

Hidrogénio como Combustível

Professor Aníbal Traça de Almeida

**Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra**

06/04/2005

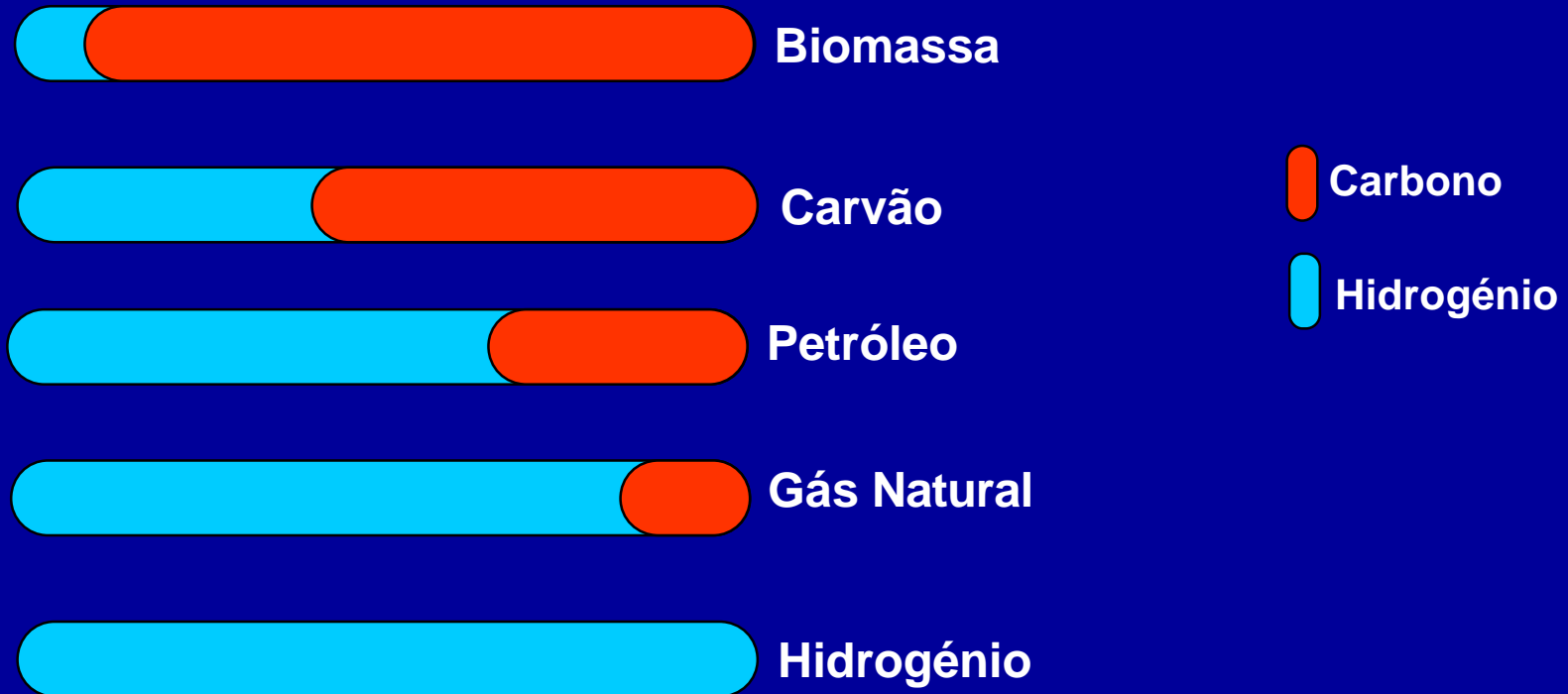
Hidrogénio

- O hidrogénio é um portador de energia sintético
- É o elemento mais comum na natureza (em volume)
- Não existe na sua forma elementar

Benefícios ambientais:

- Emissões nulas, se for utilizado hidrogénio e oxigénio puros;
- Podem existir emissões provenientes da produção de hidrogénio;
- Por cada 25 kg de hidrogénio utilizado, evita-se o consumo de um barril de petróleo;
- Por cada kg de hidrogénio utilizado em vez de petróleo, 3 kg de CO₂ são evitados.

