

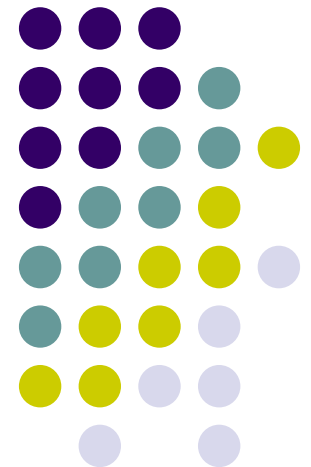


REFORMA DO ETANOL E O DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

J. Octavio Armani Paschoal
IPEN /CNEN – SP

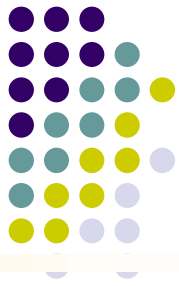
SEMINÁRIO :
“ **NOVAS TECNOLOGIAS PARA
BIOENERGIA** ”

IEA - USP





- **Hidrogênio & Emissão de CO₂**
- Matriz Energética Brasileira
- Etanol & Fontes de Hidrogênio
- Células a Combustível
- Considerações Finais



Hidrogênio

Elemento mais abundante do Universo;

Compõe 90% de todas moléculas;

Usado como combustível : nenhum impacto ambiental

Encontrado na água, biomassa, compostos orgânicos, fósseis, etc.

Hidrogênio &
Emissão de CO2

Matriz Energética
Brasileira

Etanol & Fontes
de Hidrogênio

Células a
Combustível

Considerações
Finais

Descarbonização:

descarbonização da energia ” redução “ da proporção entre átomos de carbono e hidrogênio (C/H).

Tendência de Uso H₂ :

Século XIX : a madeira foi substituída pelo carvão;

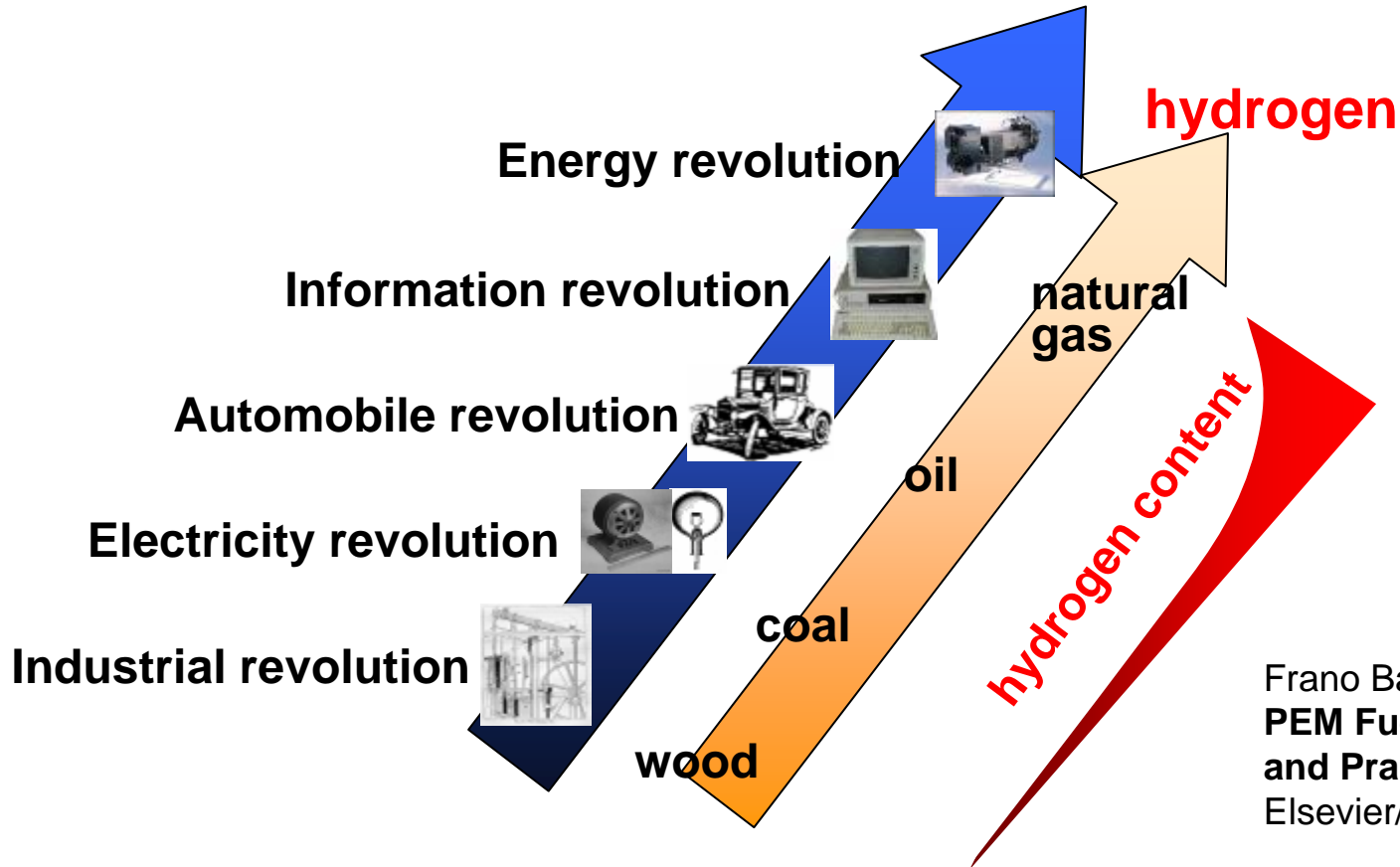
Século XX : carvão foi substituído pelo petróleo e gás natural;

século XXI: petróleo e gás natural serão substituídos pelo hidrogênio;



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

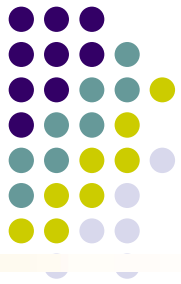
	H/C	FONTE	Emissão de CO2 p/unidade energia
Madeira	1a3/10	Renovável	Aumenta
Carvão	1/2	Fóssil	
Petróleo	2/1	Fóssil	
Gás Natural	4/1	Fóssil	
Etanol	2/1	Renovável	
Metanol	2/1	Renovável	
Hidrogênio	Puro	Renov/Fóssil	Aprox. 0% emissão



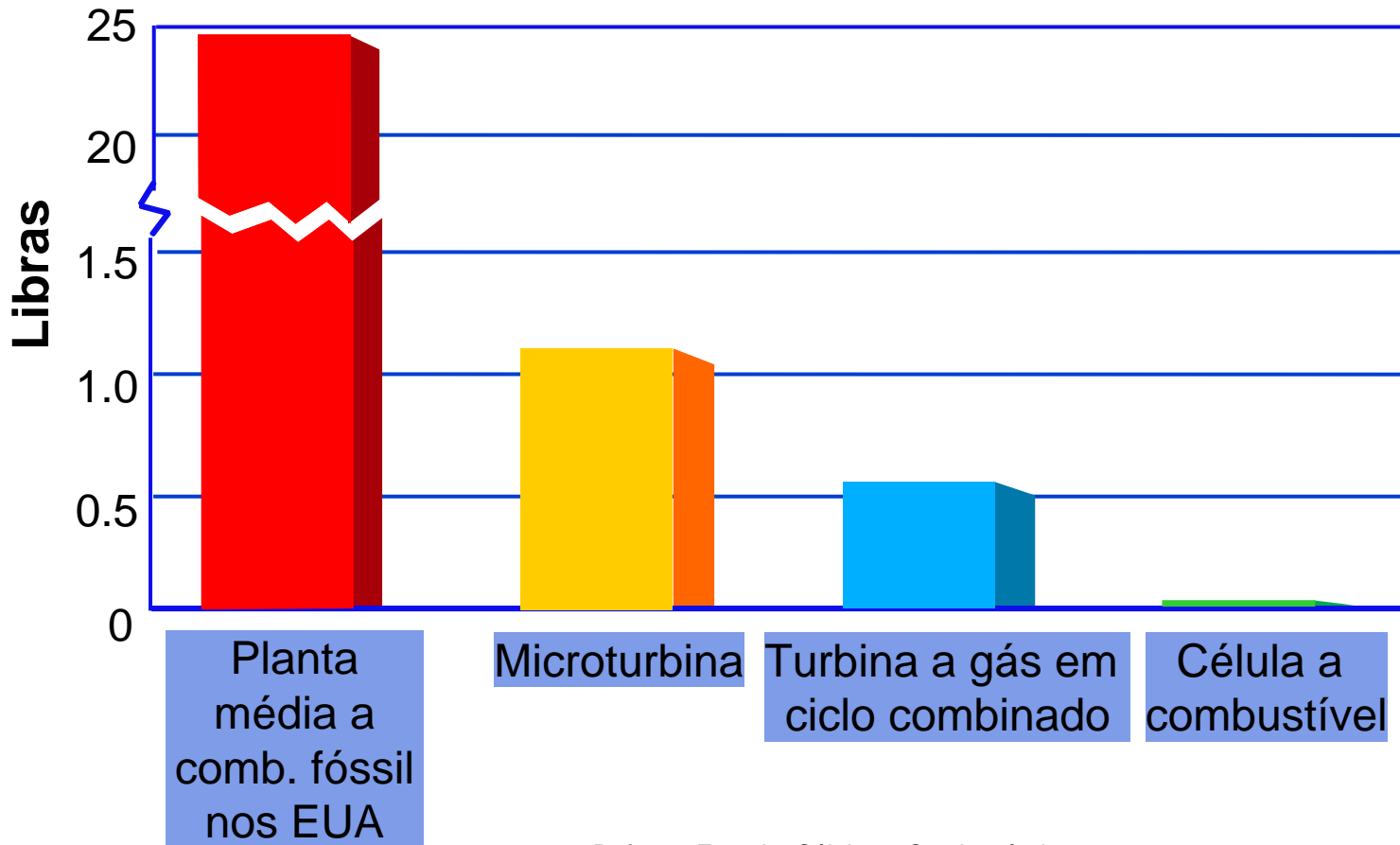
Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Frano Barbir
PEM Fuel Cells: Theory and Practice, 2005
 Elsevier/Academic Press

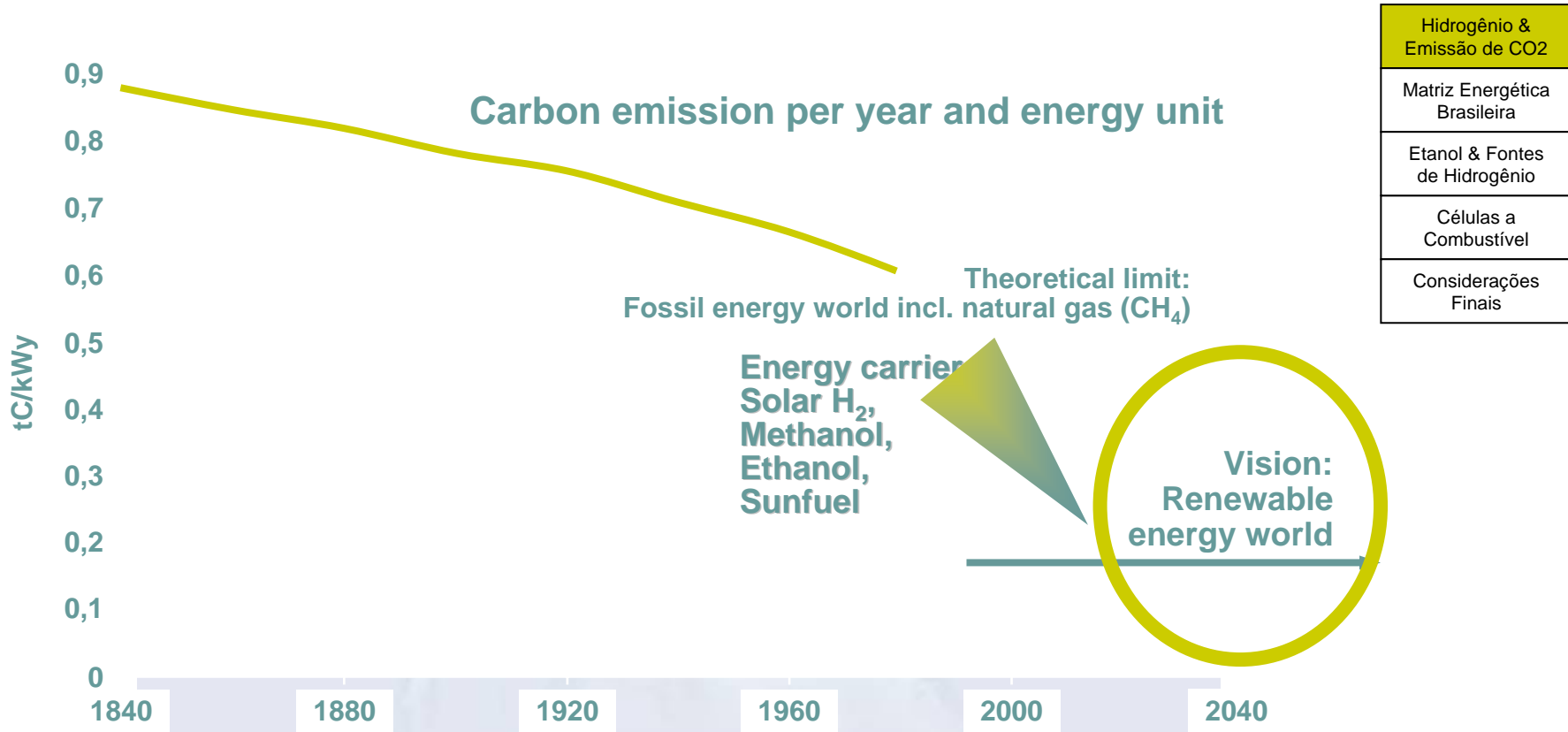
Emissões da Célula a Combustível PC25C / UTC



