



Comissão da Especialização em Energia da Ordem dos  
Engenheiros

## **CICLO DE ENCONTROS DEBATE SOBRE O PREÇO DA ENERGIA**

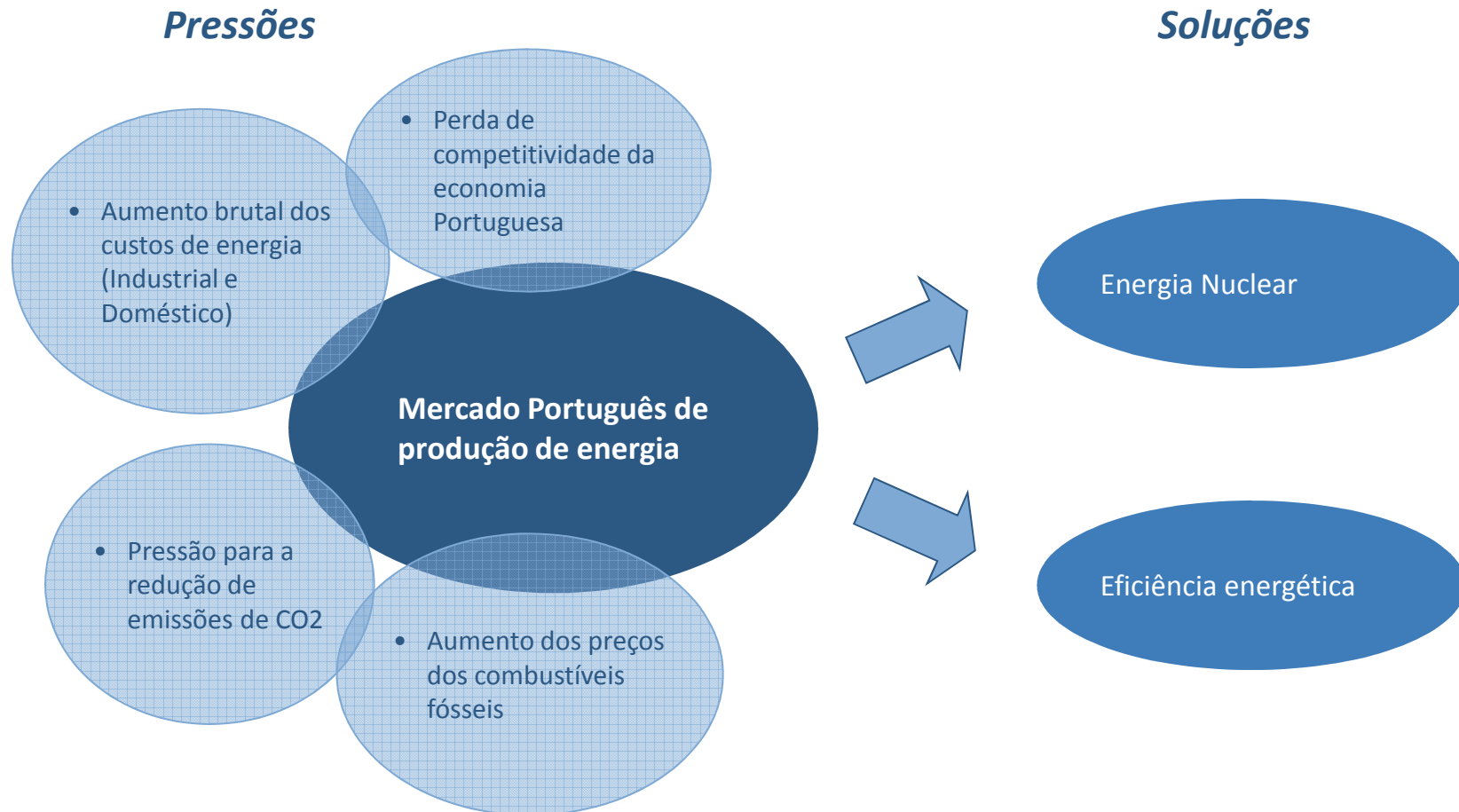
SERÁ O NUCLEAR UMA OPÇÃO ECONÓMICAMENTE PLAUSÍVEL?

Pedro Sampaio Nunes

# Situação futura do mercado de energia eléctrica em Portugal

---

- Tendo em consideração os custos insustentáveis do mercado eléctrico e as diversas pressões a que está sujeito, as principais soluções a médio prazo serão as seguintes:



# Energia nuclear como solução realista e a mais competitiva

---

- A aposta nas energias renováveis apresenta problemas substanciais de custo. Também apresentam restrições de disponibilidade, uma vez que não são mobilizáveis quando necessário.
- Portugal tem reservas de urânio consideráveis, ao contrário dos restantes países europeus.
- No que respeita ao incremento da eficiência energética, ela é obrigatória, mas de efeito muito diferido. O sucesso das medidas a adoptar, e que passam pela consciencialização de todos os consumidores, é muito difícil de capturar.
- A energia nuclear aparece como a alternativa mais credível que permite, simultaneamente a obtenção de um conjunto alargado de vantagens e a resolução de vários problemas com que o País se vê confrontado. As principais características da energia nuclear são as seguintes:

## Energia Barata

A energia nuclear é, em média, 30% mais barata que o carvão, 46% que o gás natural e 51% que a energia eólica.

## Sem Emissões de CO2

Uma central nuclear não emite CO2 para a atmosfera cumprindo totalmente o protocolo de Quioto.

## Elevada Segurança

A taxa actual de acidentes deste tipo de energia é de 5,500 anos de operação comercial por acidente.

(Fonte: COMPARISON OF ELECTRICITY GENERATION COSTS - Tarjanne Risto, Kivistö Aija 2009)

