criando também condições para o crescimento, emprego, segurança no aprovisionamento energético e melhoria do ambiente.

O projecto HIPER, que está no último ano da sua fase preparatória, é fortemente apoiado pelo Governo Britânico (que não tem nenhuma infra-estrutura europeia) e pelo STFC/ *Rutherford Appleton Laboratory*.

Portugal, através do Grupo de Lasers e Plasmas, do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear–Laboratório Associado (GoLP/ IPFN-LA) do Instituto Superior Técnico (IST), colabora activamente neste projecto (integrado num consórcio de investigação composto por cerca de 22 centros de investigação europeus, e como líderes de grupos de trabalho de cariz técnico), recebendo financiamento da ordem dos EUR 250.000 (na sua maior parte do laboratório STFC, sendo uma pequena percentagem da UE).

Os objectivos do HIPER são, em primeiro lugar, a demonstração da viabilidade da Fusão Inercial para uma futura central eléctrica e o estudo da física das altas densidades da energia. Permitirá também o estudo da física das estrelas, das supernovas, dos interiores dos planetas densos e a nucleosíntese dos elementos no início do universo, tudo no laboratório.

As vantagens da Energia de Fusão são bem conhecidas: uma fonte de energia limpa, que não depende de condições geográficas, nem climatéricas, específicas, controlável, armazenável e praticamente inesgotável. Além disso, pode produzir hidrogénio, combustível de utilização crescente na indústria automóvel, e efectivamente representar a solução definitiva para as nossas necessidades energéticas.

A primeira demonstração de ganho energético a partir da tecnologia de Fusão deverá acontecer nos final de 2010, início de 2011, no *National Ignition Facility* (NIF, EUA). Tecnicamente, o NIF produzirá 2 a 3 vezes mais energia em produtos de fusão que a energia do laser, isto é, o ganho é de 2-3. Não produzirá energia porque a eficiência do laser é inferior a 1%, enquanto que o HIPER pretende atingir um ganho de cem, usando lasers com uma eficiência superior a 10%, e fazê-lo dez vezes por segundo (em vez de uma vez por dia, como acontece no NIF), os valores necessários para uma central eléctrica. Isto será possível devido à nova tecnologia dos lasers a díodos, uma

área de investigação do GoLP/ IPFN-LA/ IST, bem como resultante da utilização de duas técnicas: irradiação directa e ignição rápida.

A irradiação directa consiste em utilizar os feixes laser directamente para comprimir o alvo, o que, sendo obviamente mais eficiente, é mais exigente na simetria da irradiação e que ainda não foi comprovada.

A ignição rápida consiste em utilizar lasers de alta potência para aquecer o alvo comprimido até à temperatura necessária para a Fusão, antes de se dar a expansão do alvo.

Esta separação de compressão e aquecimento permite aumentar significativamente a eficiência destes dois processos, que têm exigências bem diferentes. A ciência e a tecnologia dos lasers de alta potência é uma área liderada pela Europa e a área principal de investigação do GoLP/ IPFN-LA/ IST, que possui o maior grupo teórico desta área na Europa e tem participado em experiências nos lasers mais potentes do Mundo, estando em condições de assumir uma posição de relevo no desenvolvimento da tecnologia de Fusão.

Para dar conta da importância deste projecto, a *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI) definiu o HIPER como sendo uma infra-estrutura de interesse primário para a UE (definição de um *roadmap* pelo Conselho Europeu, que descreve as necessidades científicas para infra-estruturas de investigação para os próximos 10 - 20 anos, tendo em conta também as contribuições das organizações científicas intergovernamentais, bem como da própria comunidade industrial). O ESFRI actua na questões relacionadas com o desenvolvimento de infra-estruturas europeias de investigação científica de alta qualidade, dando às autoridades nacionais a oportunidade de partilharem inovações e explorar e integrar iniciativas comuns, para um eficaz desenvolvimento e utilização de infra-estruturas relevantes para a UE.