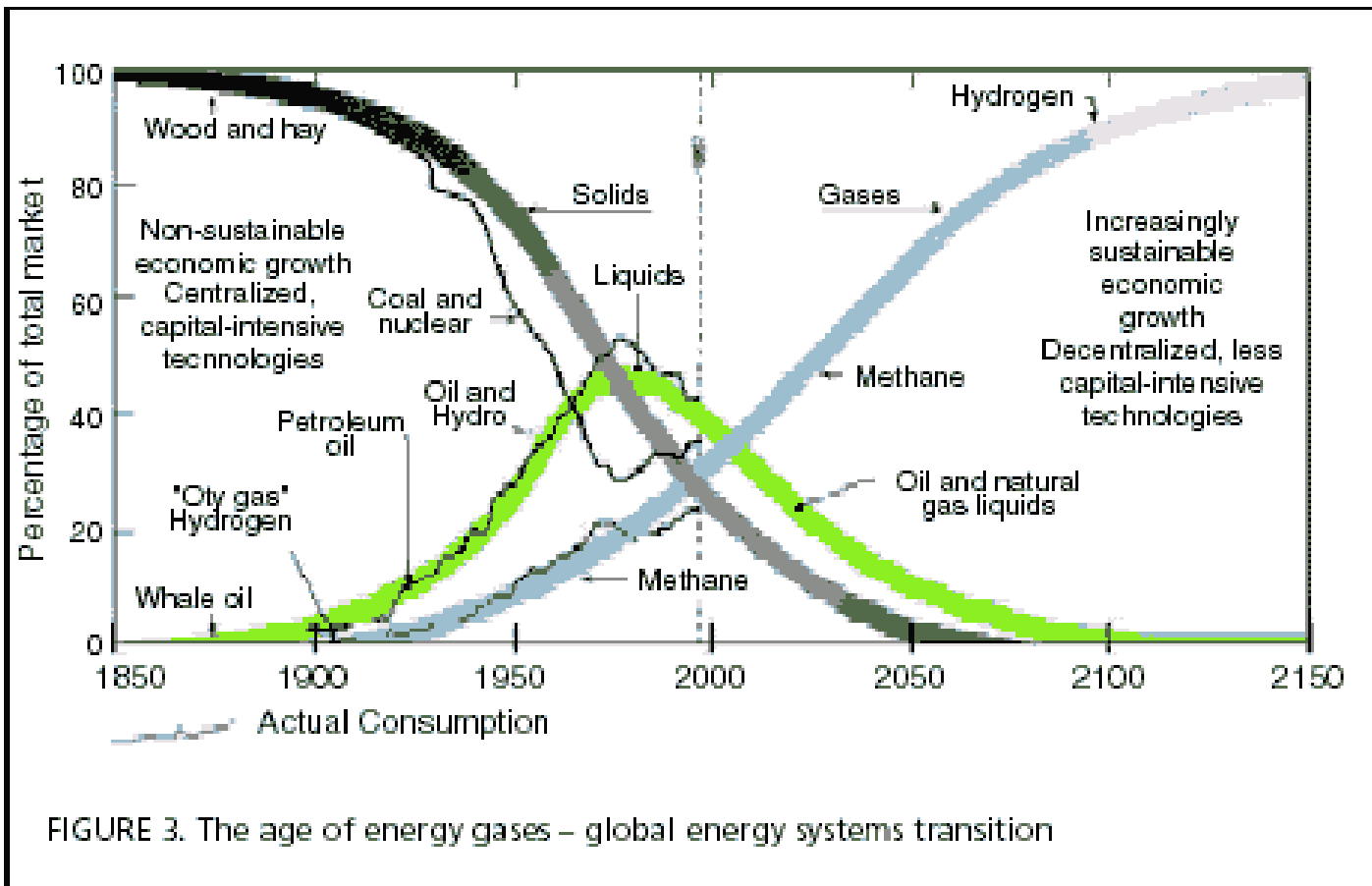
Emissão por 1000 kWh de NO_x, CO, CO₂, SO_x, Hidrocarbonetos e Particulados



Hidrogênio & Emissão de CO ₂
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



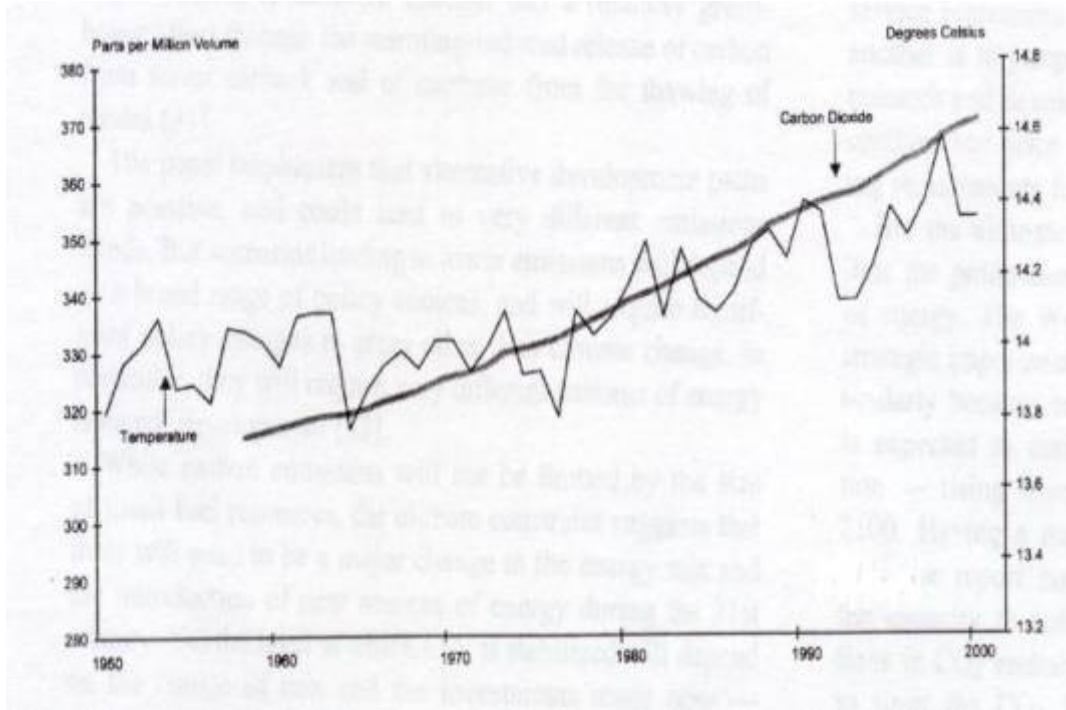
Source of Date: Nakicenovic, N. and John, A. (1991) „CO₂ reduction and removal: measures for the next century“, Energy 16, 11/12.



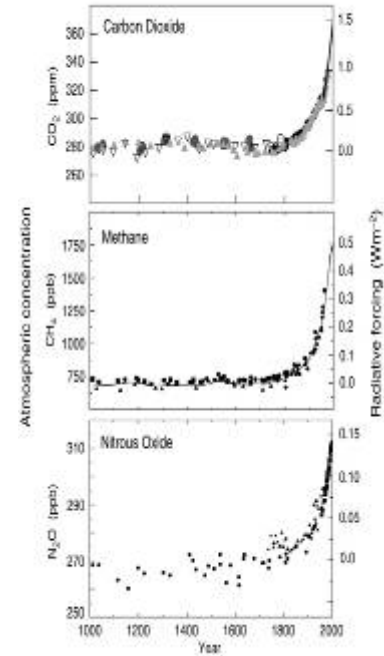
Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Hefner RA, GHK Company: The age of energy gases.

Poluição do Ar e Aquecimento Global



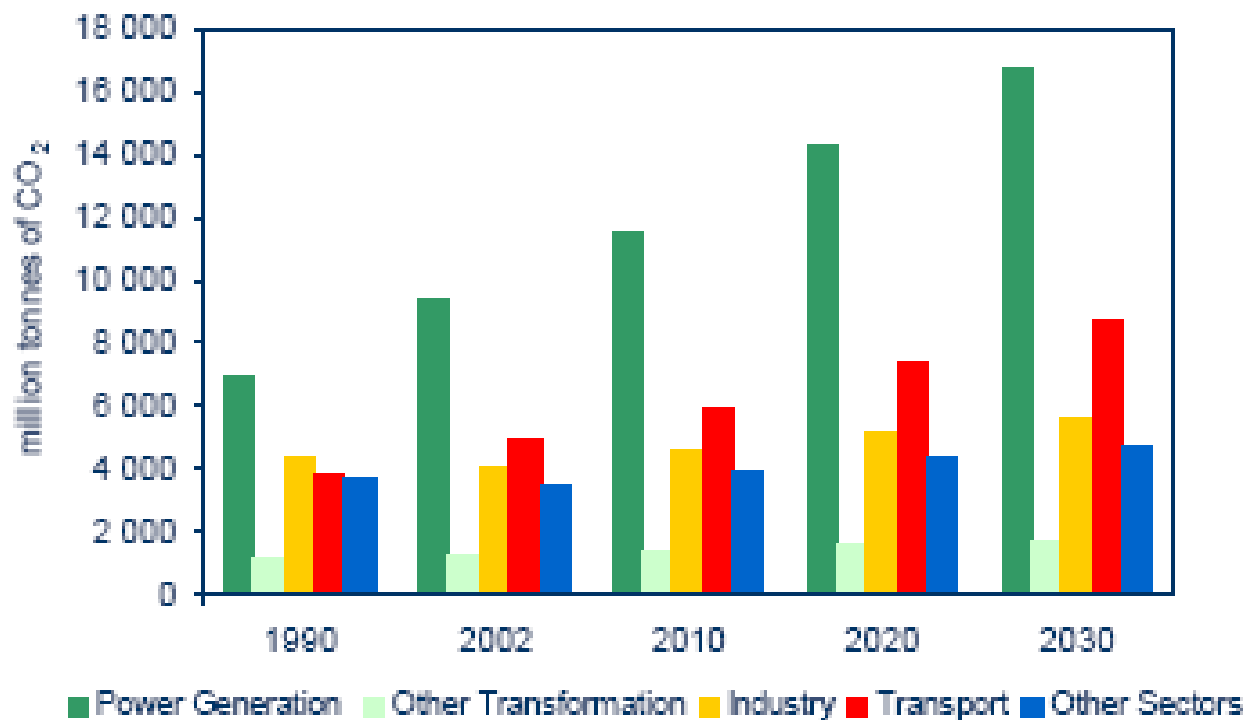
(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