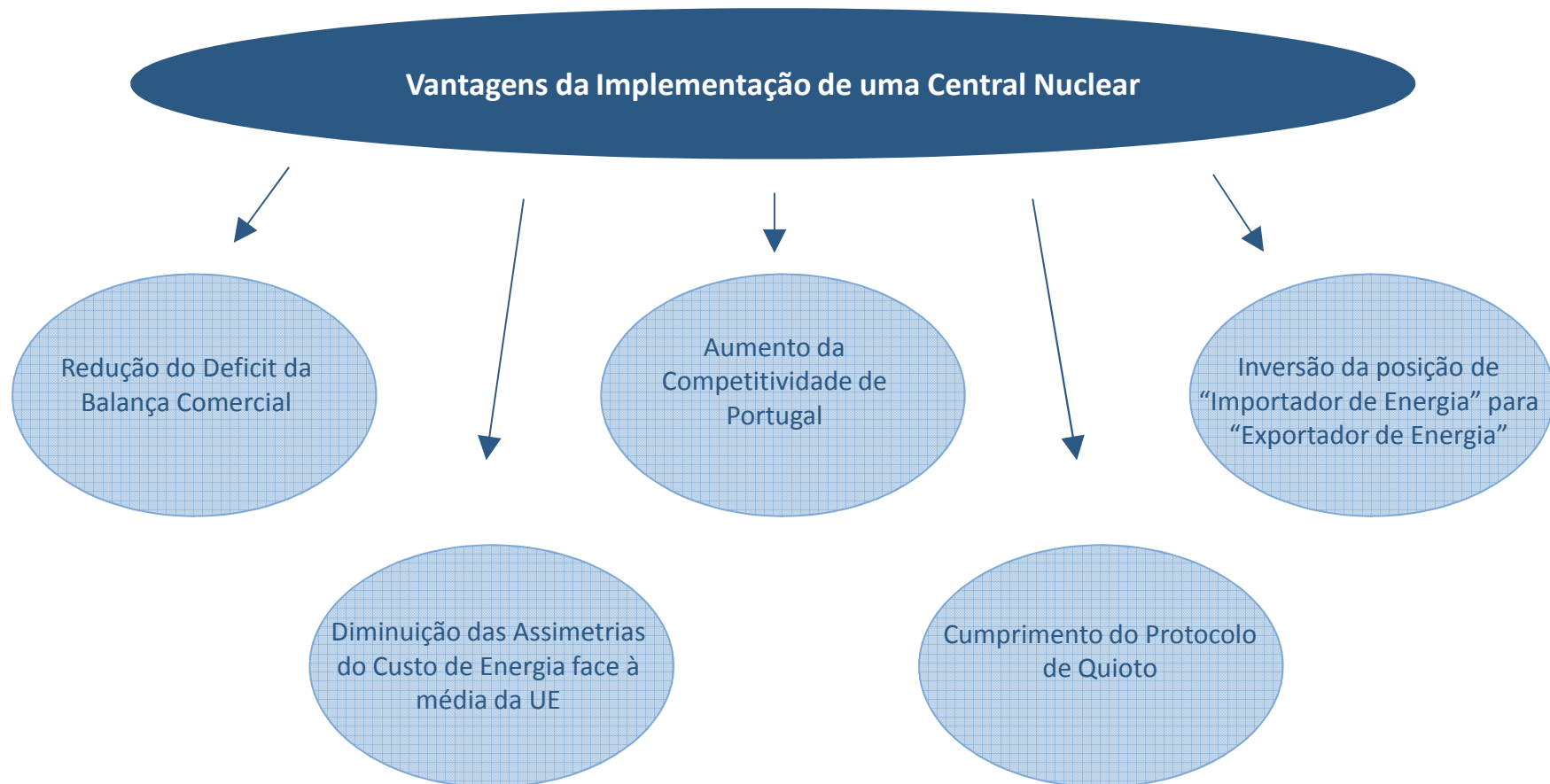
**São estas as razões que levaram nos últimos anos ao relançamento da energia nuclear, nomeadamente por parte da Finlândia, Suécia, Reino Unido, Polónia, Holanda, Brasil, para além da China, Índia, Estados Unidos, Coreia do Sul, entre outros.**



# Impacto económico da energia nuclear

---

- A implementação de uma central nuclear em Portugal, irá permitir a obtenção de um conjunto alargado de vantagens e sinergias, fulcrais para o desenvolvimento da economia Portuguesa:



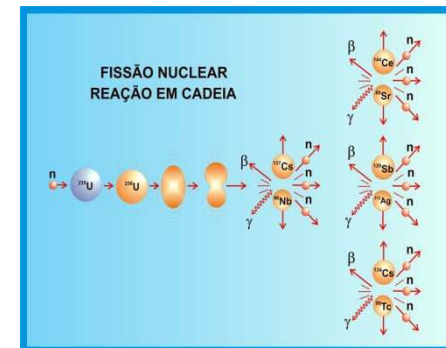
# O que é a energia nuclear?

A energia nuclear é a energia das estrelas e aquela que está na origem de todas as outras formas de energia, quer as fósseis quer as renováveis. É a forma como a Natureza produz energia a partir da matéria, e da qual todas as outras formas de energia se transformaram.

Existem dois tipos de reacções nucleares que conduzem à libertação de quantidades muito importantes de energia:

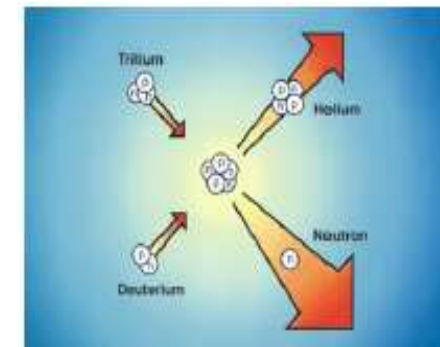
## - Fissão

Desagregação de átomos de um elemento pesado: Urânio, Plutónio, Tório



## - Fusão

Fusão de átomos de dois elementos leves:  
isótopos do hidrogénio: Deutério, Hélio, Trítio.



# Enorme energia das reacções nucleares

---

- Na **fissão** (ou **cisão**) **nuclear**, um átomo de um elemento é dividido produzindo dois átomos de menores dimensões de elementos diferentes.
- Quando a massa total dos produtos da Fissão nuclear é calculada, verifica-se que é menor do que a massa original do átomo antes da cisão.
- Einstein resumia esta relação de equivalência massa-energia na famosa equação:

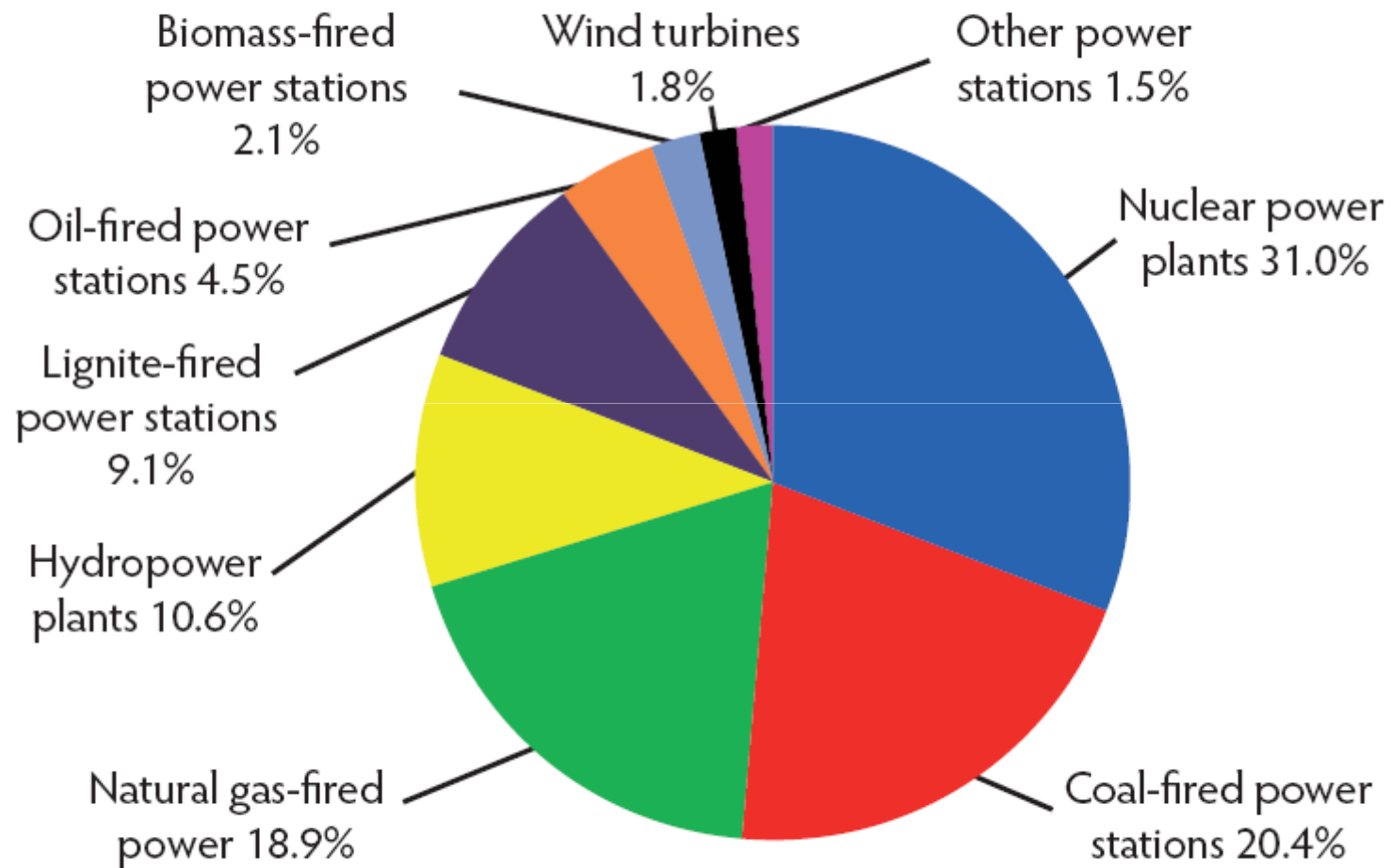
$$E=mc^2$$

- onde  $E$  é a energia,  $m$  a massa e  $c$  a velocidade da luz. Uma vez que  $c$  é muito grande (300 mil quilómetros por segundo),  $E$  é enorme, mesmo quando se perde apenas uma pequena porção de massa.