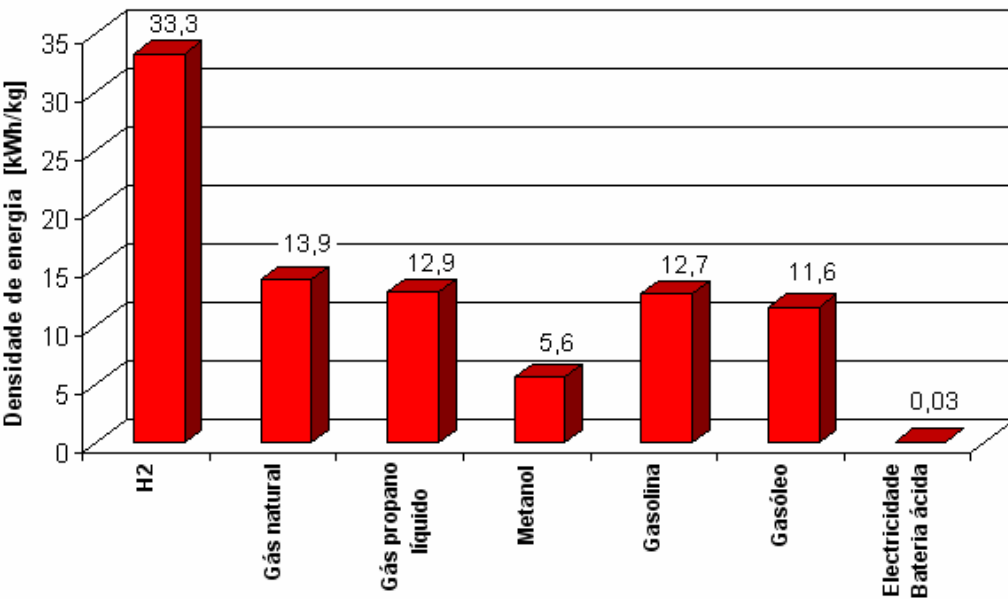
Transição de Combustíveis



Menos carbono
⇒ menos emissões

Conteúdo Energético do Hidrogénio

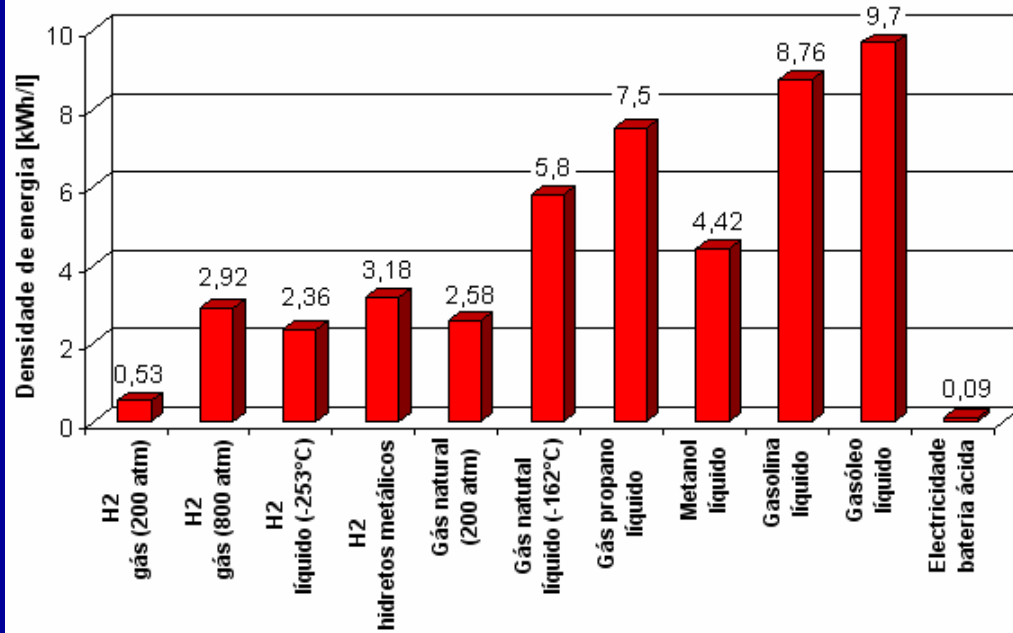
Densidade de energia por Massa [kWh/kg]



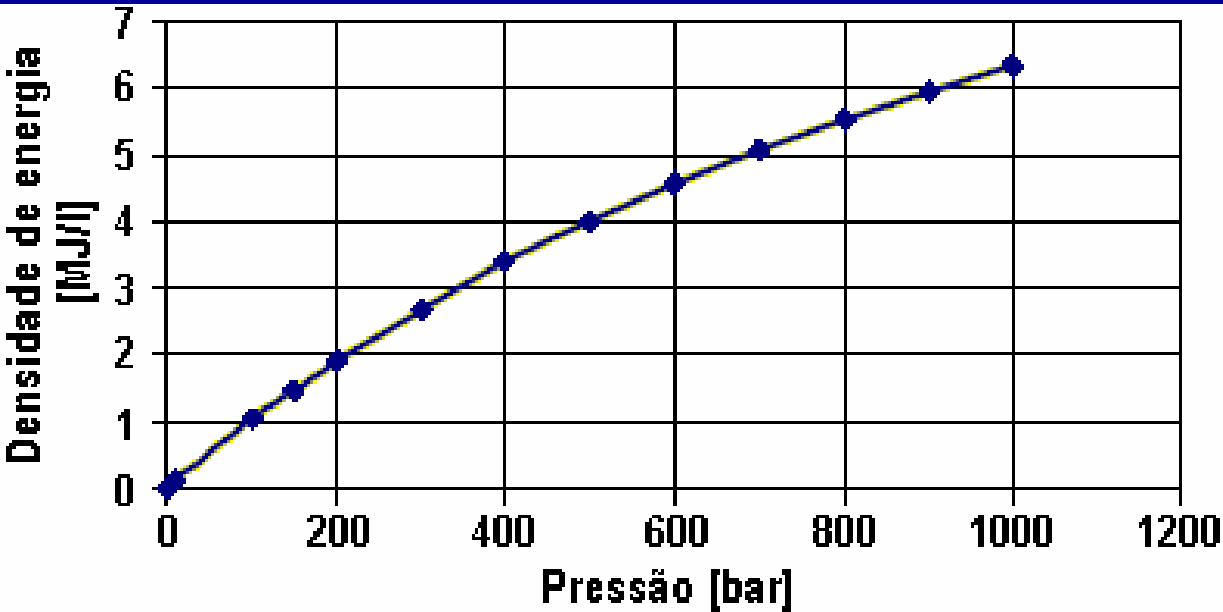
O hidrogénio tem cerca de 2,4 vezes mais energia que o gás natural por unidade de massa; e cerca de 1100 vezes mais que uma bateria ácida.

A 200 atm, o hidrogénio tem apenas cerca de 6 vezes mais energia que uma bateria ácida.