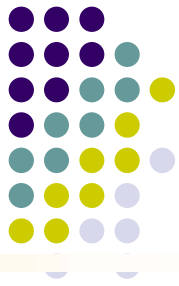
Emissões de CO₂ por Setor 1990 - 2030



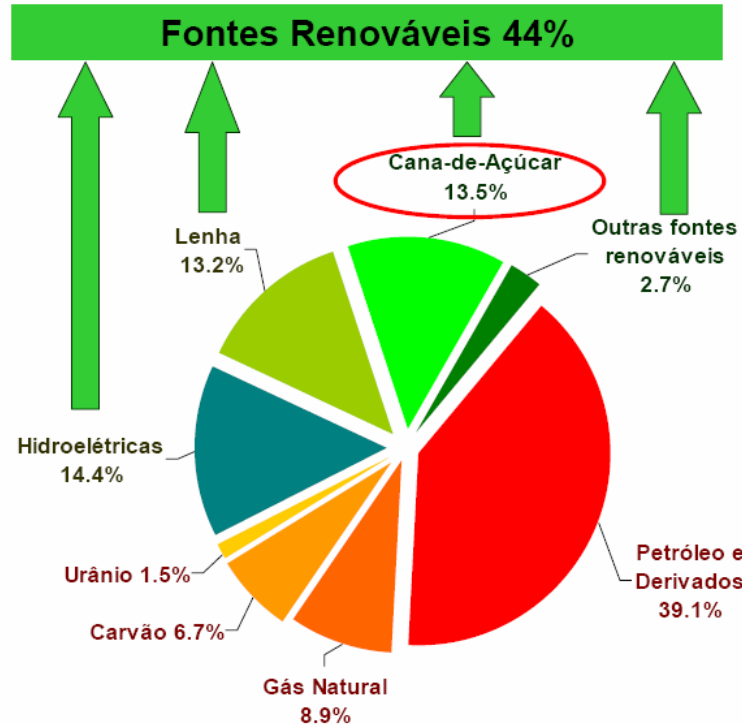
Hidrogênio & Emissão de CO ₂
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



- Hidrogênio & Emissão de CO₂
- **Matriz Energética Brasileira**
- Etanol & Fontes de Hidrogênio
- Células a Combustível
- Considerações Finais



Matriz Energética Brasileira (2005)



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

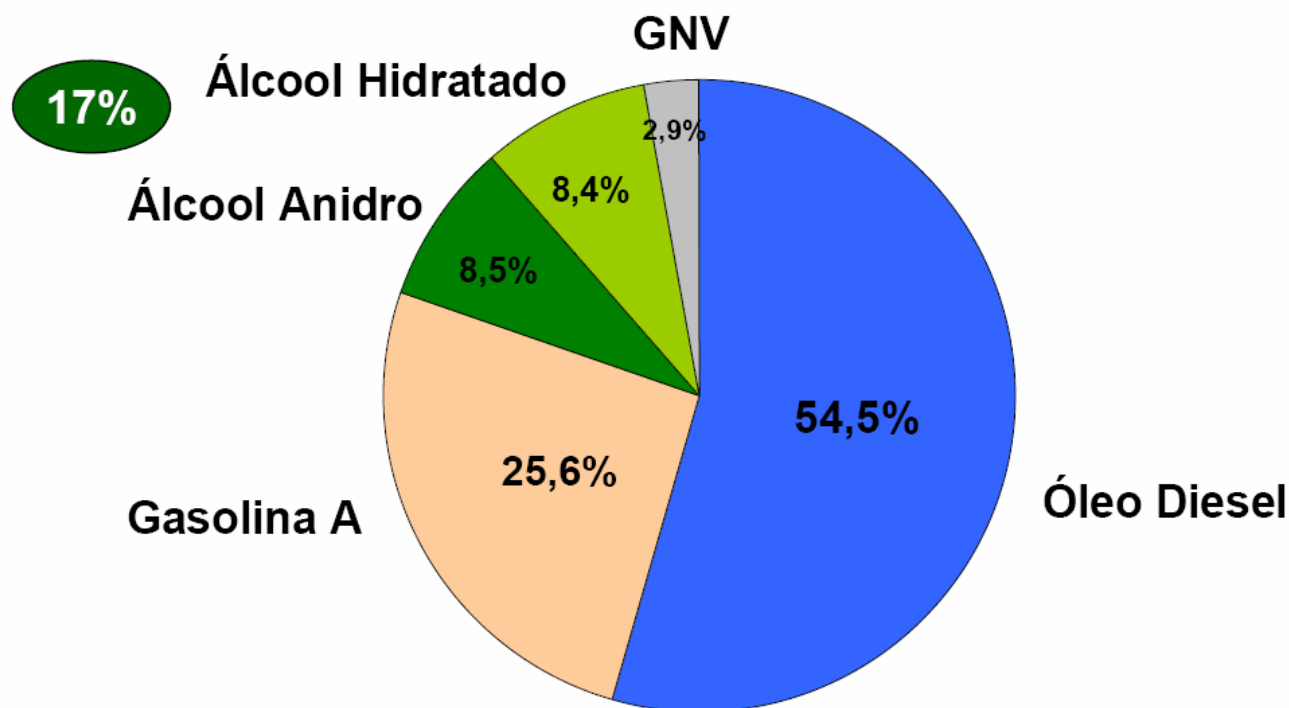
- ✓ O etanol responde por 40% do mercado de gasolina/etanol (apenas 3% nos EUA!)
- ✓ A gasolina brasileira contém de 20 à 25% de etanol.
- ✓ Há mais de 320 plantas com flexibilidade de produção de açúcar ou etanol.
- ✓ Não há subsídios, porém o etanol conta com, isenções fiscais e mistura compulsoria.

Fonte: Balanço Energético Brasileiro (2005) e MAPA

100% = 213,4 milhões [toe]



Brasil: Matriz de Combustíveis Veiculares - 2005



Fonte: Ministério das Minas e Energia.

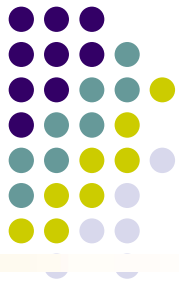
Hidrogênio &
 Emissão de CO2

Matriz Energética
 Brasileira

Etanol & Fontes
 de Hidrogênio

Células a
 Combustível

Considerações
 Finais

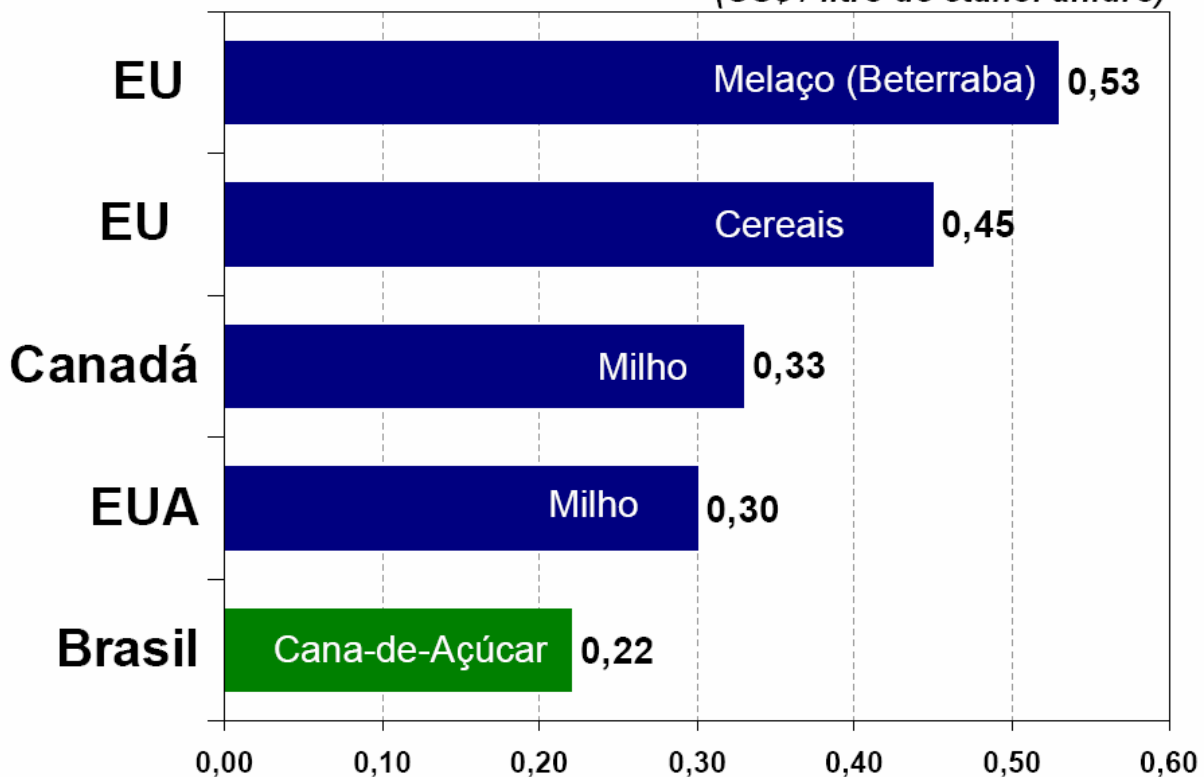


- Hidrogênio & Emissão de CO₂
- Matriz Energética Brasileira
- **Etanol & Fontes de Hidrogênio**
- Células a Combustível
- Considerações Finais

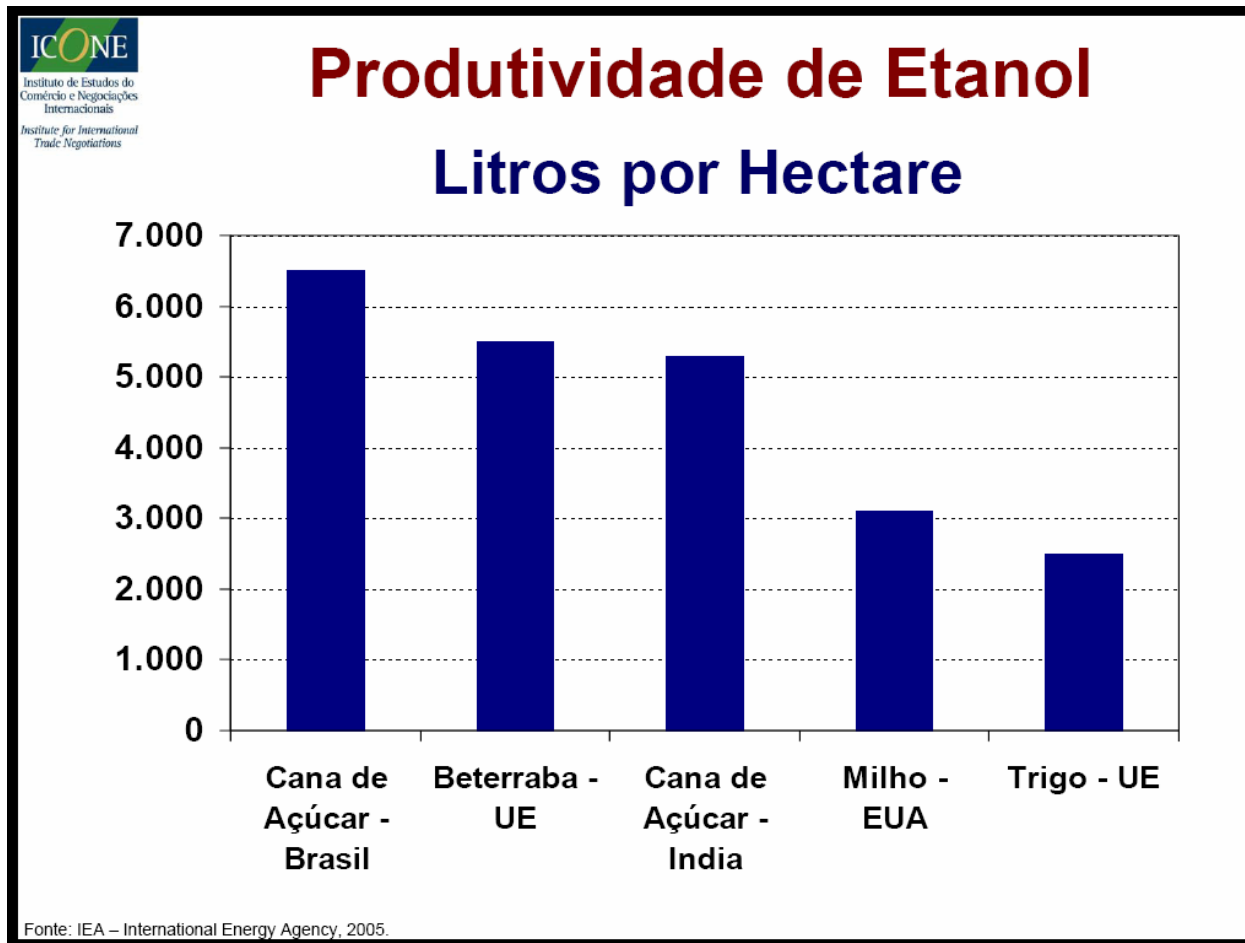


Etanol: Custo de Produção (da matéria prima ao produto final)