# O nuclear é a principal fonte de geração eléctrica na EU-27

---



# Panorama dos reactores actuais e previstos na União Europeia

COUNTRY (Click name for Country Profile)	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2010		REACTORS OPERABLE		REACTORS UNDER CONSTRUCTION		REACTORS PLANNED		REACTORS PROPOSED		URANIUM REQUIRED 2011
	billion kWh	% e	October 2011		October 2011		Oct 2011		Oct 2011		
			No.	MWe net	No.	MWe gross	No.	MWe gross	No.	MWe gross	tonnes U
Belgium	45.7	51.2	7	5943	0	0	0	0	0	0	995
Bulgaria	14.2	33.1	2	1906	0	0	2	1900	0	0	309
Czech Republic	26.4	33.2	6	3722	0	0	2	2400	1	1200	591
Finland	21.9	28.4	4	2741	1	1700	0	0	2	3000	1152
France	410.1	74.1	58	63130	1	1720	1	1720	1	1100	9254
Germany	133.0	28.4	9	12003	0	0	0	0	0	0	1934
Hungary	14.7	42.1	4	1880	0	0	0	0	2	2200	331
Italy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	0
Lithuania	0	0	0	0	0	0	1	1350	0	0	0
Netherlands	3.75	3.4	1	485	0	0	0	0	1	1000	102
Poland	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0	0
Romania	10.7	19.5	2	1310	0	0	2	1310	1	655	175
Slovakia	13.5	51.8	4	1816	2	880	0	0	1	1200	299
Slovenia	5.4	37.3	1	696	0	0	0	0	1	1000	137
Spain	59.3	20.1	8	7448	0	0	0	0	0	0	1379
Sweden	55.7	38.1	10	9399	0	0	0	0	0	0	1366
Switzerland	25.3	38.0	5	3252	0	0	0	0	3	4000	527
United Kingdom	56.9	15.7	18	10745	0	0	4	6680	9	12000	2093
<b>EU</b>			<b>139</b>		<b>4</b>		<b>18</b>		<b>22</b>		
<b>WORLD**</b>	2630	13.8	432	368,467	63	63,934	154	173,325	341	388,455	62,552

Fonte: WNA

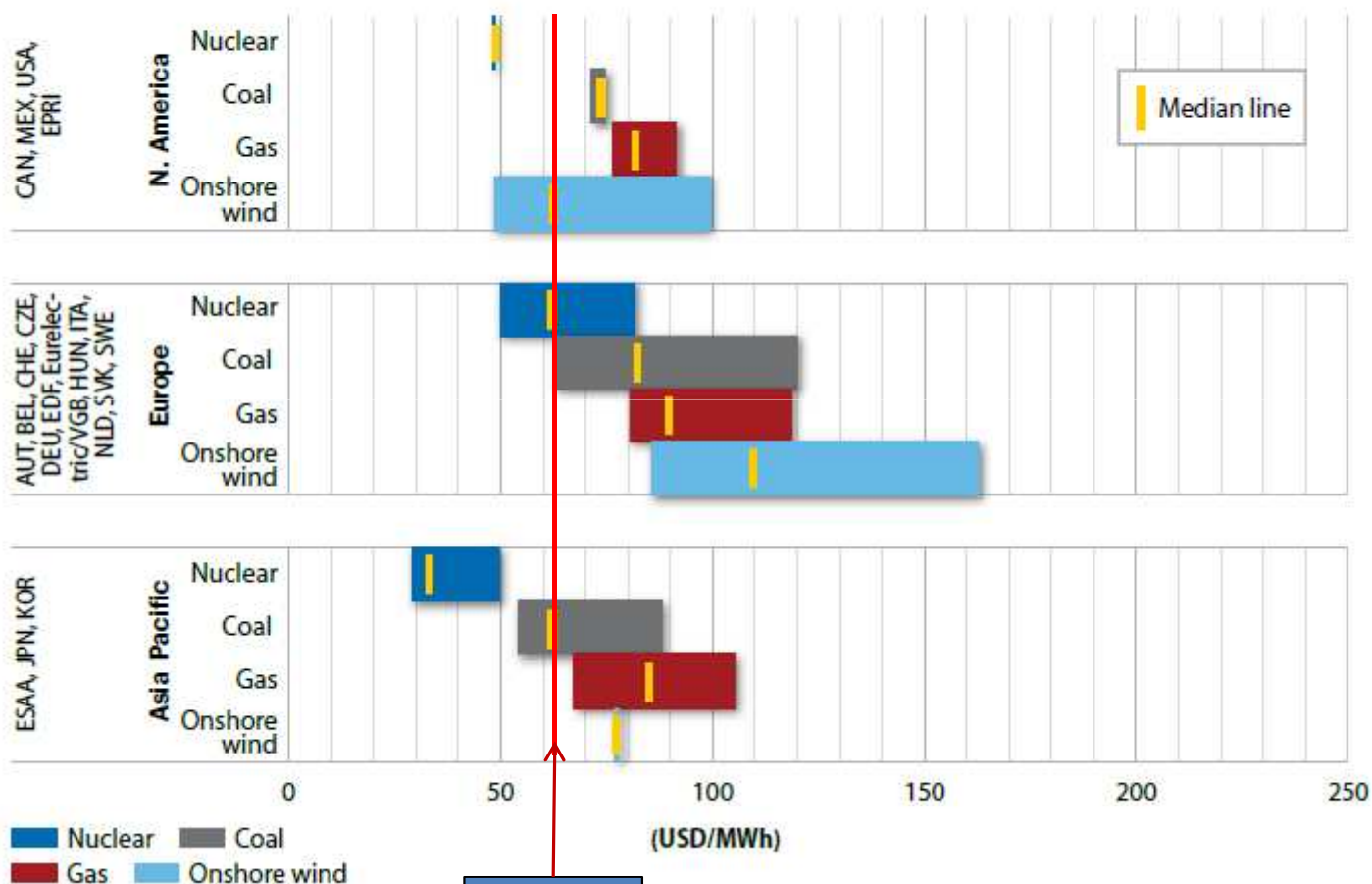




# Custos de geração eléctrica

## Agência Internacional de Energia

Figure ES.1: Regional ranges of LCOE for nuclear, coal, gas and onshore wind power plants (at 5% discount rate)