Ao investir no HIPER, Portugal teria em sua posse uma das mais avançadas infra-estruturas tecnológicas e de investigação, dando resposta à necessidade da comunidade científica em enfrentar a rápida evolução da ciência, contribuindo activamente para a implementação da própria Agenda de Lisboa, para além de demonstrar a preocupação dos decisores políticos em definir uma política energética nacional cada vez mais diversificada (considerando fontes energéticas de futuro),

procurando estar também na linha da frente em termos europeus, no que à investigação, inovação, promoção da economia do conhecimento, isto é, competitividade, diz respeito.

O HIPER Portugal poderá ser também uma oportunidade para a criação de indústria de ponta, tendo em conta por exemplo o hidrogénio ou os díodos (ambos de utilização crescente na indústria mundial, principalmente na indústria automóvel), podendo proporcionar aumentos sustentáveis ao nível das exportações; possibilitará a retenção de cientistas/ valores portugueses, proporcionando condições de trabalho e de desafio intelectual de nível mundial, resultando numa maior projecção da ciência nacional (aumento da publicação de artigos de alto valor científico, patentes, aumento do número de Doutorados/ Post-Doc's, etc...); proporcionará condições aos cientistas portugueses para serem chamados a participar em projectos de investigação de dimensão europeia/ mundial, atraindo desta forma mais financiamentos; entre outros benefícios.

O LHC (*Large Hadron Collider*), um dos projectos mais conhecidos da organização europeia para a investigação Nuclear, CERN, que envolveu níveis de investimentos avultados, terá como efeitos económicos e culturais mais imediatos a aumento do conhecimento científico (em Física de partículas), que poderá, no longo prazo, ter impacto no aumento da inovação; proporcionar condições de excelência para a formação de cientistas e engenheiros na UE; o facto de adquirir quantidades assinaláveis de equipamento de alta tecnologia permite às empresas fornecedoras retirarem desta colaboração largos anos de benefícios, para além do desafio que enfrentam, quando são chamadas a fornecer equipamentos novos (não padronizados), com níveis de qualidade e rigor elevados (Streit, 1986).

5. Trabalho futuro de Investigação

Sendo a questão energética um tema fulcral, tendo em conta os desafios e os riscos ambientais futuros resultantes, principalmente, dos hábitos de consumo de energia dos indivíduos, o encontrar de fontes alternativas de energia capazes de satisfazer as necessidades energéticas crescentes da população, ao mesmo tempo que se

procura reduzir as emissões de gases nocivos para o ambiente e aumentar a eficiência na sua utilização, tem-se revelado um verdadeiro desiderato global.

Apesar de serem já várias as fontes alternativas de produção de electricidade que merecem o investimento governamental e o reconhecimento e apoio da sociedade, como a energia eólica ou a fotovoltaica, a investigação científica da energia proveniente da tecnologia de Fusão tem sido cada vez mais incentivada e financiada, sendo a sua utilidade e necessidade num futuro *mix* energético cada vez menos contestada.

Uma nova solução energética deverá dar respostas a factores como o aumento da procura de energia (electricidade, transportes, aquecimento, etc...); por necessidades económicas (fontes energéticas acessíveis, crescimento económico sustentado, esgotamento de recursos); por questões ambientais (eliminação de resíduos, fugas químicas ou radioactivas, riscos de acidente, impactos ambientais), de forma a que se torne numa solução socialmente aceitável; entre outros.

No entanto, e apesar de se verificarem já algumas alterações, a discussão em torno da tecnologia de Fusão acontece apenas em circuitos fechados e restritos, entre indivíduos que na sua maioria são cientistas, o que não facilita a percepção do interesse neste tipo de energia por parte, não só dos decisores políticos, como da própria sociedade.

Existem já algumas movimentações ao nível da investigação social e económica, de forma a mostrar que efectivamente a tecnologia de Fusão Magnética poderá representar a resposta para as necessidades energéticas globais.