(US\$ / litro de etanol anidro)

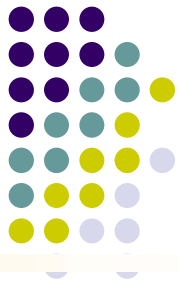


Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Álcool de cana: competitividade brasileira



1- PIB do Setor Sucro-alcooleiro em São Paulo :

US\$ 10 e 11 bilhões ocupa 3 milhões de ha

2- Pecuária ocupa 197 milhões de ha e soja 21,5 milhões de ha

PIB pecuária + soja ≈ PIB da produção e industrialização da cana em São Paulo, embora ocupem uma área 73 vezes maior

3- **Etanol brasileiro** é o **biocombustível de maior produtividade no mundo** (hoje: **6.000 l/ha.ano**) e de **melhor balanço energético: 8-9 J energia renovável/J de energia fóssil** (álcool de milho nos EUA: 1,4-1,6; biodiesel na Alemanha: 3,0)

4- **Incorporação de tecnologias inovadoras** deverá dobrar a atual produtividade em litros de álcool/ ha para **14.000 l/ha.ano**

Hidrogênio &
Emissão de CO₂

Matriz Energética
Brasileira

Etanol & Fontes
de Hidrogênio

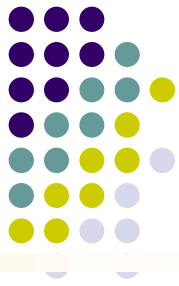
Células a
Combustível

Considerações
Finais



Combustível Renovável

Fonte de Hidrogênio



- 1. ETANOL : Principal fonte renovável de hidrogênio no Brasil**
 - Produção atual : aprox. 17 bilhões litros/ano
 - Área ocupada para plantação : 5,4 milhões hectares (0,6 % Território Nacional)
 - Área apta a esta cultura : 12 % Território Nacional
- 2. Cobertura Vegetal do Brasil : 851 milhões hectares**
 - Florestas 464 mi hectares (55 %)
 - Agricultura e pastagem 297 mi hectares (35 %)
 - Campos e Savanas 73 mi hectares (9 %)
 - Cidades, rios, outros 17 mi hectares (2 %)
- 3. Outras Fontes :**
 - Biomassa
 - Tratamento de lixo e esgoto
 - Tratamento dos dejetos da suinocultura
 - Eletrólise da água
 - Energia solar, eólica, etc.

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

DESAFIOS PARA ENERGIA DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO ETANOL