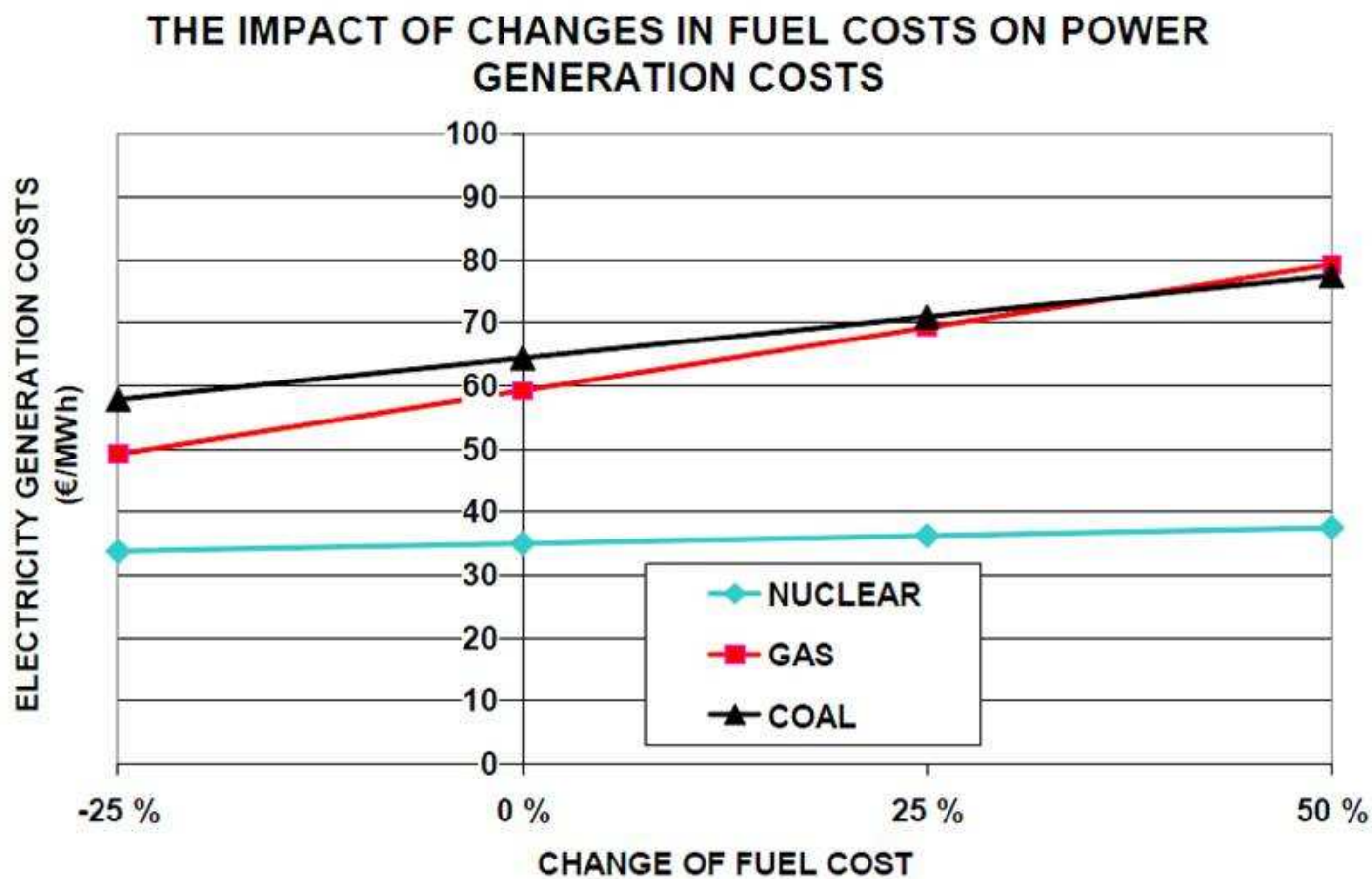


Valor do mercado  
46,6€/MWh

Fonte: AIE



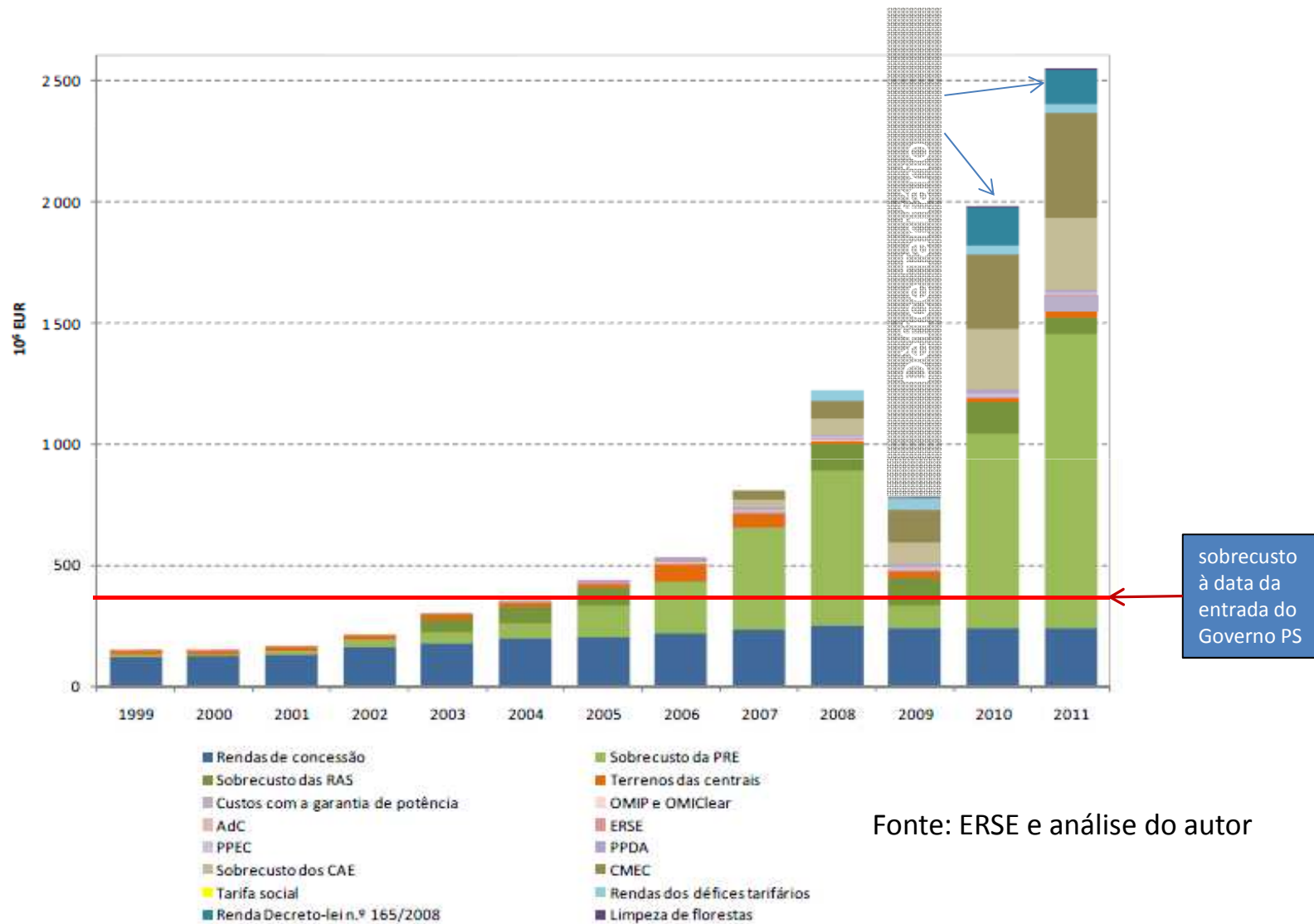
# Sensibilidade da geração convencional ao custo do combustível



Fonte: Prof. Tarjanne



# Evolução e composição dos Custos de Interesse Económico Geral



Notas: <sup>[1]</sup> Em 2009 exclui-se o efeito do Decreto-Lei n.º 165/2008 (447 M€) e do Despacho do MEI de Outubro 2008 (50 M€).