O modelo EFDA-TIMES (modelo matemático de sistema energético pelo programa *Socio-Economic Research on Fusion* (SERF) da EFDA, *European Fusion Development Agreement*), constitui uma ferramenta ideal para explorar as condições nas quais a fusão poderá tornar-se um próspero contribuidor para o futuro mercado energético (Muehlich, 2009).

Este modelo, aplicado à Fusão Magnética, considerou nos seus cálculos os investimentos necessários em equipamento (a central em si, transporte, electricidade, etc...) e decisões ao nível de fornecimento de energia (operação e negociação), que maximizam o *superavit* económico (minimiza as despesas), para um determinado período de tempo. Os constrangimentos ambientais são também tidos em conta, o

crescimento populacional prevê-se moderado e um forte crescimento do PIB, especialmente nos países em vias de desenvolvimento, compatível com a globalização da economia e com os progressos tecnológicos (Han, 2009).

A questão de quando, e em que condições, a Fusão poderá fazer parte do mercado energético europeu, foi explorada através da utilização do modelo MARKAL (Borrelli, 2001), o qual simula a decisão de investimento e utilização de diferentes tipos de energia. Mostrou que a entrada da Fusão Magnética no mercado dependerá em grande parte da implementação de políticas de redução de poluição; de questões sócio-económicas como, possuir preços competitivos, compatibilidade com a restante estrutura de fornecimento energético e aceitação pública (ter em conta que o conhecimento público da Fusão é escasso, bem como o seu interesse pela tecnologia) (Borrelli, 2001).

Entrevistas de opinião, levadas a cabo pelo SERF, permitiram concluir que há a percepção de que o fornecimento de energia a partir de reactores nucleares irá aumentar de importância, que as renováveis terão um papel dominante e que irão atingir-se níveis de eficiência importantes, conducentes à poupança de energia.

Portanto, parece existir abertura por parte da sociedade para a existência de novas formas de fornecimento de electricidade, de novas tecnologias.

E quando se fala em Fusão Inercial, não se fala apenas de produção de electricidade, pois esta tecnologia terá outras aplicações, como por exemplo (Wagner, 2005), enquanto meio propulsor, em pilhas de hidrogénio (actualmente a combustão directa de combustível nos transportes e sistemas de aquecimento é responsável por mais de 2/3 do consumo de energia primária e por grande parte das emissões de gases nocivos. O hidrogénio será um excelente substituto, enquanto combustível nestas situações (Schmidt, 2002), na dessalinização (conferir potabilidade à água), na transformação de resíduos nucleares, na produção de trítio, no desenvolvimento da tecnologia inerentes à radiografia/ tomografia, entre outras aplicações. Observe-se, no entanto, que todos os estudos se têm centrado na Fusão Nuclear por Confinamento Magnético, não existindo modelos que permitam estudar o impacto económico e social da Fusão Nuclear por Confinamento Inercial.

Posto isto, um dos principais objectivos do futuro trabalho de investigação começará por ser o aprofundar de conhecimentos acerca das metodologias e modelos de cálculo de custos já existentes, aplicados à tecnologia de Fusão Magnética (entre outros aspectos, as variáveis consideradas, as expectativas ao nível de eficiência tecnológica, o tipo de materiais e equipamentos a utilizar e as perspectivas de avanço tecnológico), e, a partir desse ponto, desenvolver um modelo semelhante para a Fusão Inercial (ainda inexistente), ajustado às suas especificidades tecnológicas, diferentes das soluções técnicas utilizadas pela Fusão Magnética, acompanhando posteriormente os desenvolvimentos e inovações que venham a ser divulgadas, ajustando e melhorando esse novo modelo, tentando tornar possível, de forma cientificamente segura e bem suportada, o determinar em termos teóricos qual o ponto óptimo de eficiência de produção de electricidade que tornará a energia de Fusão Inercial economicamente viável, factor de extrema importância, tendo em conta os elevados investimentos que à partida serão necessários, e a necessidade em proporcionar aos decisores políticos informação de suporte clara e segura, de forma a que o risco na tomada de decisão seja o menor possível. Tal como mencionado anteriormente, e ao contrário da Fusão Nuclear por Confinamento Magnético, o desenvolvimento da Fusão Inercial será baseado em tecnologia revolucionária, quer ao nível dos lasers de díodos, quer ao nível dos processos de fabricação dos alvos; esta componente crítica de inovação e desenvolvimento tecnológico será devidamente incluída nos modelos a desenvolver, permitindo a generalização dos modelos existentes, nomeadamente do EFDA TIMES, para cenários de elevada exigência tecnológica/ inovação acelerada.