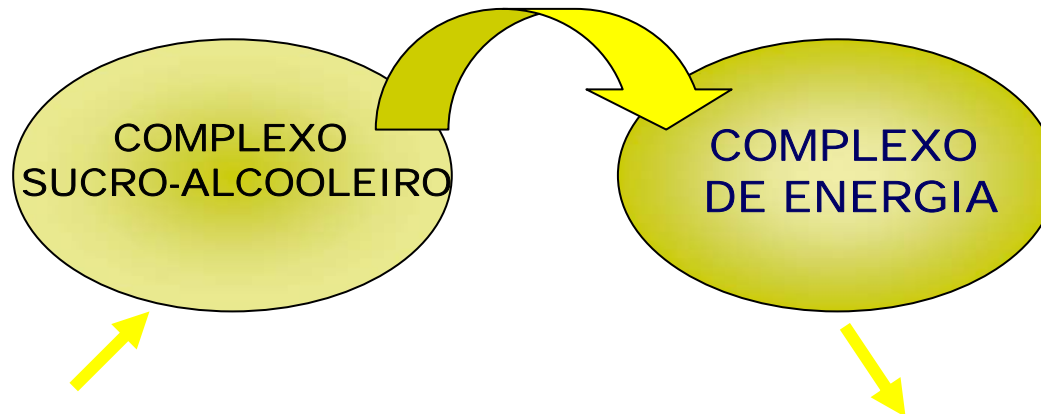
Hidrogênio &
Emissão de CO2

Matriz Energética
Brasileira

Etanol & Fontes
de Hidrogênio

Células a
Combustível

Considerações
Finais





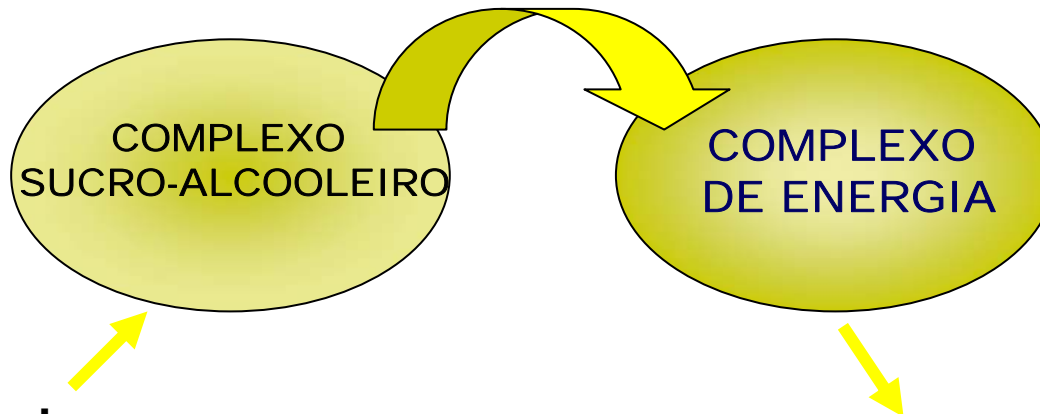
Hidrogênio &
Emissão de CO2

Matriz Energética
Brasileira

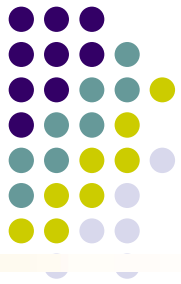
Etanol & Fontes
de Hidrogênio

Células a
Combustível

Considerações
Finais



Transformar bagaço e
palha em **ETANOL**



Hidrogênio &
Emissão de CO2

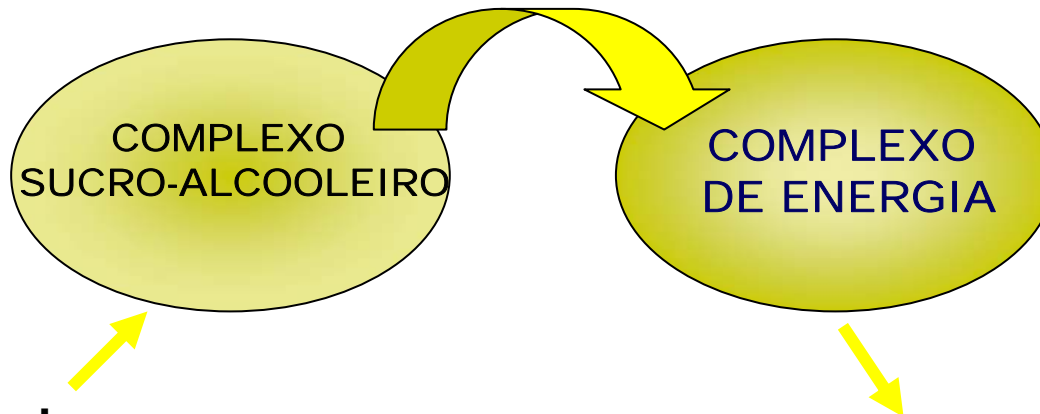
Matriz Energética
Brasileira

Etanol & Fontes
de Hidrogênio

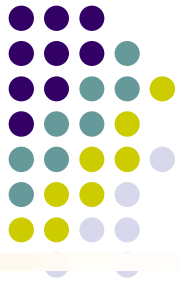
Células a
Combustível

Considerações
Finais

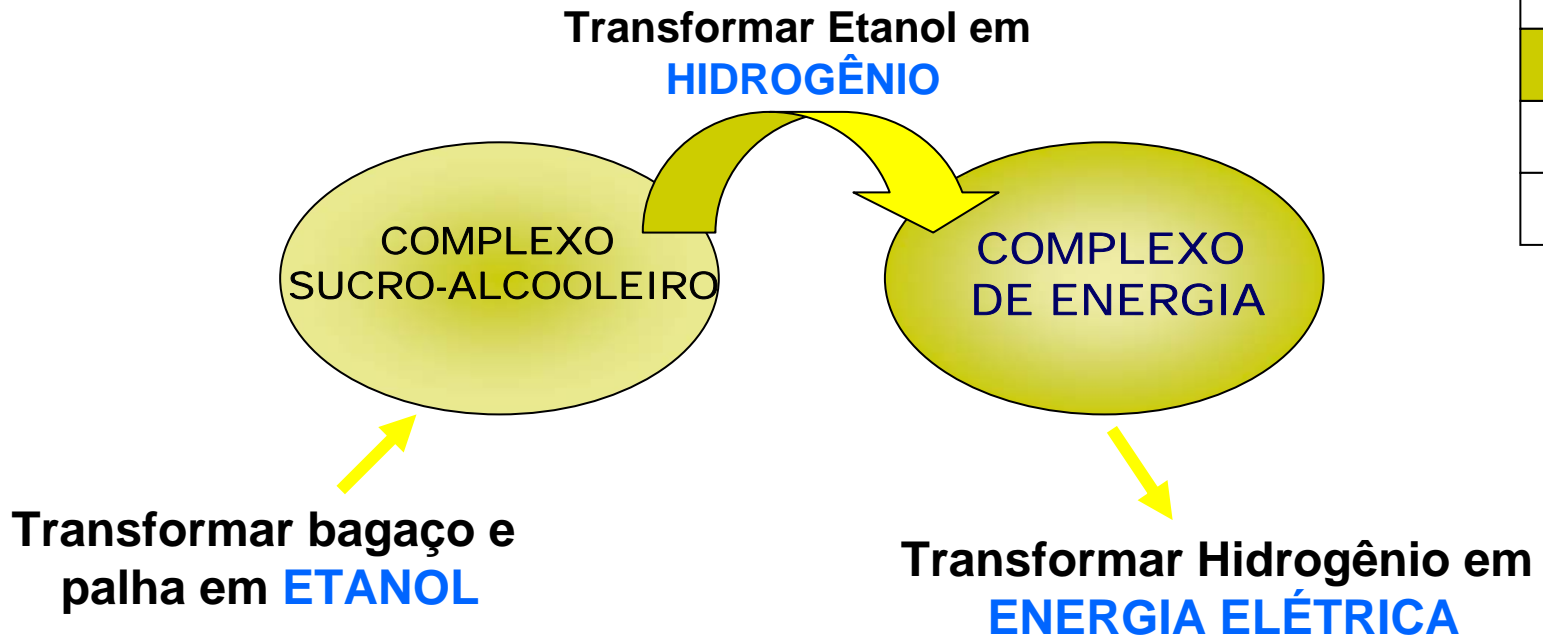
Transformar Etanol em **HIDROGÊNIO**

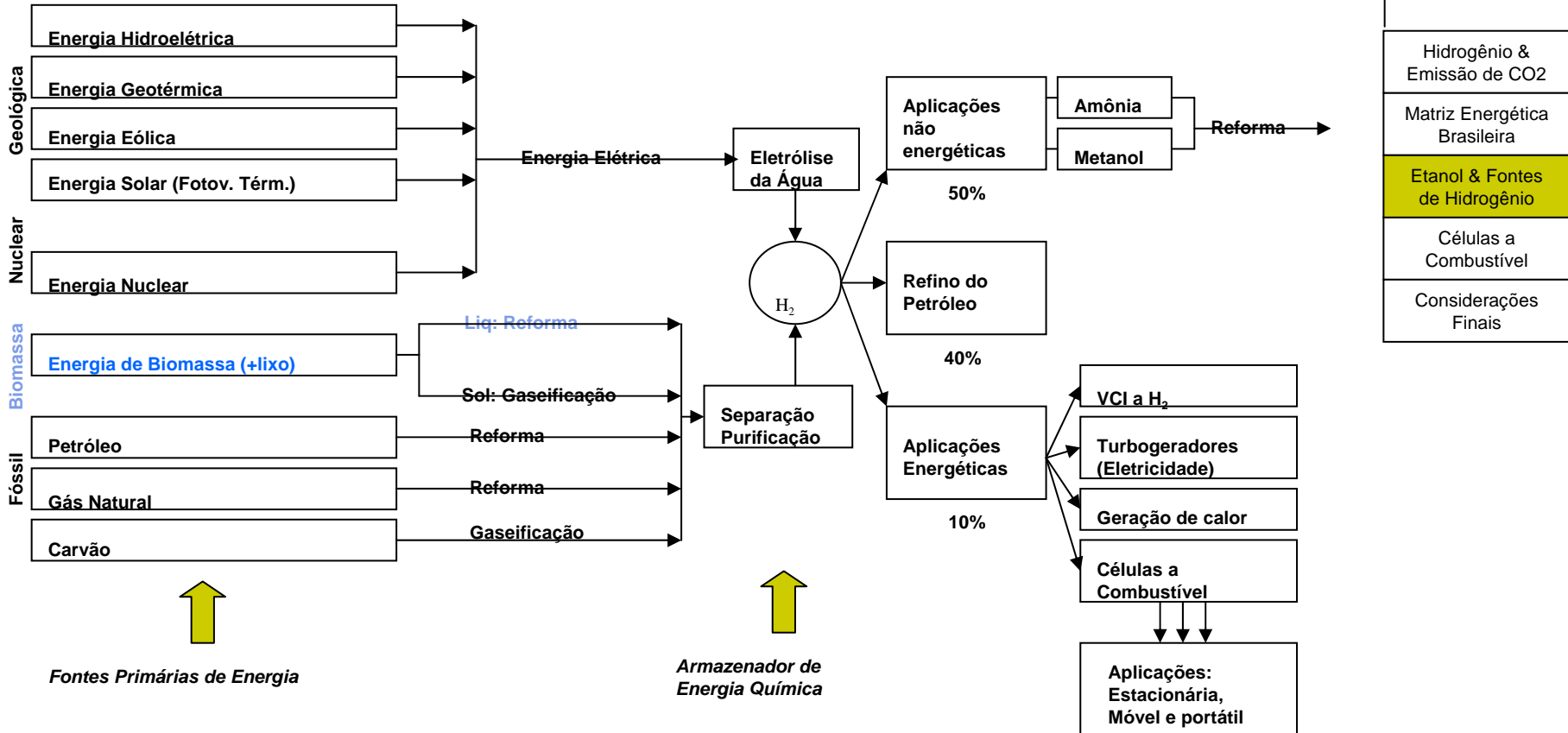
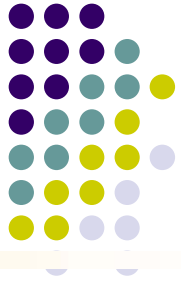


Transformar bagaço e
palha em **ETANOL**



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais







Inserção no Mercado

Fatores Críticos



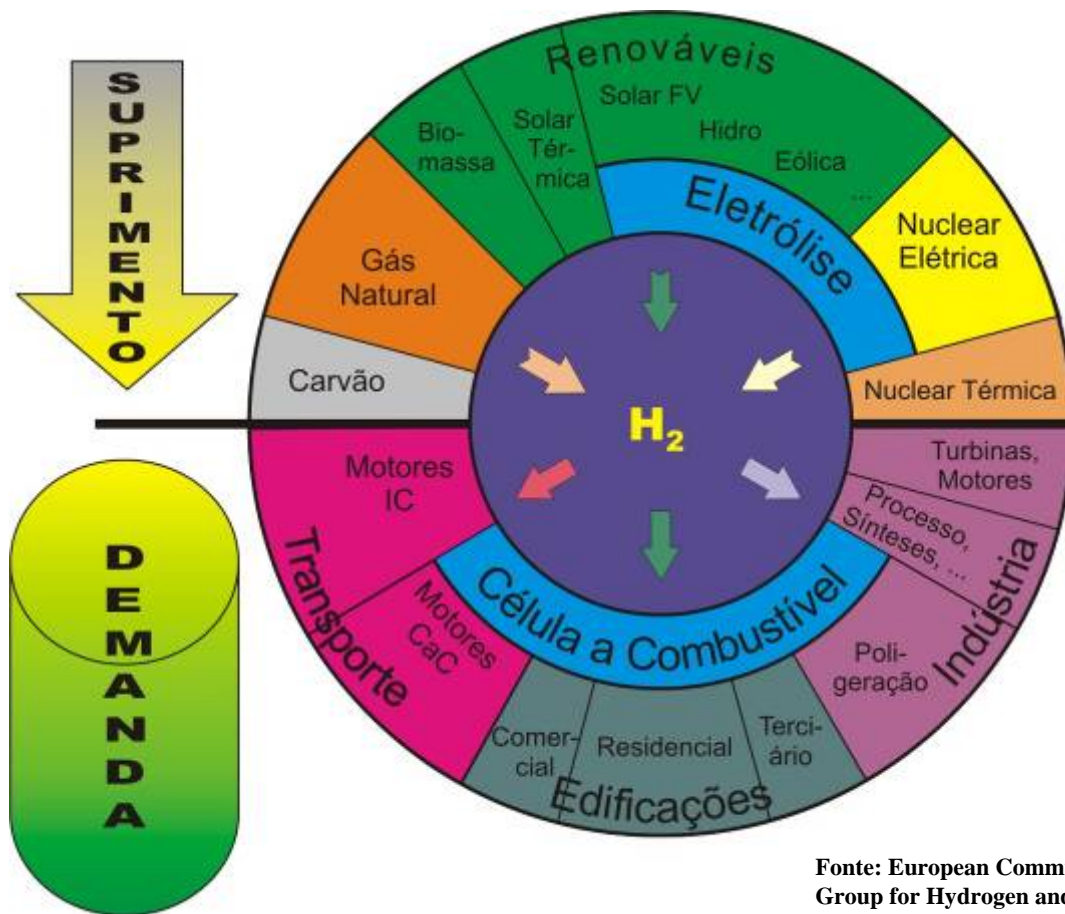
Combustível	PCI por unidade de massa	PCI por unidade de volume	Massa específica	Referência R\$ ^(*)	R\$/GJ
Hidrogênio	119.600 kJ/kg	9.967 kJ/m ³	0,083 kg/m ³	3/m ³ a 18/m ³	300 a 1.800
Gás natural	49.694 kJ/kg	35.780 kJ/m ³	0,72 kg/m ³	0,50/m ³ a 1,60/m ³	14 a 45
GLP	46.044 kJ/kg	100.836 kJ/m ³	2,19 kg/m ³	29/butijão de 13kg	48
Etanol hidratado	26.378 kJ/kg	21.334 kJ/L	0,809 kg/L	1,57/L	74
Metanol	19.900 kJ/kg	15.820 kJ/L	0,795 kg/L	1,06/L ^(**)	67 ^(**)
Gasolina	44.173 kJ/kg	32.776 kJ/L	0,742 kg/L	2,20/L	67
Diesel	43.335 kJ/kg	36.922 kJ/L	0,852 kg/L	1,54/L	42

(*) Preços: base junho/2003

(**) Metanol: Preço "virtual"

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Célula a Combustível (CAC) Produção de Hidrogênio

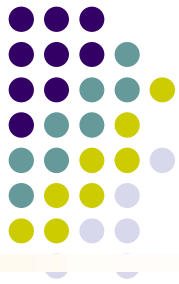


Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Fonte: European Commission- High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells

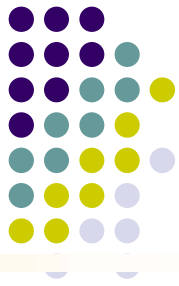


- Hidrogênio & Emissão de CO₂
- Matriz Energética Brasileira
- **Etanol & Fontes de Hidrogênio**
- **Células a Combustível**
- Considerações Finais



Tipos	Sigla (Inglês)	Temperatura	Principais Usos
Alcalina	AFC	80-200°C	Veículos espaciais (10 kW)
Membrana Polimérica	PEMFC	80-100°C	Estacionária (200 kW); Móveis carros (50 kW)
Metanol Direto	DMFC	80-100°C	Móveis e portáteis; Ônibus; celulares (100 kW)
Ácido Fosfórico	PAFC	200°C	Estacionária; Aquecimento (100-500 kW)
Carbonato Fundido	MCFC	600°C	Estacionária; Co-geração (500 kW- >1 MW)
Óxidos Sólidos	SOFC	800-1000 °C	Estacionária; Co-geração (kW – MW)

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Vantagens:

- Perspectivas de alta eficiência/confiabilidade;
- Ausência ou baixas emissões;
- Expectativa de intervalos elevados entre falhas;
- Dispositivos silenciosos pela ausência de partes móveis;
- Permite flexibilidade no uso de combustíveis

Desvantagens:

- Vida útil limitada (ainda desconhecida);
- Eficiência elétrica decrescente, ao longo do período de vida;
- Investimento inicial ainda muito elevado;
- Poucas unidades de demonstração;
- Poucos provedores da tecnologia;
- Tecnologia pouco divulgada