Densidade de energia por volume [kWh/l]



Armazenamento

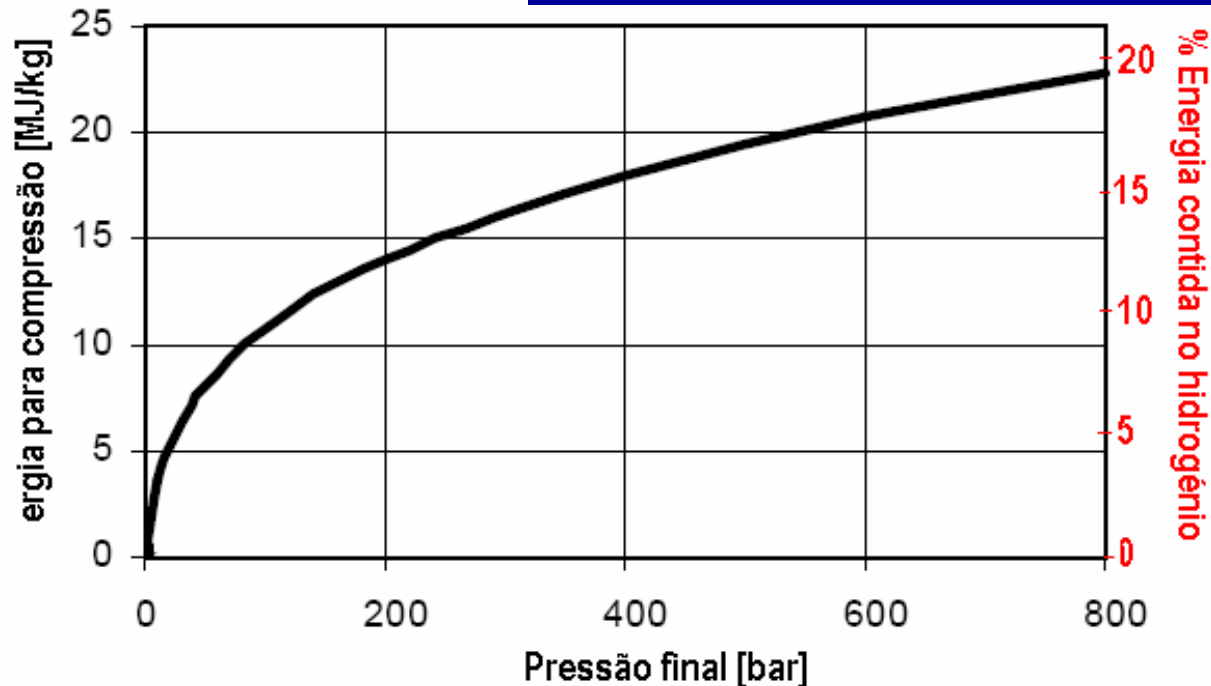


O armazenamento é um problema.

Baixas pressões \Rightarrow elevados volumes

Para comprimir H_2 até 800 bar
 \Rightarrow ~20% da energia do H_2

Outra alternativa: Liquidificar o hidrogénio (~ -252 °C)
 \Rightarrow 35 a 60 MJ/kg (30 a 50% da energia do H_2)



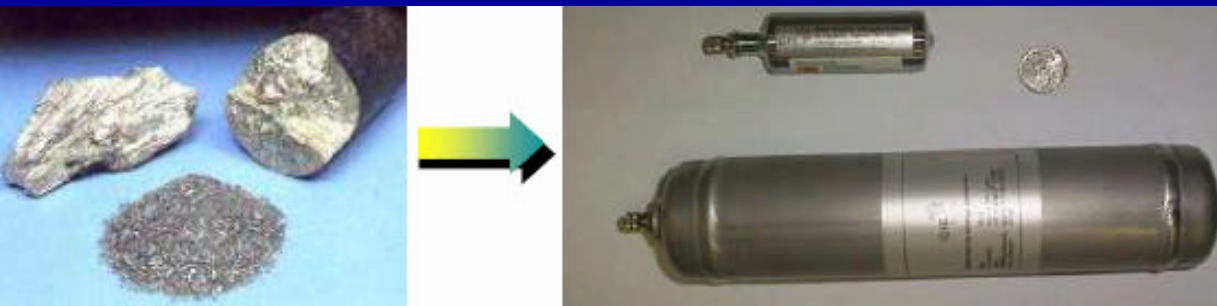
Contentores de Hidrogénio

Contentor de aço



Contentor de fibras de carbono

Hidretos Metálicos



Armazenam 55 a 60 kg de hidrogénio por metro cúbico.