Um outro objectivo, igualmente importante, será definir um plano de comunicação das opções políticas subjacentes à Fusão Inercial, nomeadamente sobre a forma como poderá a opinião pública ser convencida acerca dos benefícios e da necessidade em considerar a energia de Fusão Inercial no *mix* energético mundial, como uma das principais respostas para os problemas energéticos que todos enfrentamos. Este trabalho em específico poderá passar pelo levantamento de estudos que possam ter sido efectuados por conta de outros grandes investimentos (mesmo que estejam relacionados com outras áreas, principalmente aqueles cuja sociedade tenha apresentado alguma resistência em aceitá-los), e adaptá-los à análise da aceitação social da electricidade produzida a partir da energia de Fusão. De novo, o desafio associado às questões da Fusão Inercial são únicos; com efeito, algumas das opções técnicas possíveis para o

desenvolvimento de um *roadmap* para a Fusão Inercial envolvendo conceitos classificados e intimamente associados ao desenvolvimento de armamento nuclear, criando-se questões sociais e éticas de elevada relevância, nomeadamente em termos do potencial *dual use*, dupla utilização militar e civil, das instalações a implementar.

O terceiro objectivo poderá estar relacionado com a definição de metodologias de gestão adequadas a grandes infra-estruturas energéticas (ou até mesmo científicas ou tecnológicas, de investigação), ajustadas às suas especificidades quanto às possíveis parcerias público-privadas e de internacionalização, necessidades quanto a recursos humanos extremamente qualificados e quanto a materiais e equipamentos específicos, entre outros aspectos.

6. Conclusões

O consumo de energia irá aumentar no futuro (prevê-se que irá duplicar nos próximos 50 anos (Ward, 2007)), especialmente devido ao crescendo de procura por parte dos países em desenvolvimento (Ingelstam, 1999).

A Fusão é uma das poucas fontes de energia amigas do ambiente, que tem potencial para satisfazer as necessidades futuras de electricidade.

Como possíveis soluções energéticas, poderão ser elencadas as seguintes (Wagner, 2005):

- Carvão – é um recurso considerado como sendo ainda vasto, mas de transporte dispendioso e extremamente poluente;
- Petróleo – possui muitos investimentos já efectuados (num conjunto de infra-estruturas de refinaria e comercialização), mas de existência limitada e extremamente poluente;
- Gás Natural – bom para sistemas de aquecimento e industriais, mas é um recurso limitado e poluente;

A Fusão Inercial no futuro mix energético Português?

- Solar, Eólica, Marés – são recursos ilimitados, renováveis, mas necessitam de grandes áreas de implantação, para além de que possuem níveis de eficiência baixos (não produzem de forma constante, estão dependentes das condições climáticas);
- Fissão (Nuclear) – os recursos que necessita existem em abundância, mas persistem as questões relacionadas com a segurança, resíduos de longa duração, capital intensivo;
- Fusão – os recursos que necessita existem de forma ilimitada, provocará um baixo nível de resíduos e possuirá índices elevados de segurança. Negativamente, será a questão do custo elevado com o capital e a percepção da sociedade quanto à sua segurança operacional.