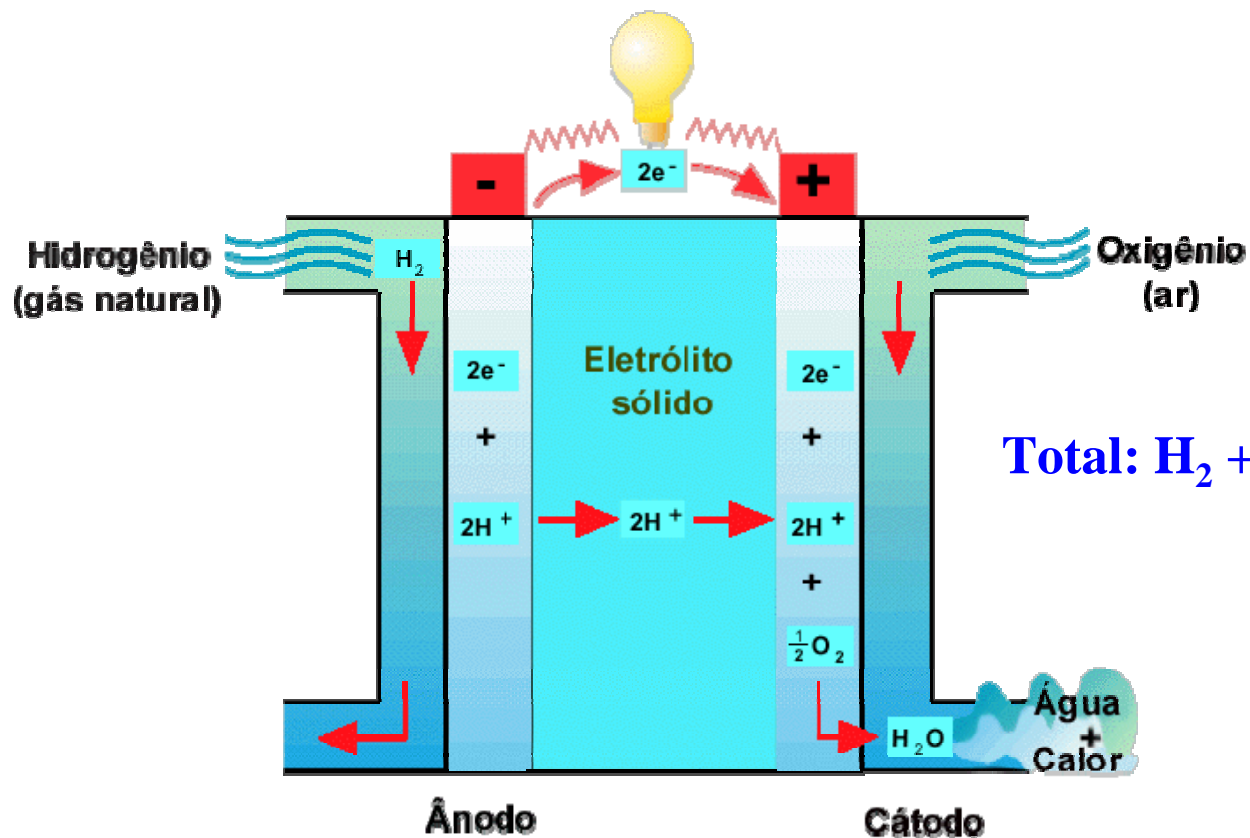
Hidrogênio & Emissão de CO2

Matriz Energética Brasileira

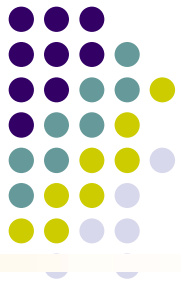
Etanol & Fontes de Hidrogênio

Células a Combustível

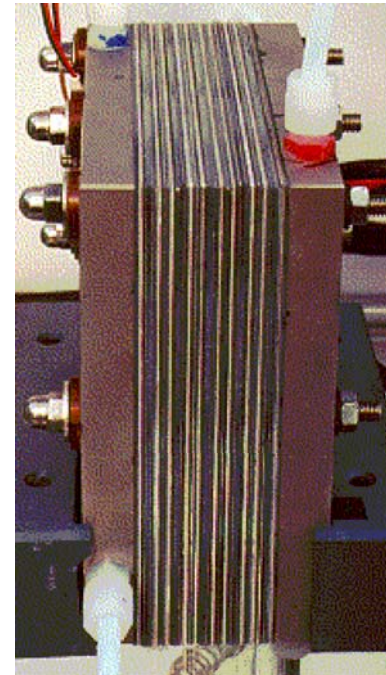
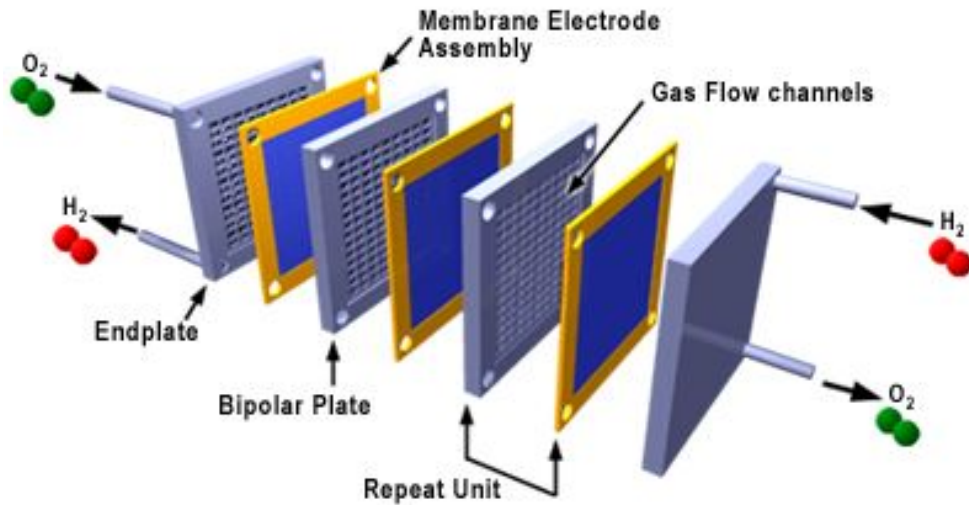
Considerações Finais



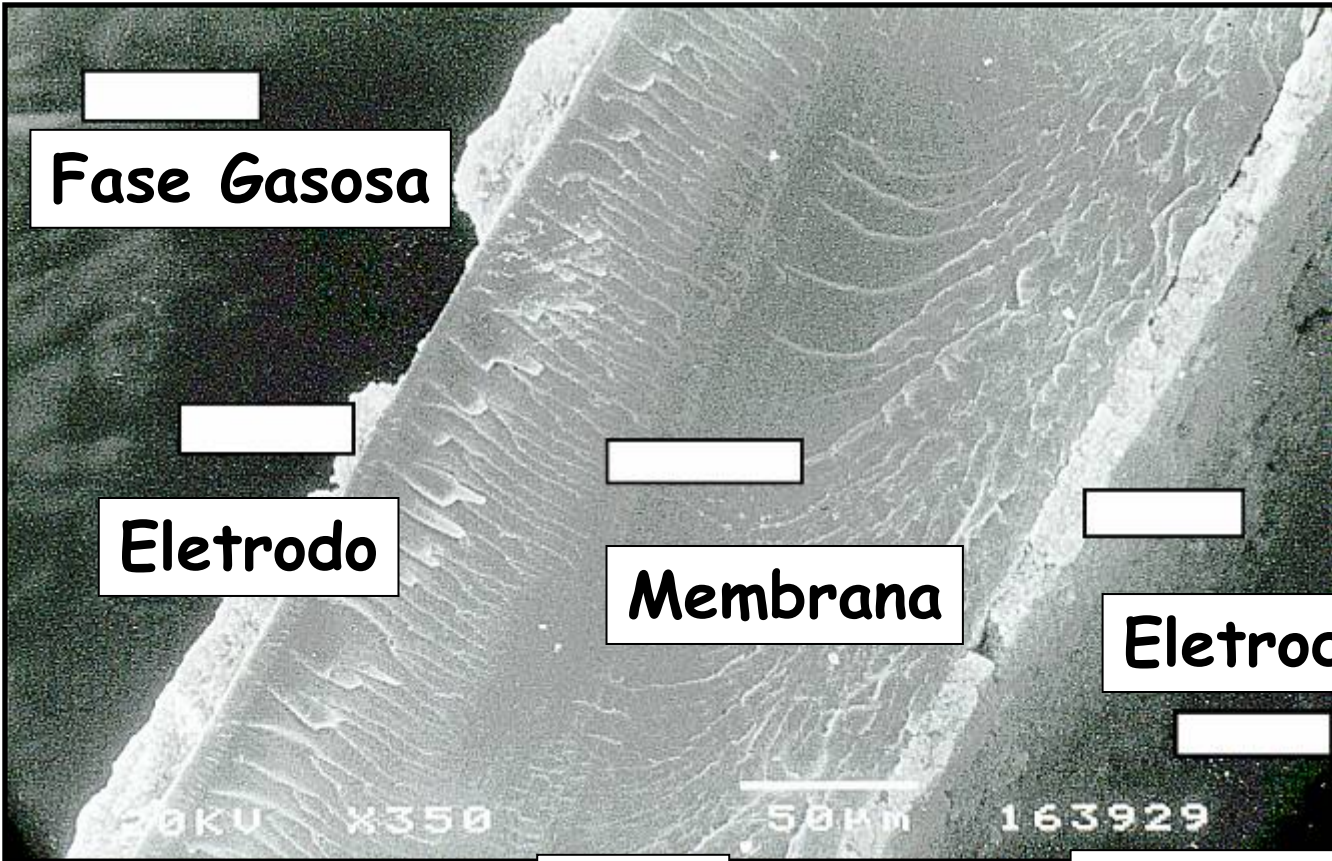
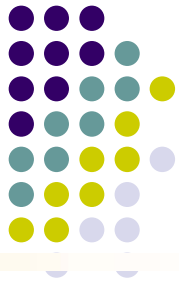
Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



• CaC PEM - Módulo (empilhamento)



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Hidrogênio & Emissão de CO₂

Matriz Energética Brasileira

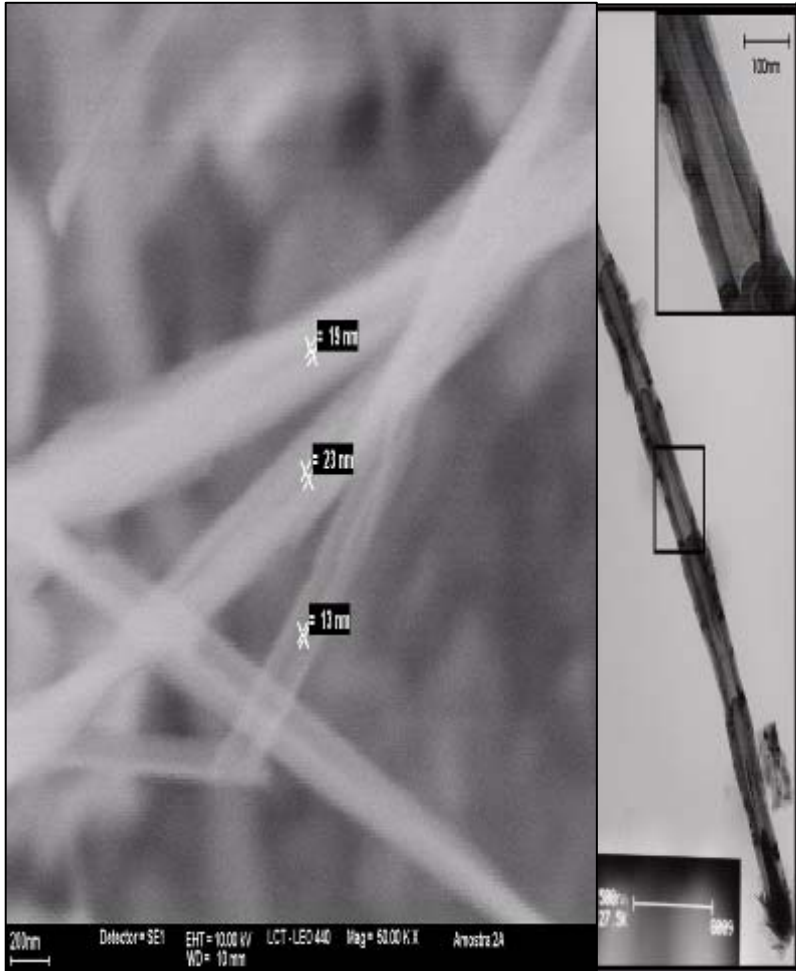
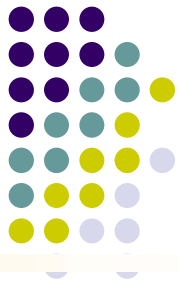
Etanol & Fontes de Hidrogênio

Células a Combustível

Considerações Finais



Reforma Etanol e Células a Combustível
J Octavio A Paschoal DPE/IPEN



Obtenção e purificação de nanotubos (MW) de carbono: Processo Solvotermal com auto-claves de desenho inovador

Hidrogênio &
Emissão de CO₂

Matriz Energética
Brasileira

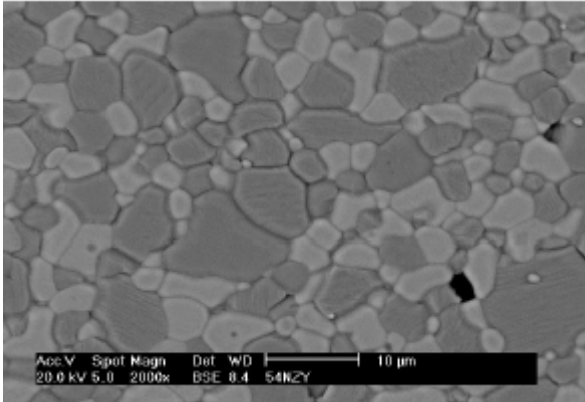
Etanol & Fontes
de Hidrogênio

Células a
Combustível

Considerações
Finais

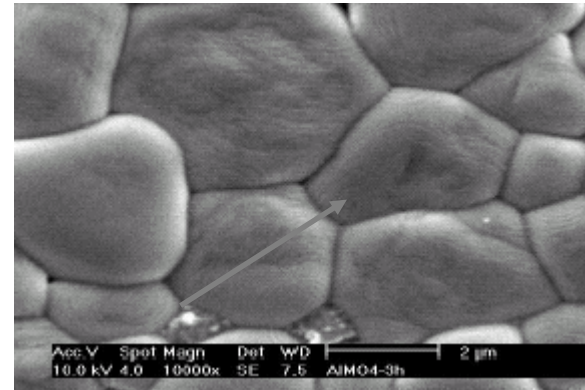


$ZrO_2:9 \text{ mol}\%Y_2O_3 - NiO$

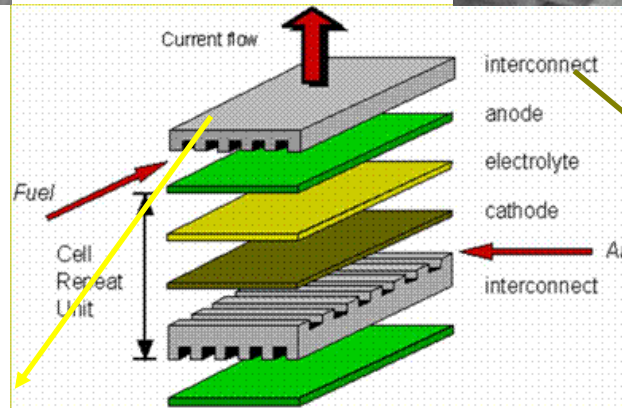


SOFC

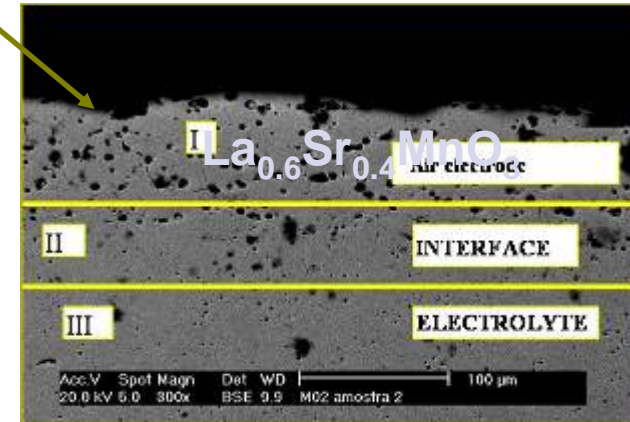
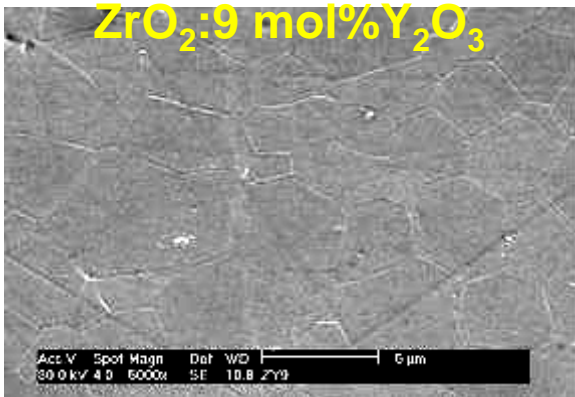
$LaCr_{0.7}Co_{0.3}O_3$