Transporte de Hidrogénio



Trailer for
Compressed Gaseous Hydrogen
with
lightweight compound bottles

total weight: **40 t**
Hydrogen load: **530 kg**

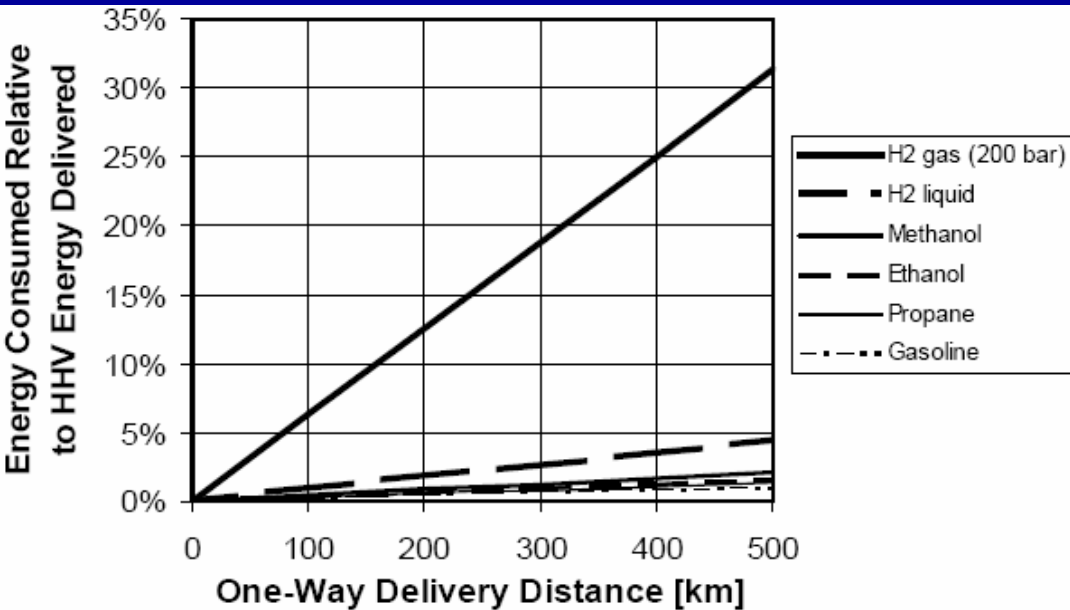
Trailer for
Liquid Hydrogen
with
a super insulated cryostat



total weight: **< 40t**
Hydrogen load: **3.370 kg**



Transporte de Hidrogénio

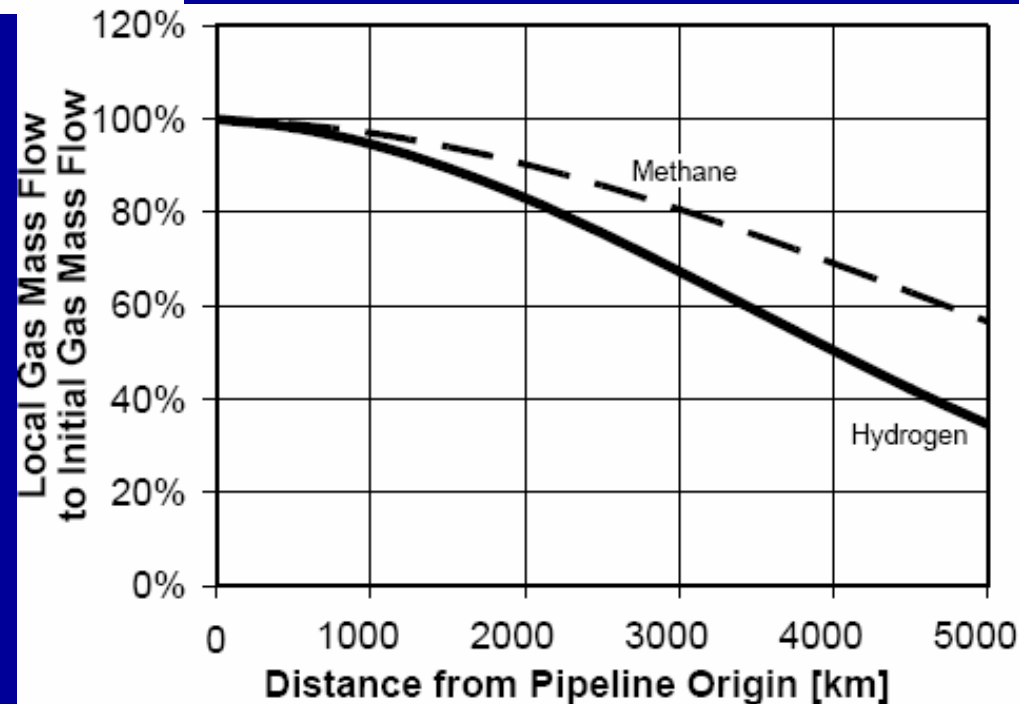


Com hidrogénio líquido tem-se relativamente poucas perdas em relação à energia transportada.

No entanto a energia gasta para liquidificar o hidrogénio é elevada.

Motivos para a perda de energia:

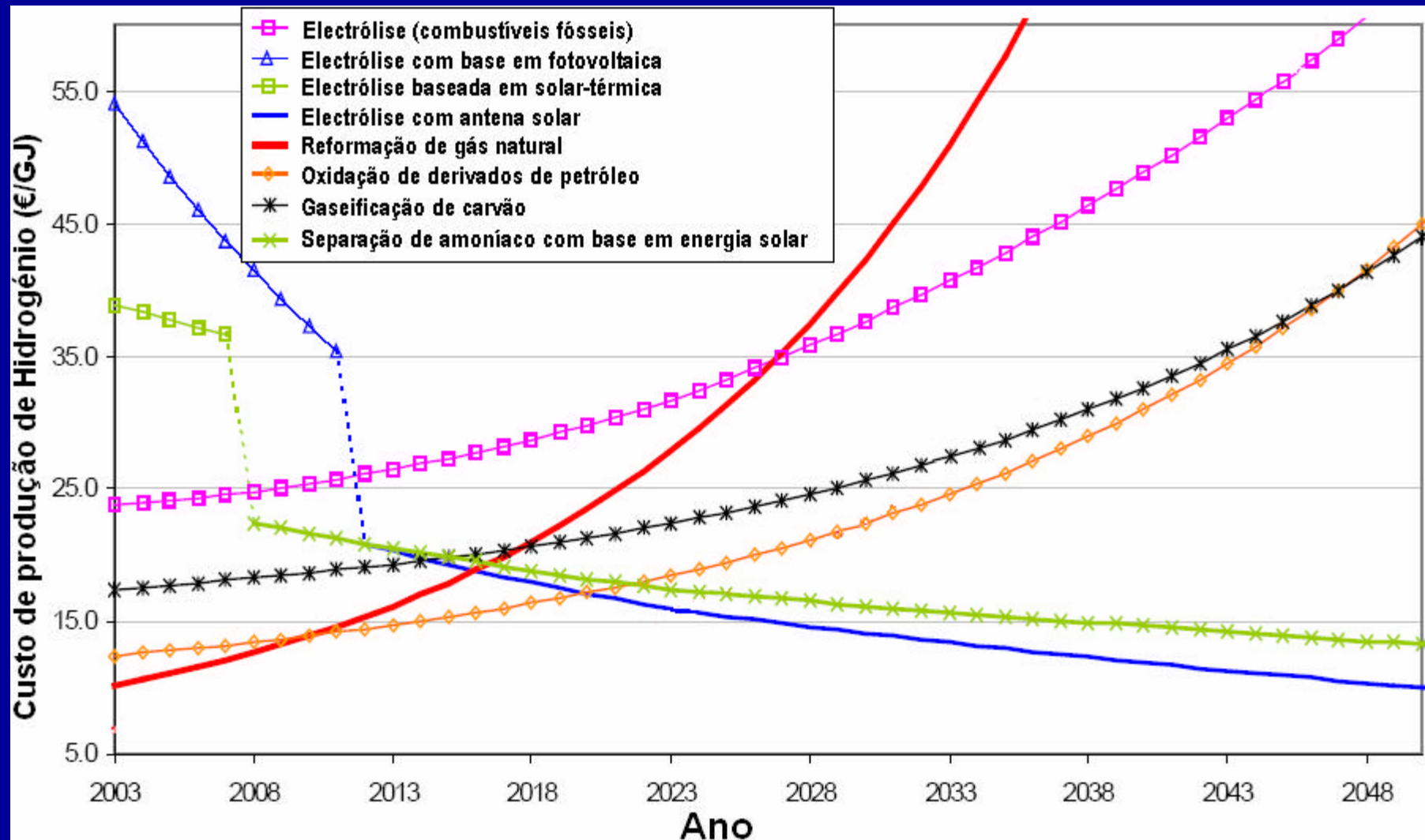
- Energia necessária para a bombagem do Hidrogénio;
- Perdas por difusão.



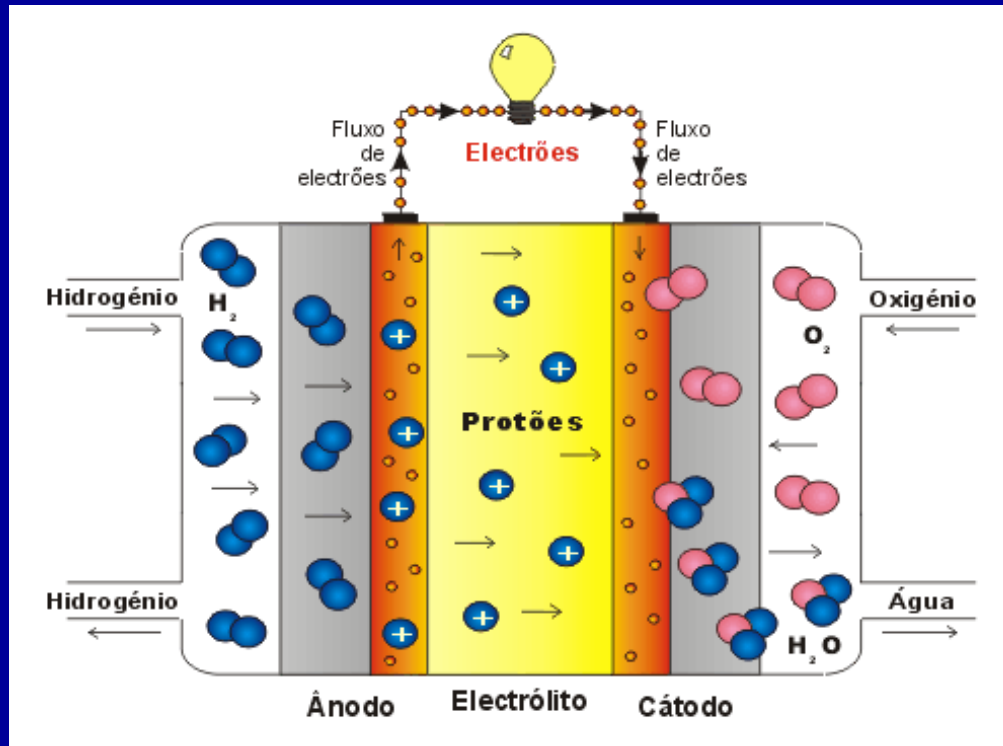
Produção de Hidrogénio

- **Reformação de combustíveis fósseis (96%)**
 - Gás Natural (48%)
 - Petróleo (30%)
 - Carvão (18%)
- **Electrólise (4%)**
- **Outros métodos possíveis, actualmente pouco representativos**
 - Pirólise de biomassa
 - Fotobiológicos (cianobactérias)

Custos de Produção de Hidrogénio



Células de Combustível



Fonte: celulasdecombustivel.planetaclix.pt

Tipos de Células de Combustível:

- Células de Combustível de Membrana de Permuta de Protões (**PEMFC** – *Proton Exchange Membrane Fuel Cells*)
- Células de Combustível de Ácido Fosfórico (**PAFC** – *Phosforic Acid Fuel Cells*)
- Células de Combustível de Carbonato Fundido (**MCFC** – *Molten Carbonate Fuel Cells*)
- Células de Combustível de Óxido Sólido (**SOFC** – *Solid Oxide Fuel Cells*)

Principais Características

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Electrólito	Membrana de polímeros	Concentrado de ácido fosfórico retido numa matriz de carboneto de silício	Carbonato de sal fundido, quimicamente inerte, estabilizado num suporte de óxido de Lítio Alumínio	Material cerâmico
Auto-processamento de combustível	Não	Não	Sim	Sim
Temperatura de funcionamento	65-85°C	190-210°C	550-650°C	800-1000°C
Combustível	Gás natural, hidrogénio, propano, diesel	Gás natural, biogás, propano	Gás natural, hidrogénio	Gás natural, hidrogénio, biogás, fuelóleo
Eficiência eléctrica da célula (sem cogeração)	25-35%	35-45%	40-50%	45-55%
Disponibilidade Comercial	Disponível	Disponível	Alguma Disponibilidade	Alguma Disponibilidade

Custos Comparados com Outras Tecnologias

Tecnologia	Custos de Capital (€/kW)	
	Projectado (2010)	Presente
PEMFC	1100 - 1800	2400 - 12000
PAFC	1350 - 1800	4000 - 5000
SOFC	1200 - 2000	10000 - 16000
MCFC	1200 - 2000	-
Microturbinas	700 - 1000	
Turbina de Combustão	200 - 600	
Turbina de Combustão com Cogeração	700 - 1000	
Motor de Combustão Interna	200 - 900	
Motores de Stirling	2000 - 10000	
Eólico	900 - 1200	
Fotovoltaico	3500 - 6000	

Custo Nivelado da Energia

Tecnologia	CNE €/kWh	Potência kW	Factor de Carga %	Vida Útil Anos
Células de Combustível (2900 €/kW)	7,2	200	90	12,5
Microturbinas	6,0	100	90	12,5
Turbina de Combustão c/ Cogeração	3,6	10	90	20
Motor de Combustão Interna	8,0	100	90	20
Motores de Stirling	15,2	25	90	10
Eólico	8,0	100	30	20
Fotovoltaico	21,6	100	20	20

Aplicações das Diversas Tecnologias

	Microturbina	Motor de Combustão Interna	Célula de Combustível Baixa Temp.	Célula de Combustível Alta Temp.
Base		?	•	•
Ponta	•	•	?	?
Standby/Backup	•	•		•
Cogeração				•
Qualidade de Energia			•	

• Alto Potencial

? Baixo Potencial

Potenciais Benefícios na Geração Distribuída

- Redução do consumo de energia primária, o que permite a diminuição da importação de combustíveis fósseis;
- Redução das emissões de dióxido de carbono;
- A GD reduz a necessidade de se expandir a capacidade de expansão do sistema eléctrico (geração, transporte e distribuição);
- Redução das perdas de transporte e distribuição;
- Fornecimento de energia eléctrica de elevada qualidade, para os consumidores com requisitos de fiabilidade elevados.

Potenciais Benefícios na Cogeração Descentralizada

- Aperfeiçoamentos na tecnologia tornaram as novas células de combustível fáceis de fabricar, instalar e usar;
- As actuais células de combustível alimentadas a gás natural operam com uma eficiência de conversão de 40 a 50%, prevendo-se num futuro próximo alcançar uma eficiência de 50 a 60%;
- A eficiência do uso combinado de energia eléctrica e térmica pode conduzir a uma eficiência global de 80%.