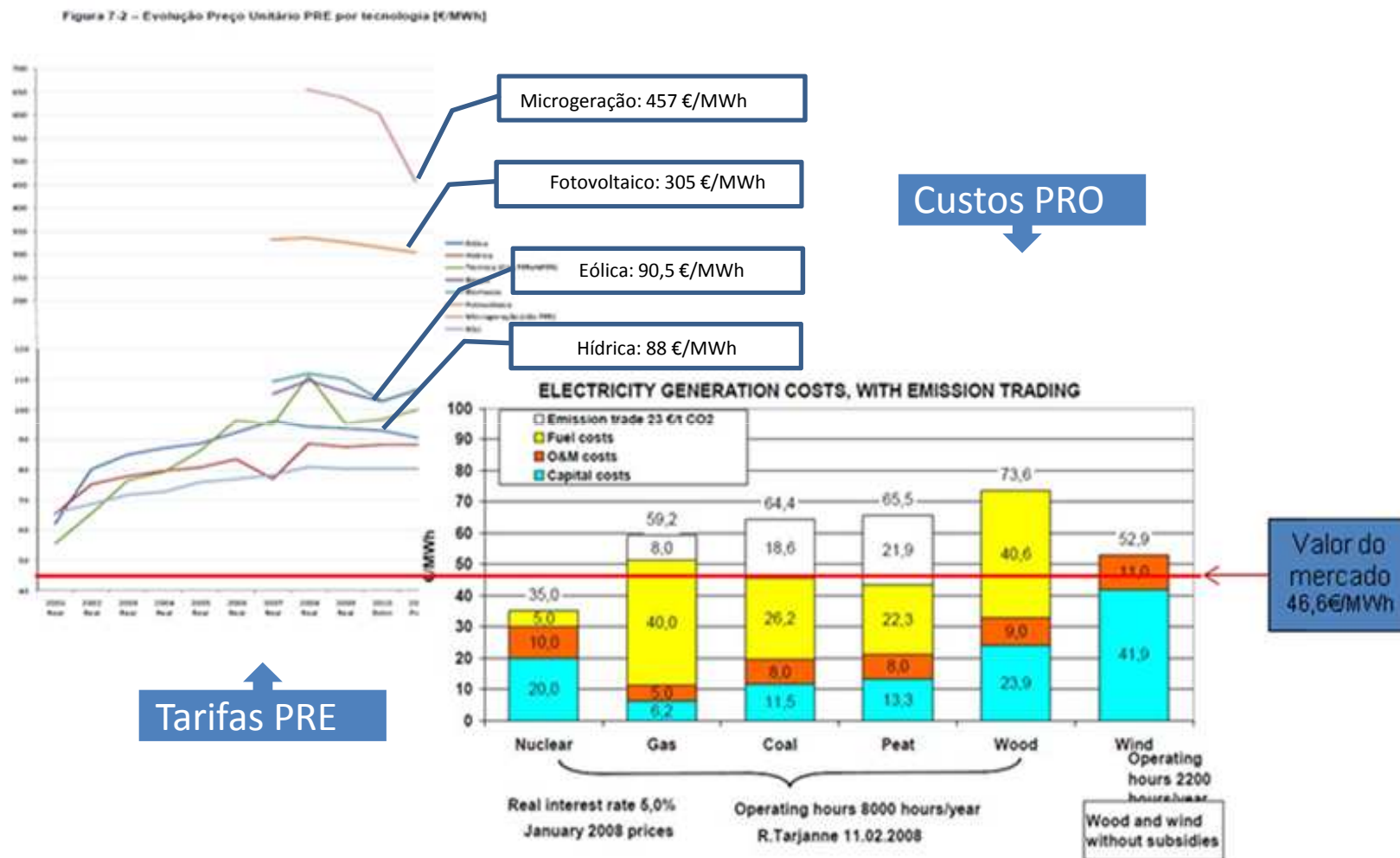
<sup>[2]</sup> Em 2010 e 2011 estão incluídas as rendas ao abrigo do Decreto-Lei n.º 165/2008.

27 de Outubro de 2011

11



# Custos de geração eléctrica - Tarjanne 2008 e ERSE



Fonte: COMPARISON OF ELECTRICITY GENERATION COSTS - Tarjanne Risto, Kivistö Aija , 2008 e ERSE



# E.ON despede 11 pessoas devido ao fecho do nuclear

---

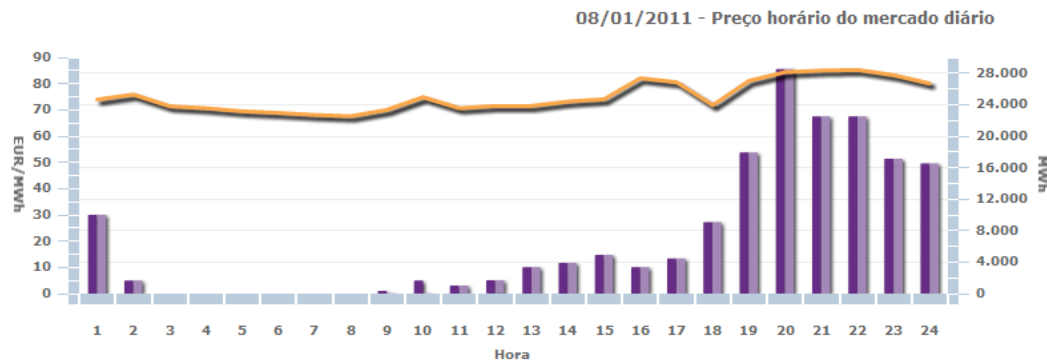
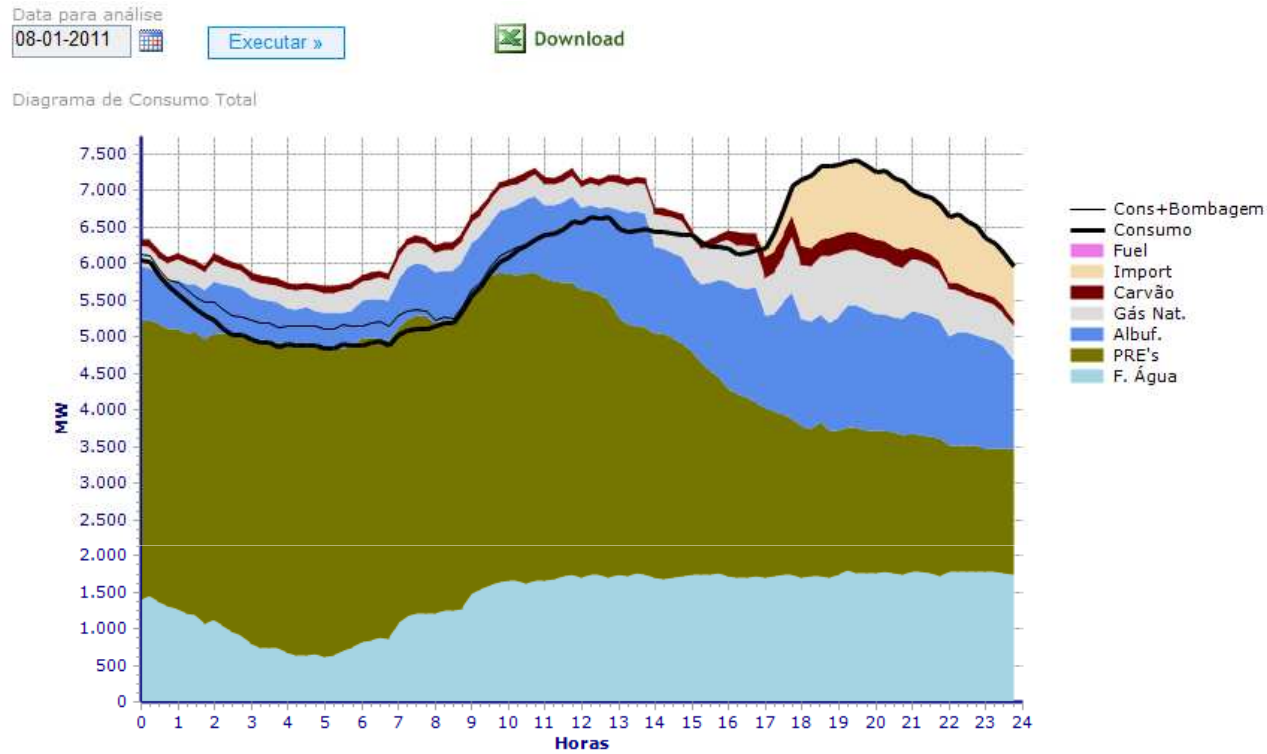