A Fusão terá então de competir com outras fontes geradoras de electricidade, e como tal, deverá ser comercialmente viável e vantajosa:

- Ter acesso fácil e seguro à fonte do combustível que necessita, sendo que o da Fusão vem dos oceanos, significando isto que não está limitado a um pequeno número de países (não sujeito a intervenções políticas, económicas e de especulação), e considera-se inesgotável;
- Ser explorável de forma segura e amiga do ambiente. Espera-se que uma central de Fusão, tendo em conta as suas especificações tecnológicas, será imune a grandes acidentes, para além de que as reacções de Fusão não libertam dióxido de carbono, ou outro tipo de poluente atmosférico;
- Ser facilmente licenciável (o design, a construção e operacionalização da infra-estrutura e desactivação no final do seu ciclo de vida). Há tempo para desenvolver regimes de licenciamento claros e eficientes, antes de existirem centrais de Fusão comerciais;
- Ser flexível quanto à dimensão da infra-estrutura e da própria localização;
- Ser altamente eficiente e fiável.

Apesar de ser investigada já há 50 anos (a investigação e desenvolvimento da Fusão possui cariz internacional/ global, sendo prova disso o trabalho que tem sido desenvolvido a propósito do ITER: fazem parte da equipa as agências domésticas para a Fusão da China, UE, Índia, Japão, Coreia, Rússia e EUA), a energia de Fusão, até se tornar um tipo de electricidade comercializável, tem ainda um longo caminho a percorrer.

O SERF, tem explorado (e continuará a explorar) principalmente cinco (5) orientações, ao nível europeu:

- Cenários a longo prazo: futuros desenvolvimentos, projecções das necessidades energéticas, fornecimento energético e o papel da Fusão;
- Custos internos: económicos e de produção;
- Custos externos e benefícios: externalidades, saúde pública, segurança, oportunidades de emprego, *spin-offs*, etc...;
- Fusão como um grande sistema tecnológico (o que exige uma boa relação com a política pública, exigindo coerência decisória entre várias gerações);
- Fusão e a opinião pública: que elementos serão fulcrais para se conseguir a confiança da sociedade e dos grupos de interesse? A futura comercialização de energia de fusão poderá ser prejudicada pela falta de compreensão e apoio por parte da opinião pública. É uma questão que não será fácil discuti-la socialmente, devido em grande parte à conotação estabelecida com a vulgar energia nuclear.

Portugal, tendo em conta as condições que possui ao nível territorial e climático, para além dos incentivos governamentais, tem conhecido uma aposta crescente nas energias renováveis (principalmente Eólica, Fotovoltaica e Hidroelétrica), o que tem permitido, para já, o desenvolvimento de alguma indústria e diversificar as suas fontes energéticas, sendo prematuras conclusões acerca da segurança deste *mix* energético quanto à volatilidade dos mercados internacionais energéticos (preço do petróleo, gás), e o impacto de uma possível baixa de preços ao consumidor.

Quanto à energia de Fusão (apesar de se prever que produza quantidades elevadas de electricidade, que resolveriam quase por completo as necessidades energéticas e todas as questões inerentes), e tendo em conta o referido no parágrafo anterior, dificilmente um Governo português introduzirá no seu programa o investimento e desenvolvimento desta energia em território nacional, também pela arriscada conotação com a energia nuclear e por não existir em Portugal, por exemplo, uma indústria forte e desenvolvida (consumidora de grandes quantidades de energia), que fosse capaz de exercer pressão para que a Fusão entrasse no plano energético nacional.

No entanto, é da maior relevância o envolvimento do País neste tipo de projectos, não só como potencial utilizador e proprietário da futura tecnologia que lhe estará associada, como potencial consumidor de uma futura instalação. É portanto da maior relevância compreender as Políticas Públicas a desenvolver e a implementar ao nível nacional e ao nível Europeu e a forma como as futuras opções podem conjugar-se com as outras opções estratégicas (e.g. em termos de energia renovável). A total ausência de estudos de suporte à definição de Políticas Públicas no domínio da Fusão Nuclear Inercial é assim uma oportunidade única identificada por este trabalho e com um potencial impacto elevado, dado os sucessos tecnológicos que serão anunciados em breve e que tornarão estas questões incontornáveis.