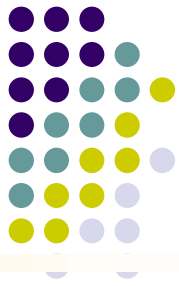


Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



$ZrO_2:9 \text{ mol}\%Y_2O_3$





Range of Consideration:

- **Small 1 MW to 10 MW Units**

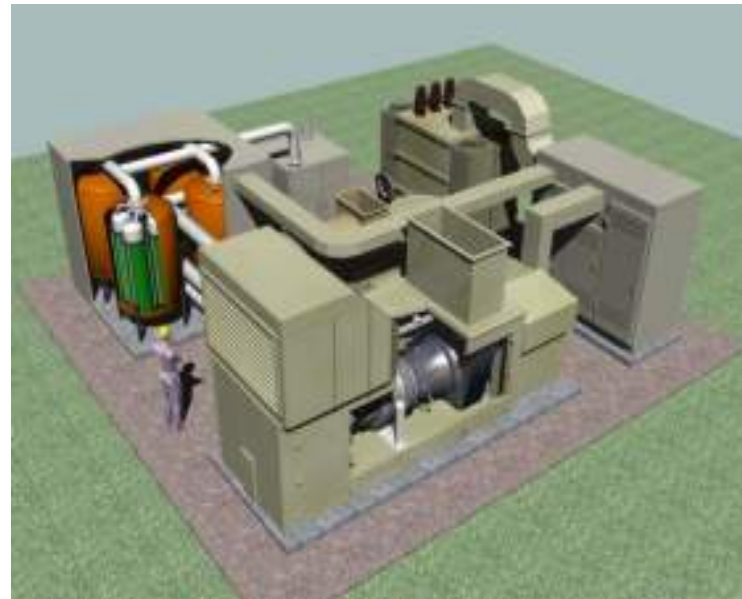
- Dispersed Power Generation

- **Large 100s MW Units**

- Base Power Plant

Fuels

- Natural Gas
- Coal Gas
- Hydrogen



Hidrogênio &
Emissão de CO2

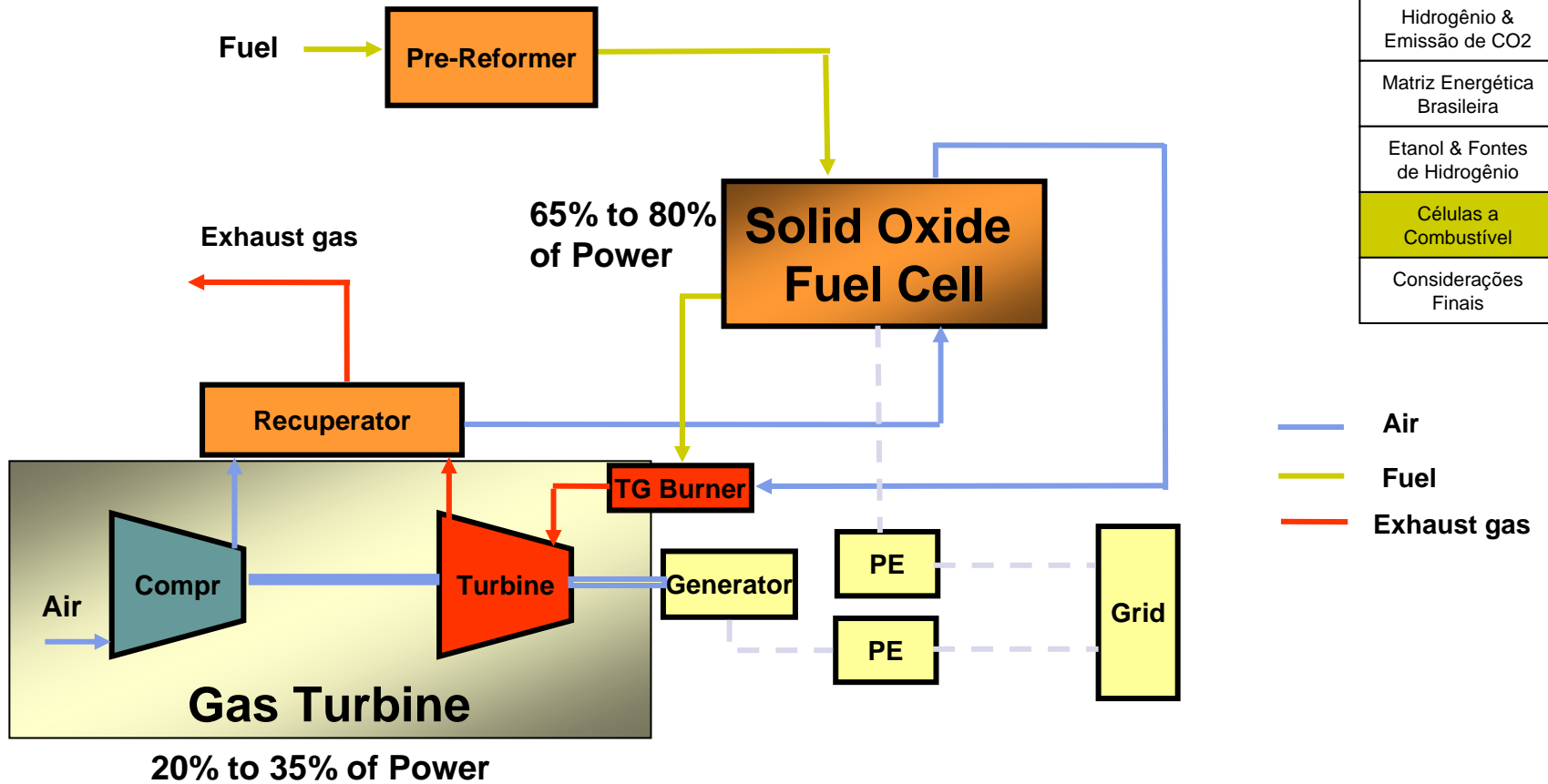
Matriz Energética
Brasileira

Etanol & Fontes
de Hidrogênio

Células a
Combustível

Considerações
Finais

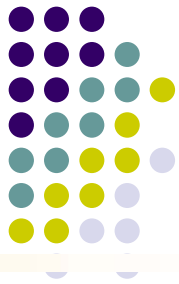
SOFC – GT Hybrid System Schematic



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Melhoria de Eficiencia com Sistemas Híbridos

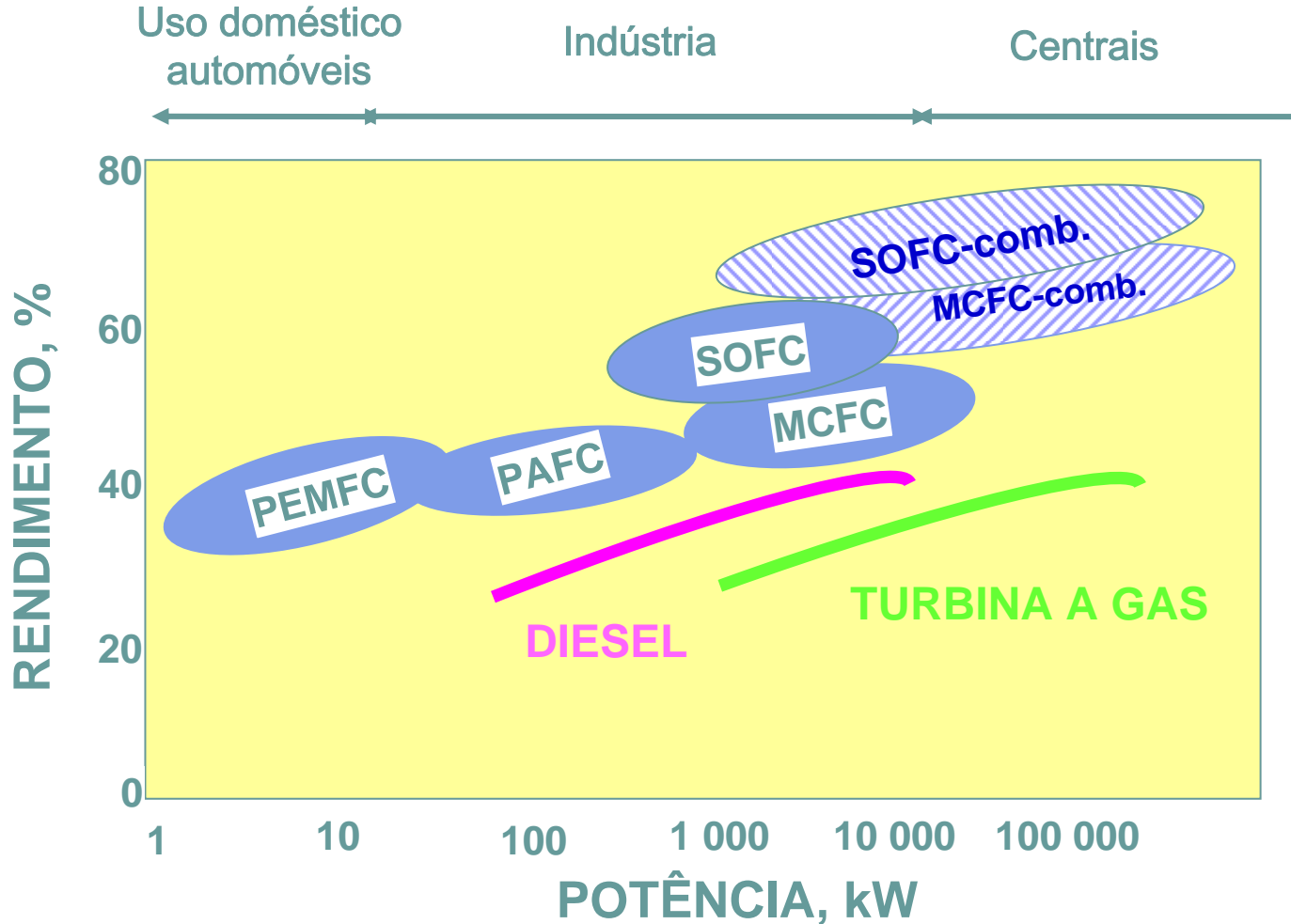


	Simple	Hybrid	Recycle
Efficiency (%)	44.8	61.1	71.0
SOFC Power* (kW)	3709	3709	4099
GT Power* (kW)	0	976	1447
Parasitic Power	(389 kW)	(100 kW)	(288 kW)
Net Plant Power	3320 kW	4585 kW	5258 kW
SOFC Pressure	1.3 atm	4.6 atm	4.6 atm

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Células a Combustível - Rendimento