- Para quem contesta a competitividade intrínseca da energia nuclear, esta notícia é reveladora.

- Se as alternativas ao nuclear fossem mais competitivas, não haveria necessidade de fazer despedimentos.



# Uma situação estruturalmente insustentável



Fonte: REN e OMEL



# Custo da energia nuclear na Finlândia

- O custo da energia nuclear entregue aos accionistas da TVO em 2010 foi **20,6 €/MWh** e o do carvão foi de **40,2 €/MWh**, e em 2009 foi de **17,6 €/MWh** para o nuclear e **49,9 €/MWh** para o carvão.

TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

## 1 TURNOVER

1 000 €	2010	2009
Olkiluoto 1 and Olkiluoto 2	289 866	253 658
Meri-Pori	65 240	42 228
Total	355 106	295 886
Electricity delivered to equity holders of the company (GWh)		
Olkiluoto 1	6 936	7 263
Olkiluoto 2	7 127	7 122
Total Olkiluoto *	14 063	14 385
Meri-Pori	1 622	845
Total	15 685	15 230

\* Includes wind energy 1.1 (1.5 in 2009) GWh and energy produced by gas turbine 0.4 (0.5) GWh.

Fonte: [http://www.tvo.fi/uploads/File/Sijoittajatietoa/Vuosikertomukset/TVO\\_report\\_of\\_board\\_of\\_directors\\_and\\_financial\\_statement\\_2010.pdf](http://www.tvo.fi/uploads/File/Sijoittajatietoa/Vuosikertomukset/TVO_report_of_board_of_directors_and_financial_statement_2010.pdf)

- Sendo o custo em Portugal de mais de **90€/MWh** na PRE, indo pagar a **150€/MWh** o eólico bombado e returbinado nas barragens reversíveis, a **300 €/MWh** o fotovoltaico e a **400/MWh** a microgeração, **nunca Portugal poderá ser competitivo sem nuclear.**



## Contrato de 4 APR 1400 para o Abu Dhabi

---

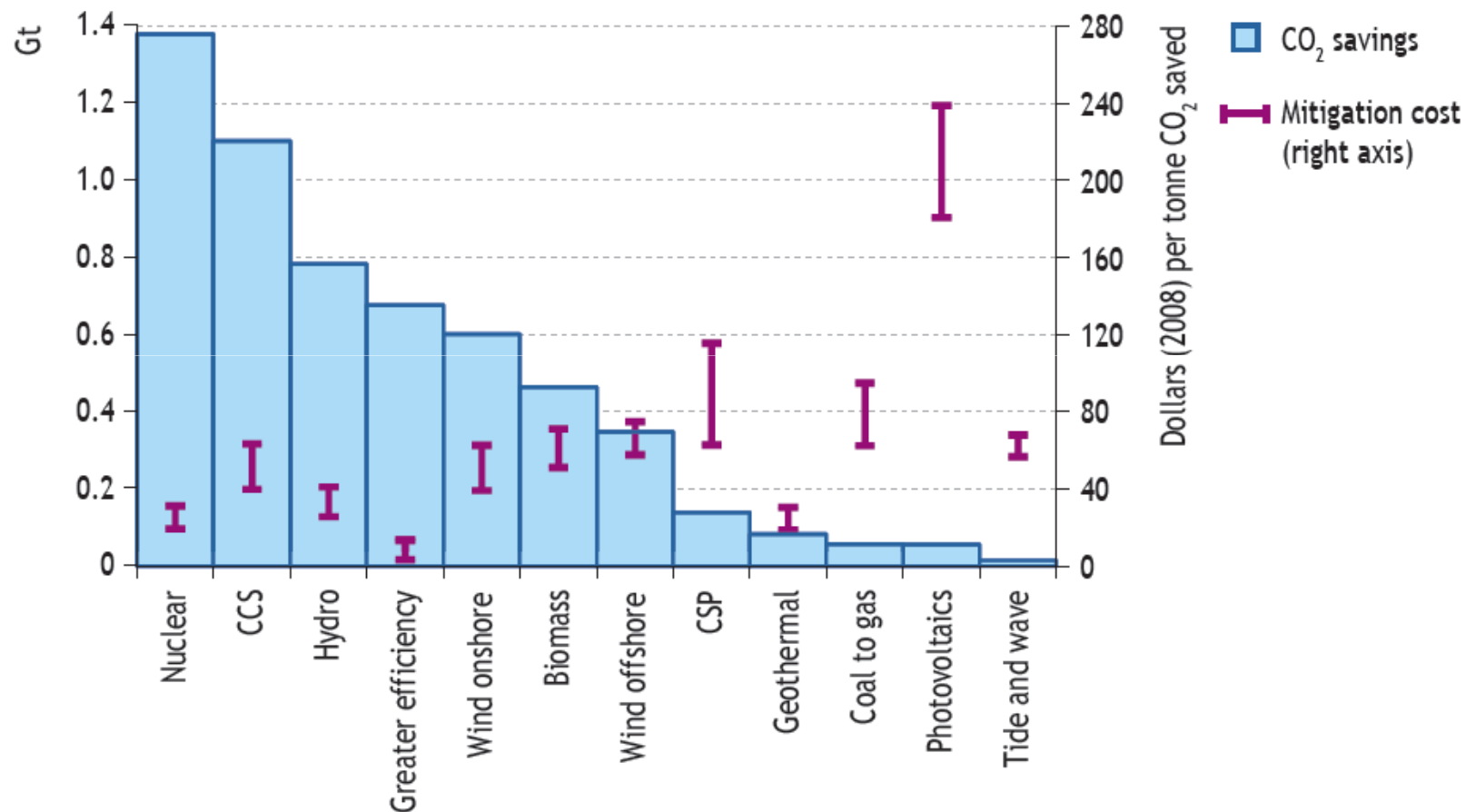
“The primary factor in the selection of the South Korean nuclear power plant model, which has never been exported before, was its cost competitiveness. According to data from the Ministry of Knowledge Economy, the APR’s construction unit cost of 2,300 dollars per kilowatt (kW) was lower than those of its competitors AREVA at 2,900 dollars per kW, and GE at 3,583 dollars per kW. In terms of electricity generation unit cost, the South Korean model’s 3.03 cents per kilowatt hour (kWh) was lower than AREVA’s 3.93 cents kWh, and less than half Hitachi’s 6.86 cents kWh.”