Com efeito, a Fusão, se atingir viabilidade ao nível de custos e níveis de eficiência razoáveis (sendo uma tecnologia que não está ainda totalmente desenvolvida, a confiança nos valores a serem determinados para o custo da electricidade poderão merecer ser postos em causa), poderá ser encarada como uma fonte de energia disponível universalmente, em larga escala, que poderá ser instalada praticamente em todo o lado, o que constitui desde logo um ponto favorável comparativamente às alternativas renováveis.

7. Referências bibliográficas

- Amaral, Luís Mira, A situação energética e o caso português. IST, 21 de Abril de 2008.
- Borrelli, G., Cook, I., Hamacher, T., Lackner, K., Lako, P., Saez, R., Tosato, G.C., Ward, D.J., Sócio-Economic research on Fusion (summary of EU Research 1997 – 2000). EFDA (2001).
- Cook, I., Hender, T.C., Knight, P.J., Ward, D.J., Direct cost of electricity from Fusion power plants. 26th EPS Conf.on Contr.Fusion and Plasma Physics, Maastricht, 14 – 18 June 1999.
- Cook, I., Miller, R.L., Ward, D.J., Prospects for economic Fusion electricity. Fusion Engineering and Design, Volumes 63-64, 2002, pages 25-33.
- Cook, I., Ward, D.J., Overview of the socio-economic aspects of Fusion power. IEA workshop, Culham, 2005.
- Dean, Stephen O., Symposium on cost-effective steps to Fusion power. Journal of Fusion Energy, Vol. 17, no. 3 (1998).
- Deloitte, APREN, Estudo do impacto macroeconómico do sector das Energias Renováveis em Portugal. 2009.
- Direcção Geral de Energia e Geologia (Min.EID), A factura energética portuguesa 2009. Abril 2010.
- Fouquet, D., Johanson, T.B., European renewable energy policy at crossroads – Focus on electricity support mechanisms. Energy (2008), doi:10.1016/j.enpol.2008.06.023.
- Han, W.E., Ward, D.J., Revised assessments of the economics of Fusion power. Fusion Engineering and Design 84 (2009) 895-898.
- Hender, T.C., Knight, P.J., Cook, I., Key issues for the economic viability of Magnetic Fusion power. UKAEA/ Euratom Fusion Association. Fusion Technology, Volume 30, p1695, 1996.
- Ingelstam, L., Socio-Economic aspects of Fusion: research in the European context. Fusion Engineering and Design 46 (1999) 423-431.
- International Energy Agency, Perspectivas em tecnologias energéticas, cenários e estratégias até 2050. IEA (2010).
- Muehlich, P., Hamacher, T., Global transportation scenarios in the multi-regional EFDA-TIMES energy model. Fusion Engineering and Design 84 (2009) 1361-1366.
- Muller, Richard A., Physics for future Presidents. Department of Physics, University of Califórnia at Berkeley (fall 2008 edition).

Schmidt, J.A., Ogden, J.M., Fusion power deployment. *Fusion Engineering and Design* 63-64 (2002) 19-23.

Sheffield, J., Brown, W., Garret, G., Hilley, J., McCloud, D., Ogden, J., Shields, T., Waganer, L., A study of options for the deployment of large Fusion power plants. Joint Institute for Energy & Environment (2000).

Streit, B.-S., Blackburne, N., Budde, R., Reitz, H., Sagnell, B., Schmied, H., Schorr, B., Quantification of CERN's economic spin-off. *Czech.J.Phys. B* 36 (1986).

Wagner, L.M. (Boeing Company), Socially and Economically attractive non-electric applications for Fusion. IEA workshop on socio-economic aspects of Fusion, 2005.

Ward, D.J., The contribution of Fusion to sustainable development. *Fusion Engineering and Design*, volume 82, issues 5-14, October 2007, pages 528-533, Proceedings of the 24th Symposium on Fusion Technology – SOFT – 24.

Ward, D.J., Cook, I., Lechon, Y., Saez, R., The economic viability of Fusion power. *Fusion Engineering and Design* 75-79 (2005) 1221-1227.