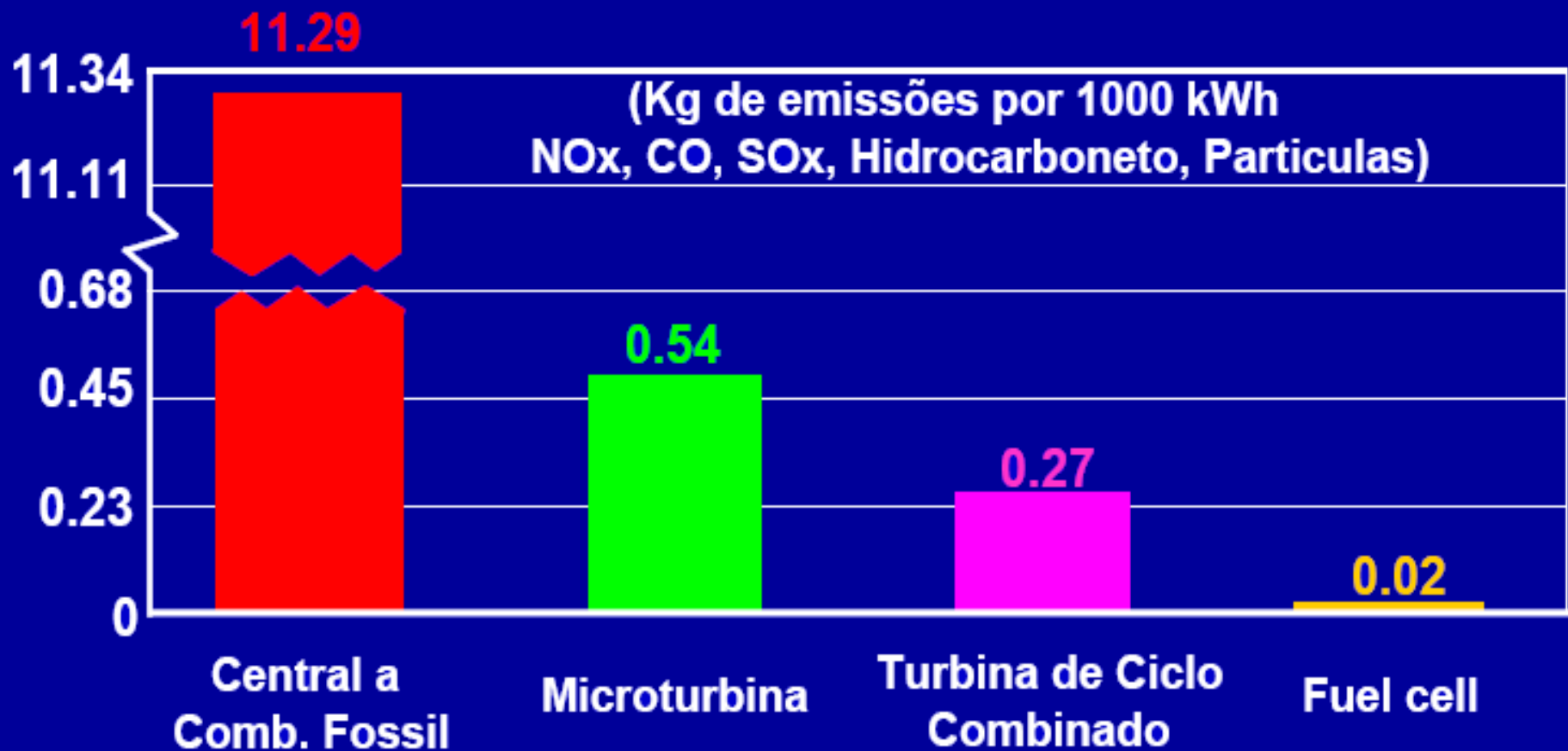
Potenciais Benefícios na Cogeração Descentralizada

- Tanto os consumidores como as *utilities* podem poupar uma grande quantidade de dinheiro anualmente usando auto-geração durante as horas de ponta;
- As células de combustível podem operar a gás natural, que está amplamente disponível na maioria das áreas urbanas na UE;
- Nos países em desenvolvimento afectados por uma rápido crescimento do consumo, as células de combustível oferecem grandes oportunidades.

Emissões das Diversas Tecnologias

	Turbina de Combustão	Motor de Combustão Interna	Microturbina	Célula de Combustível PEM	Célula de Combustível SOFC
Potência	50 kW 5 MW	500 kW 25 MW	30 kW 70 kW	<1 kW 250 kW	250 kW 3 MW
Eficiência					
HHV	28 - 42%	21 - 40%	25 - 30%	<36%	50 - 54%
LLV	31 - 47%	34 - 44%	28 - 33%	<40%	55 - 60%
NOx (Gás Natural) (g/kWh)	>1,360	0,499 - 0,272	0,635 - 0,227	0,009	<0,0009
CO₂ (Gás Natural) (g/kWh)	640 - 426	853 - 449	717 - 594	>513	358 - 331
SOx (Gás Natural) (kg/kWh)	5,443 - 3,629	7,257 - 3,629	5,896 - 4,989	0,09	0,045

Emissões das Diversas Tecnologias



Possível Utilização do Calor

Tipo	Temperatura de Operação	Opções de Utilização do Calor
PEM	80°C	Água Quente
PAFC	200°C	Vapor de Baixa Pressão Água Quente Ar Condicionado
MCFC	600°C	Vapor de Alta/Baixa Pressão Água Quente Ar Condicionado Turbina a Vapor
SOFC	800 - 1000°C	Vapor de Alta/Baixa Pressão Água Quente Ar Condicionado Turbina a Vapor

Vantagens e Inconvenientes das Células de Combustível

Vantagens	Desvantagens
Rendimento combinado elevado	Custos iniciais muito elevados
Emissões reduzidas	Exigem combustíveis de elevada pureza
Níveis de ruído reduzidos	Falta de experiência de manutenção e de mão de obra especializada
Elevado potencial para aplicações de cogeração	
Instalação modular permitindo uma vasta gama de potências	Tecnologia maioritariamente ainda em fase de demonstração
Facilidade de instalação	
Boa capacidade para seguimento da carga	