Fonte: [http://english.hani.co.kr/arti/english\\_edition/e\\_international/395775.html](http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_international/395775.html)





# Custos de mitigação e reduções de emissões de CO<sub>2</sub> associadas por tecnologia eléctrica em 2030



Fonte: IEA WEO 2009



# O acidente de Chernobil

## O real impacto medido pela Organização Mundial da Saúde

### SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION

United Nations Scientific Committee on the  
Effects of Atomic Radiation

UNSCEAR 2008  
Report to the General Assembly  
with Scientific Annexes

VOLUME II  
Scientific Annexes C, D and E



UNITED NATIONS  
New York, 2011

#### A. Health risks attributable to radiation

99. The observed health effects currently attributable to radiation exposure are as follows:

- 134 plant staff and emergency workers received high doses of radiation that resulted in acute radiation syndrome (ARS), many of whom also incurred skin injuries due to beta irradiation;

- The high radiation doses proved fatal for 28 of these people;

- While 19 ARS survivors have died up to 2006, their deaths have been for various reasons, and usually not associated with radiation exposure;

- Skin injuries and radiation-induced cataracts are major impacts for the ARS survivors;

- Other than this group of emergency workers, several hundred thousand people were involved in recovery operations, but to date, apart from indications of an increase in the incidence of leukaemia and cataracts among those who received higher doses, there is no evidence of health effects that can be attributed to radiation exposure;

- The contamination of milk with <sup>131</sup>I, for which prompt countermeasures were lacking, resulted in large doses to the thyroids of members of the general public; this led to a substantial fraction of the more than 6,000 thyroid cancers observed to date among people who were children or adolescents at the time of the accident (by 2005, 15 cases had proved fatal);

- To date, there has been no persuasive evidence of any other health effect in the general population that can be attributed to radiation exposure.

[http://www.who.int/ionizing\\_radiation/chernobyl/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/en/)



# A questão da segurança -- Fukushima em nada altera este panorama

## Severe accidents with at least 5 immediate fatalities

Energy chain	OECD		EU-15		Non-OECD	
	Accidents	Fatalities	Accidents	Fatalities	Accidents	Fatalities
Coal	75	2259	11	234	102 1044 (a)	4831 18'017(a)
Oil	165	3789	58	1141	232	16'494
Natural Gas	80	978	24	229	45	1000
LPG	59	1905	19	515	46	2016
Hydro	1	14	0	0	10	29'924 (b)
Nuclear	-	-	-	-	1	31 (c)

(a) First line: Coal non-OECD w/o China; second line: Coal China

(b) Banqiao and Shimantan dam failures together caused 26'000 fatalities

(c) Latent fatalities treated separately

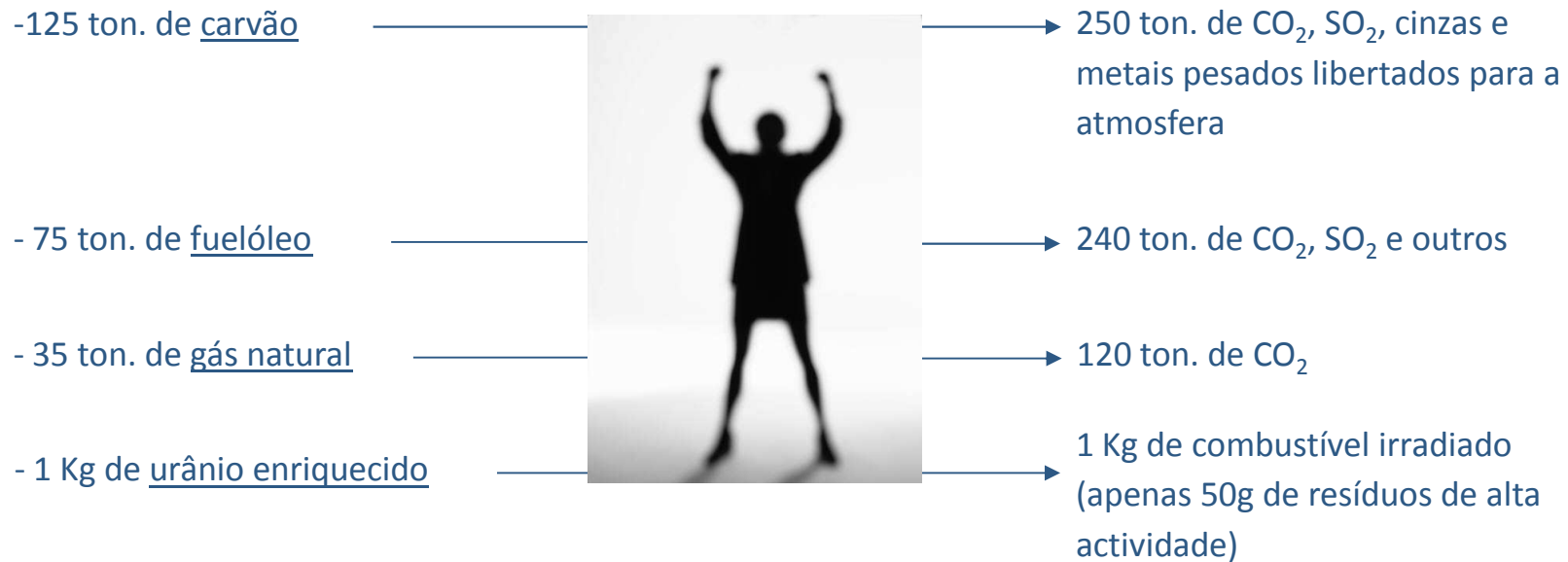
Source: Burgherr et al., 2004

**Em 65 anos (1945-2010), 32 acidentes nucleares mataram 93 pessoas. Nem um terço da mortalidade de um único acidente da aviação comercial, considerada a média dos dez piores desde 1977.**



# A questão dos resíduos nucleares

- A responsabilidade individual perante as gerações presentes e vindouras: Um português consome 5000 kWh por ano. Se durar 80 anos vai consumir 400 MWh durante a sua vida. Assim necessita de consumir como matérias-primas e produzir como resíduos as seguintes quantidades, se utilizar as diferentes fileiras energéticas:



**Usando energia nuclear precisa de 1/70 do seu peso em urânio e produz 1/1000 do seu peso em resíduos de alta actividade, devidamente confinados e vitrificados.**

**Usando carvão precisa de 2000 vezes o seu peso e produz 4000 vezes esse mesmo peso em resíduos perigosos não tratados e lançados na atmosfera.**



# Tratamento / reciclagem de combustível usado

## Condicionamento dos resíduos finais

- a solução nítrica restante que contem ainda produtos de fissão e actinídeos menores é concentrada antes de imobilizada e estabilizada numa forma vitrificada num contentor normalizado UC-V (Universal Canister-Vitrified).
- Os Hulls e os encaixes de extremidade são comprimidos, antes de serem condicionados no UC-C normalizado (Universal Canister-Compacted).