Ward, D.J., Cook, I., Knight, P.J., Impact of physics assumptions on Fusion economics. UKAEA/ Euratom Fusion Association.

Ward, D.J., Taylor, N.P., Cook, I., Economically acceptable Fusion power stations with safety and environmental advantages. *Fusion Engineering and Design* 58-59 (2001) 1033-1036.

Watson, Jim, Setting priorities in energy innovation policy: lessons for the UK. Harvard University, John F. Kennedy School of Government (2008).

8. Bibliografia

Anklam, TM, Meier, W., Erlandson, A., Miles, R., Simon, A., Economic evaluation of electrical power generation using Laser Inertial Fusion Energy (LIFE). Lawrence Livermore National Laboratory for U.S. Department of Energy, 2009.

Baldwin, D.E., Two Strategic Decisions Facing Fusion. *Journal of Fusion Energy*, Vol.17, No. 2, 1998.

Dean, S.O., Fusion and Energy Policy. *Journal of Fusion Energy*, Vol.25, Nos.1/2, June 2006.

Dean, S.O., Lessons Drawn from ITER and Other Fusion International Collaborations. *Journal of Fusion Energy*, Vol. 17, No. 2, 1998.

Dean, S.O., The Future Potential of Nuclear Power: Fission and Fusion. *Journal of Fusion Energy*, Vol. 17, No. 2, 1998.

Dean, S.O., The Rationale for an Expanded Inertial Fusion Energy Program. *Journal of Fusion Energy* (2008) 27:149-153.

Delene, J.G., et all, An Assessment of the Economics of Future Electric Power Generation Options and the Implications for Fusion. U.S. Department of Energy, OAK Ridge National Laboratory, 1999, ORNL/TM-1999-243.

Durigon, J.C., Rech, C., Leandro, G.V., Muenchen, J.V., Modelo matemático para estudo da viabilidade económica da implantação de sistemas eólicos em propriedades rurais. URNERGS.

Ellis, W.R., Davis, J., Examples of Industrial Contributions to Fusion Development. *Journal of Fusion Energy*, Vol. 17, No. 2, 1998.

Freire, F., Situação Energética em Portugal e no Mundo. CEEETA, 16.10.2008.

Hamacher, T., Cabal, H., Hallberg, B., Korhonen, R., Lechón, Y., Sàez, R.M., Schleisner, L., External costs of future fusion plants. *Fusion Engineering and Design* 54 (2001) 405-411.

International Energy Agency (IEA), Technology options: Fusion Power. IEA Energy Technology Policy & Collaboration Papers, February 2003, ETPC No. 01/2003.

Lako, P., Ybema, J.R., Seebregts, A.J., The long term potential of Fusion Power in western Europe – MARKAL scenarios until 2100. ECN-C—98-071, December 1998.

Lester, R.K., The future of Nuclear energy. MIT, Industrial Performance Center, 2003, MIT-IPC-03-008.

MacKerron, G, Colenutt, D, Spackman, M., Robinson, A., Linton, E., Paper 4: Economics of nuclear power: A Report to the Sustainable Development Commission. NERA Economic Consulting & University of Sussex, 2006.

Maisonnier, D., Cook, I., Pierre, S., Lorenzo, B., Luigi, D.P., Luciano, G., Prachai, N., Aldo, P., DEMO and fusion power plant conceptual studies in Europe. Fusion Engineering and Design 81 (2006) 1123-1130.

Maisonnier, D., Cook, I., Pierre, S., Lorenzo, B., Edgar, B., Karin, B., Luigi, D.P., Robin, F., Luciano, G., Stephan, H., Cláudio, N., Prachai, N., Aldo, P., Neill, T., David, W., The European power plant conceptual study. Fusion Engineering and Design 75-79 (2005) 1173-1179.

Miller, R.L., Perspectives on Magnetized Target Fusion Power Plants. Journal of Fusion Energy, Vol. 26, Nos. 1/2, June 2007.