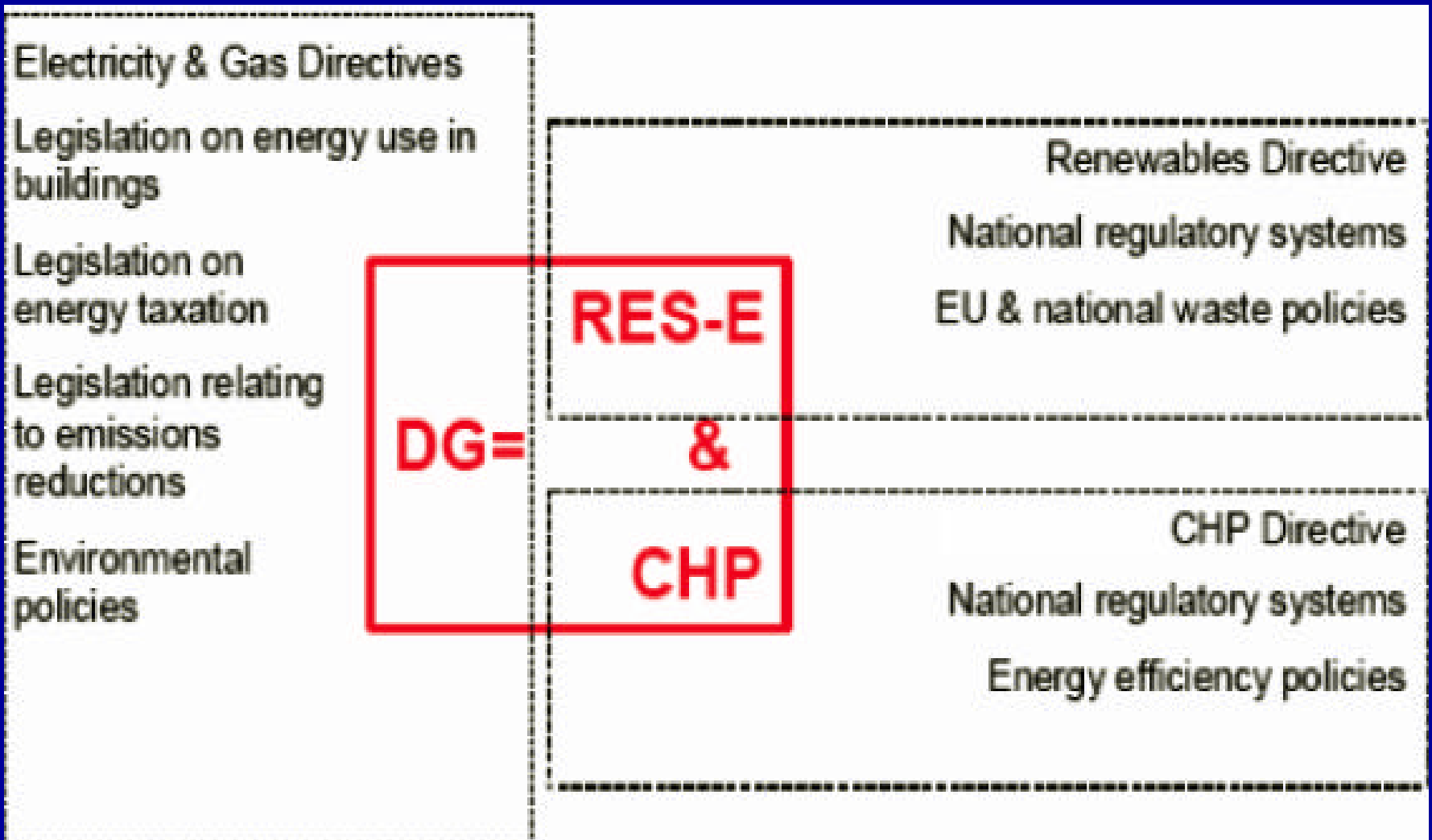
Aplicações

PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
<ul style="list-style-type: none">• Transportes• Aeronaves• GD de electricidade em casas e edifícios• Aplicações portáteis	<ul style="list-style-type: none">• Geração distribuída• Sistemas encapsulados de elevada fiabilidade• Industria• Hospitais• Escolas• Aeroportos	<ul style="list-style-type: none">• Geração distribuída• GD para suporte à rede• Industria• Instituições governamentais• Universidades• Hospitais	<ul style="list-style-type: none">• Geração distribuída• Cogeração residencial• Edifícios comerciais de pequena dimensão• Instalações industriais

Utilizador Típico de Células de Combustível

- Elevados requisitos de qualidade de energia;
- Utilização do calor para fornecer água quente e/ou aquecimento;
- Utilização do calor para arrefecimento (trigeração);
- Fornecimento primário ou capacidade de *back-up*;
- Redução da dependência da rede;
- Elevados desafios ambientais;
- Possível incremento da potência.

Legislação Comunitária



Principais Barreiras de Mercado

- Elevado custo;
- Nível de conhecimento;
- Disponibilidade de apoio técnico;
- Disponibilidade de rede de gás;
- Disponibilidade de capital;
- Volatilidade de preços do gás e petróleo;
- Reduzidos preços da energia eléctrica;
- Liberalização do mercado.

Estratégias de Promoção

- Campanhas de informação e aconselhamento;
- Formação e assistência no local;
- Mecanismos de financiamento;
- Legislação;
- Serviços de energia de elevada fiabilidade;
- Acordos colectivos com os fabricantes.

Fabricantes

Baixa Temperatura:

- Plug Power (EUA)
- Ballard (Canada)
- Nuvera Fuel Cells (EUA)
- Idatech (EUA)
- Astri (Canada)
- Axane (França)

Média Temperatura:

- UTC Power (EUA)

Alta Temperatura:

- FuelCell Energy (EUA)
- MTU Friedrichshafen GmbH (Alemanha)
- Siemens Power Generation (Alemanha)

SAVE II

O ISR - Universidade de Coimbra coordena o projecto Europeu do SAVE II “Providing Energy Services with Fuel Cells in a Liberalised Energy Market”.

Resultados Esperados:

- O projecto tem como o objectivo a penetração de células de combustível em edifícios e em pequenas e médias empresas industriais, que nos países envolvidos (Portugal, França e Alemanha) têm um consumo superior a 350 TWh. Com as novas tecnologias de geração distribuída, com particular ênfase nas células de combustível, cerca de um quarto desse consumo pode beneficiar de geração distribuída.
- Cerca de 10 milhões de TEP podem ser poupados por ano no valor de 2.000 milhões de Euros, com uma redução de emissões de CO₂ associadas de 20 milhões de toneladas por ano.