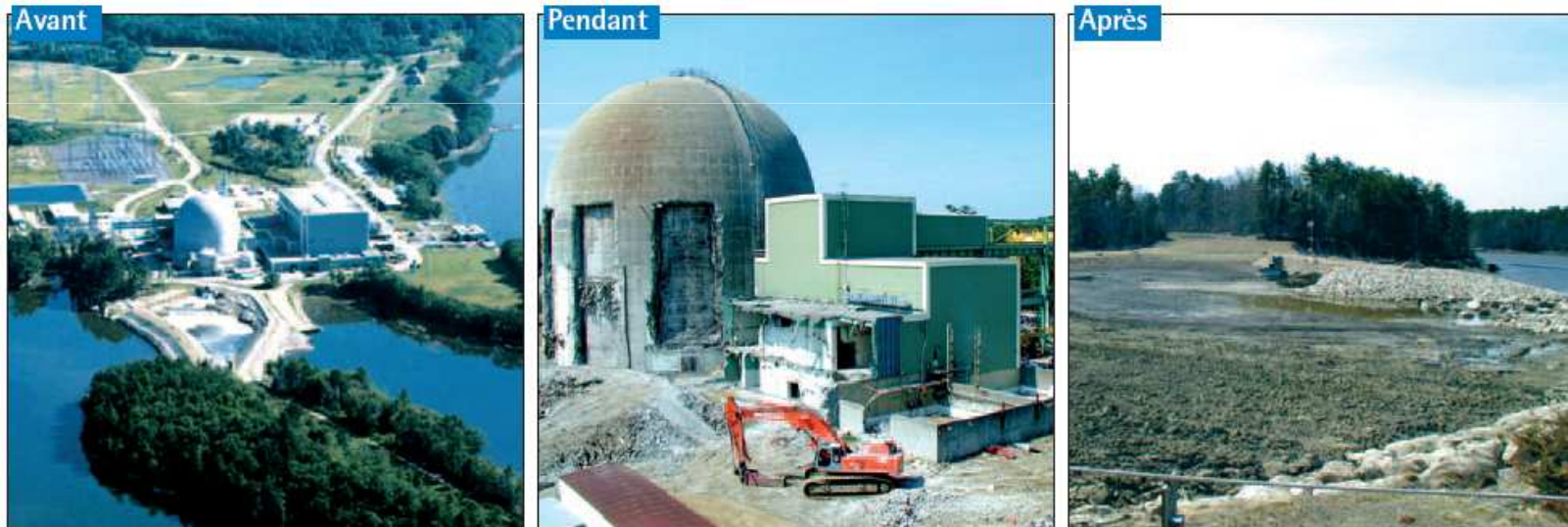


# Desmantelamento das instalações nucleares

---

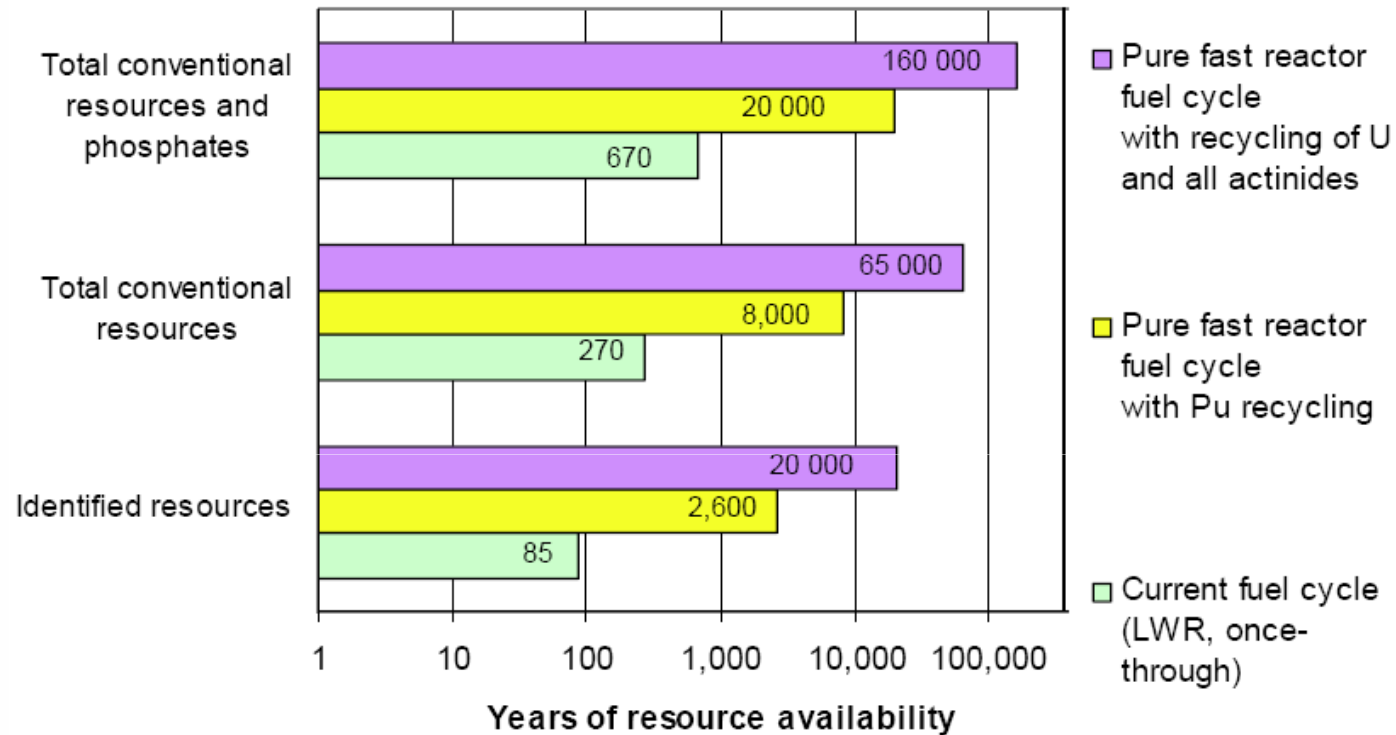
Existe ampla experiência de desmantelamento de instalações nucleares. Os seus custos variam entre cerca de 320 milhões de US\$ para um reactor a água pressurizada de 1 000 MWe e 420 milhões US\$ para um reactor de 1000 MWe a água ebuliente .

**Maine Yankee, Etats-Unis**, réacteur à eau sous pression de 900 MWe. Le démantèlement a été achevé en 2005.



# Disponibilidade de recursos em urânio

IPCC – Maio 2007



*Figure 4.10: Estimated years of uranium resource availability for various nuclear technologies at 2004 nuclear power utilization levels*



## Países com área semelhante a Portugal com nuclear

País	Superfície (km2)	Nº de reactores actuais	% da geração eléctrica	Nº de novos reactores planeados
Portugal	91 985	-	-	-
Bélgica	30 500	7	55	-
Bulgária	110 910	4	38	2
Republica Checa	78 866	6	31	2
Lituânia	65 200	1	80	2
Eslováquia	48 845	6	57	3 (2 em construção)
Eslovénia	20 273	1	40	1
Hungria	93 036	4	33	2
Coreia do Sul	98 824	20	40	12 (6 em construção)





# Conclusões

---

- O País encontra-se numa encruzilhada histórica e dramática. Ou encontra competitividade no seu sistema produtivo, ou estará condenado a prosseguir nas próximas décadas o plano inclinado para um endividamento e empobrecimento crescentes.
- A energia, como factor na base de toda a actividade económica, terá que ser ela própria capaz de ser exportável, e de contribuir para a capacidade exportadora do tecido produtivo nacional. O cluster eólico, devido aos limites técnicos na injeção na rede, deveria ser reorientado para a exportação.
- A energia nuclear é hoje a energia mais procurada para substituir as formas convencionais de geração eléctrica de forma competitiva, segura e sem emissões significativas de GEE's (mesmo nos Países do Médio-Oriente). A sua introdução em Portugal é condição indispensável e incontornável, no estado actual da tecnologia de energia, para reganhar competitividade.