Moe, E., Energy, industry and politics: Energy, vested interests, and long-term economic growth and development. Energy 35 (2010) 1730-1740.

Moir, R.W., HYLIFE-II Inertial Confinement Fusion Power Plant Design. Particle Accelerators, 1992, Vols. 37-38, pp. 467-480.

Muller-Steinhagen, H., Nitsch, J., The contribution of renewable energies to a sustainable energy economy. 2005 Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, Part B, July 2005, Process Safety and Environmental Protection, 83(B4): 285-297.

Newbery, D., Reduce the risk of nuclear investment. Financial Times, 2008.

Nuttal, W., Glowacki, B., Clarke, R., A trip to Fusion island. The Engineer, 2005, article no.292555.

Nuttall, W., Fusion should put its energy into oil. The Engineer, 2004, article no.267765.

Paidassi, S., EU fusion technology: towards a commercial power reactor. Fusion Engineering and Design 49-50 (2000) 53-63.

Perkins, L.J., The role of inertial fusion energy in the energy marketplace of the 21st century and beyond. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 415 (1998) 44-60.

Risto, T., Aija, K., Comparison of electricity generation costs. Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology, Dep.of energy and Environmental Technology, 2008.

Sadhankar, R.R., Leveraging nuclear research to support hydrogen economy. International Journal of Energy Research, 2007, 31:1131-1141.

Sheffield, J., The future of Fusion. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 464 (2001) 33-37.

The Republic of Croatia, Ministry of Science, Education and Sports, Action Plan to Encourage Investment into Science and Research. Zagreb, April 2008.

Tokimatsu, K., Asaoka, Y., Konishi, S., Fujino, J., Ogawa, Y., Okano, K., Nishio, S., Yoshida, T., Hiwatari, R., Yamaji, K., Studies of breakeven prices and electricity supply potentials of nuclear fusion by a long-term world energy and environment model. Institute of Physics Publishing and International Atomic Energy Agency, Nuclear Fusion 42 (2002) 1289-1298.

Trends E-Magazine, Nuclear Fusion: The inexhaustible Energy Source that never seems to arrive. Volume 6, Number 9, September 2009.

Ward, D.J., Cook, I., Lechon, Y., Saez, R., The economic viability of fusion power. Fusion Engineering and Design 75-79 (2005) 1221-1227.

Documentos Europeus:

Uma Política Energética para a Europa. Comunicação da Comissão ao Conselho Europeu e ao Parlamento Europeu, 10.01.2007.

Livro Verde – Estratégia Europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura. Comissão das Comunidades Europeias, 08.03.2006.

Limitação das alterações climáticas globais a 2 graus Célsius – Trajectória até 2020 e para além desta data. Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, 10.01.2007.

A Sustainable Europe for a better World: a European Union Strategy for Sustainable Development. Communication from the Commission, 15.05.2001.

Reexame da Estratégia em favor do Desenvolvimento Sustentável – Uma plataforma de acção. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, 13.12.2005.

European Energy and Transport – Trends to 2030. Directorate-General for Energy and Transport, European Commission, 2008.

Decisão da Comissão, de 11 de Julho de 2001, que cria um comité consultivo intitulado Fórum Europeu da Energia e dos Transportes.

Livro Verde – sobre instrumentos de mercado para fins de política ambiental e de políticas conexas. Comissão das Comunidades Europeias, 28.03.2007.

Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas (Plano SET). Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, 22.11.2007.

A Fusão Inercial no futuro mix energético Português?

Produção sustentável de electricidade a partir de combustíveis fósseis: rumo a emissões quase nulas do carvão após 2020. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, 10.01.2007.

Combater as alterações climáticas: A UE assume a liderança. Comissão Europeia, Setembro de 2008.

As políticas estruturais e os territórios europeus: Competitividade, desenvolvimento sustentável e coesão na Europa – de Lisboa a Gotemburgo. Comissão Europeia, 2003.

9. Anexo A – Infra-estrutura HIPER (www.hiper-laser.org)