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Inserção no Mercado

Fatores Críticos



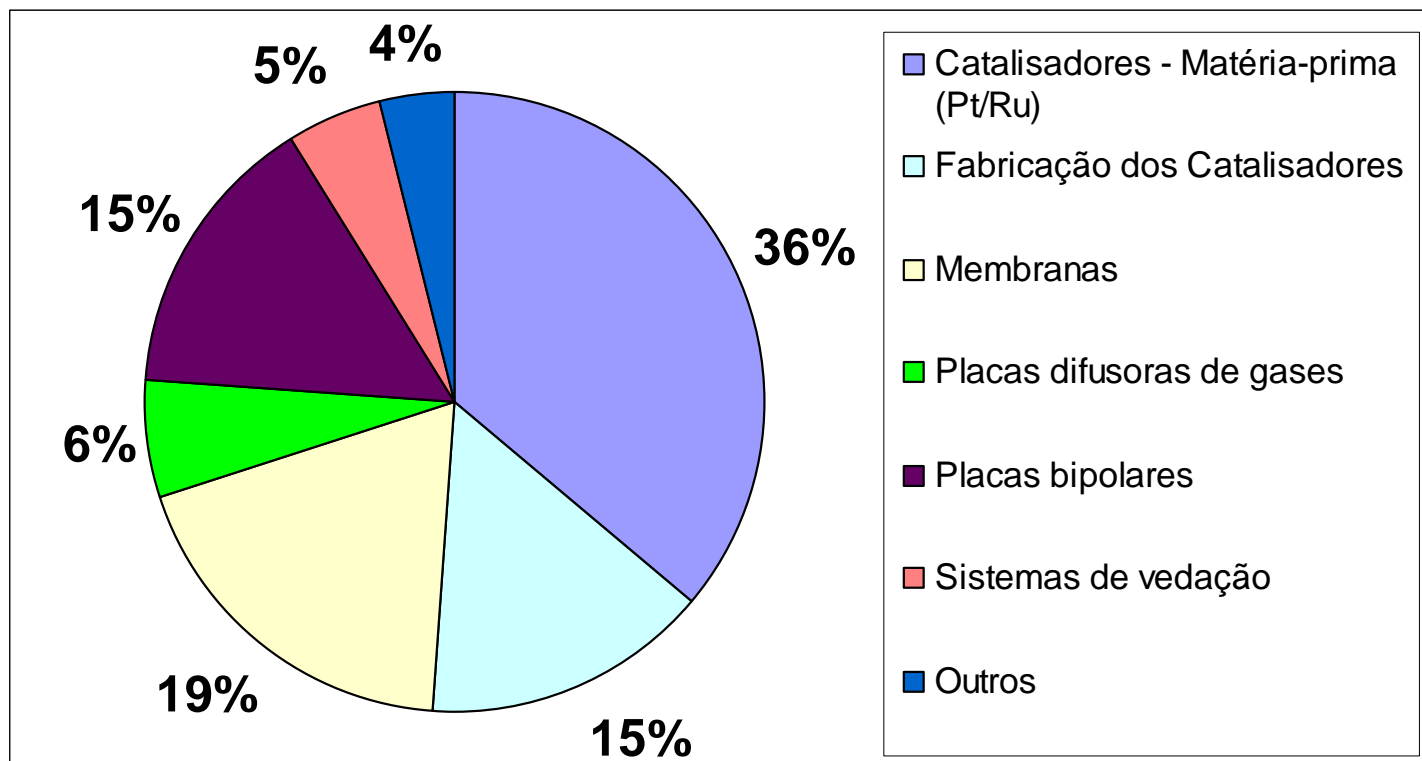
CaC PEM : Eficiência e Custo Relativo dos Componentes

Componente	Eficiência	Custo Relativo
Reformador (Processador de combustível)	79%	40%
Empilhamento de CaC (<i>Fuel Cell Stack</i>)	57%	27%
Condicionamento de Potência	95%	18%
Controle e Instrumentação	90%	15%
Total	39%	100%

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Custo Relativo para Preparação de MEA's



Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Inserção no Mercado

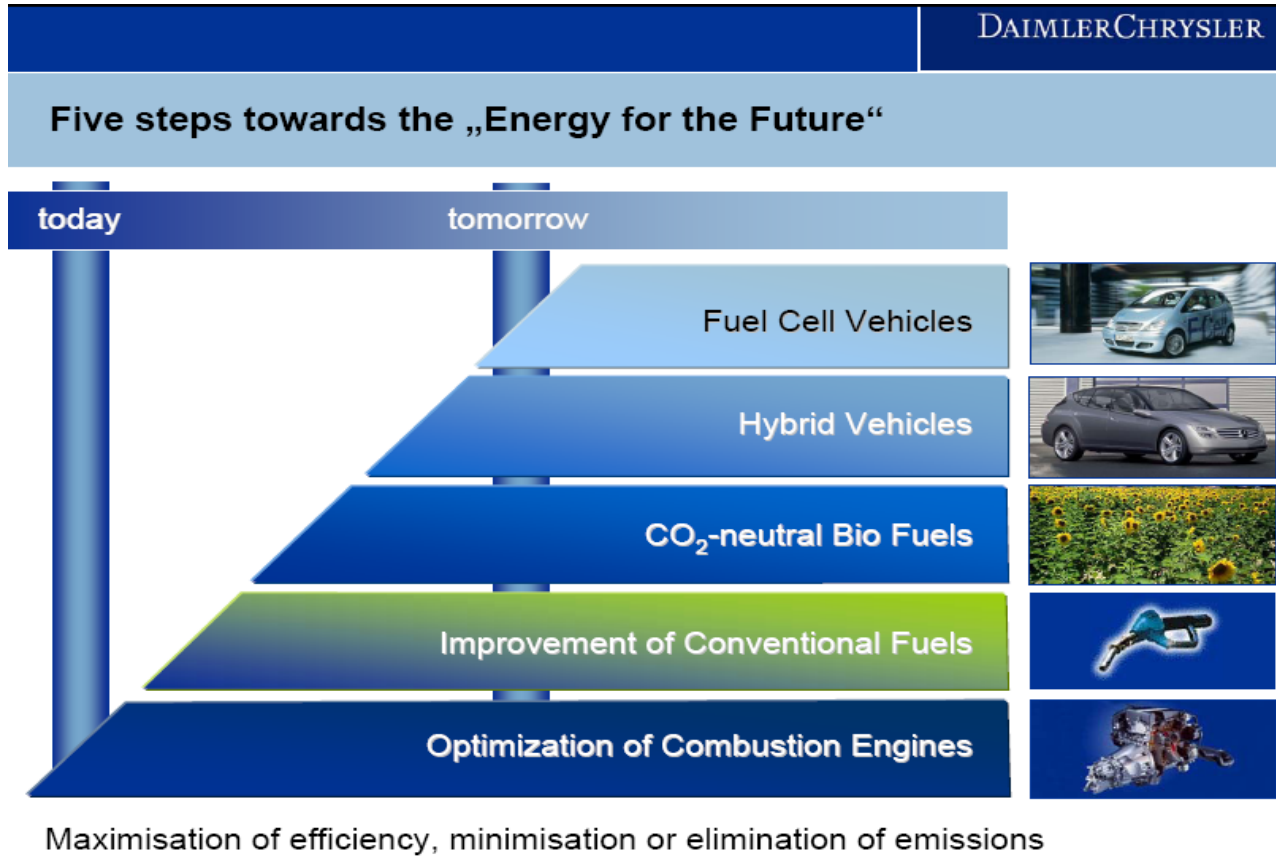
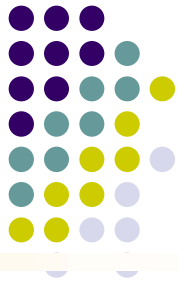
Fatores Críticos



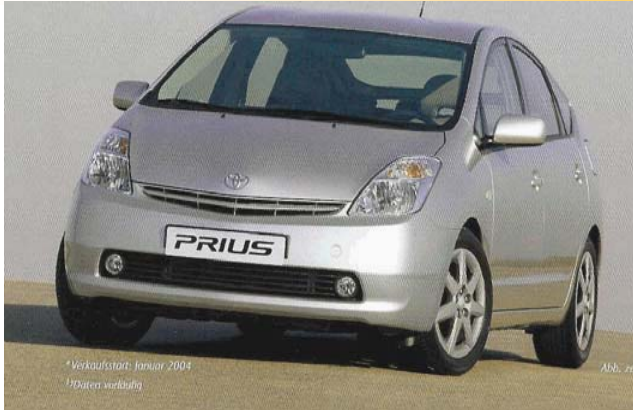
Mercado ↓	⇒ Parâmetros	Doméstico		Comercial		Industrial	
		Gás natural (US\$/kWh)		0,02	0,04	0,02	0,04
Energia Elétrica (US\$/kWh)		0,08	0,16	0,08	0,16	0,04	0,12
Vida Útil da CaC (Anos)	⇒	5	12	5	12	5	12
Investimento “aceitável” (US\$/kW)		600	1400	400	1800	500	800

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Unidade PEMFC tamanho (kW)	Baixo Volume de Produção (10.000 unid/ano)		Alto Volume de Produção (100.000 unid/ano)	
	Preço (US\$/unid.)	US\$/kW	Preço (US\$/unid.)	US\$/kW
10 kW	16.000	1.600	5.000	500
25 kW	25.000	1.000	7.500	300
50 kW	40.000	800	12.000	240



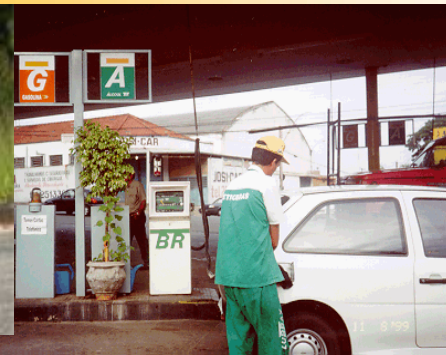
Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Toyota Prius Hybrid - ICE+battery



Abn. zeigt Prius Sol



VW - ICE 100% Ethanol



VW - ICE 100% Ethanol



BMW Clean Energy - ICE + hydrogen



VW Total Flex Gasoline + Ethanol



Sprinter - Fuel Cell + hydrogen

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Hidrogênio & Emissão de CO2

Matriz Energética Brasileira

Etanol & Fontes de Hidrogênio

Células a Combustível

Considerações Finais

California
FUEL CELL PARTNERSHIP

“Rehearsal for commercial”








Intensificação do Marketing e Competitividade



Sustainability is becoming an important marketing element for automotive and energy companies.

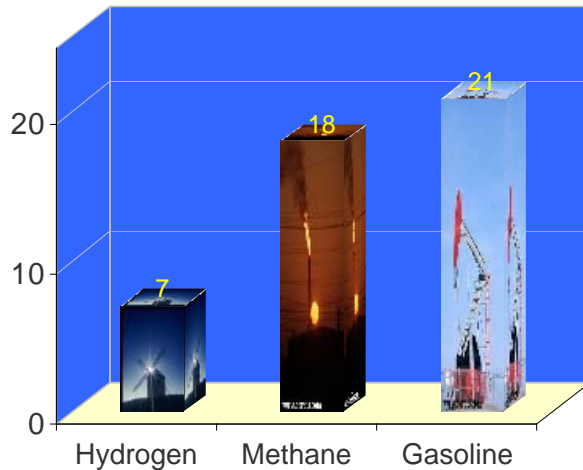


Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Armazenamento de Hidrogenio: densidade de energia é crítica

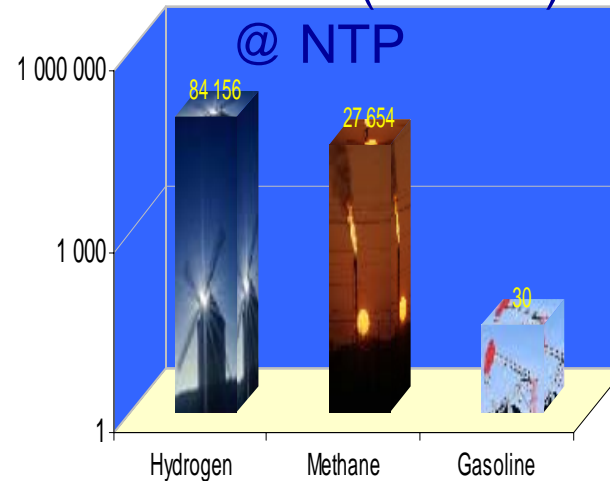


Per mass (kg/GJ)



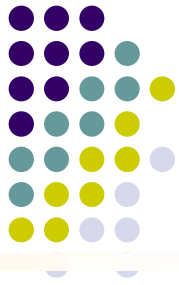
This property makes H_2 very desirable. It lessens the weight of the fuel required.

Per volume (liter/GJ)
@ NTP



This dramatically reverses the picture, H_2 leads to heavier and bulkier systems.

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais



Volume Comparisons for 4 kg Vehicular H₂ Storage

Figure 1 Volume of 4 kg of hydrogen compacted in different ways, with size relative to the size of a car. (Image of car courtesy of Toyota press information, 33rd Tokyo Motor Show, 1999.)

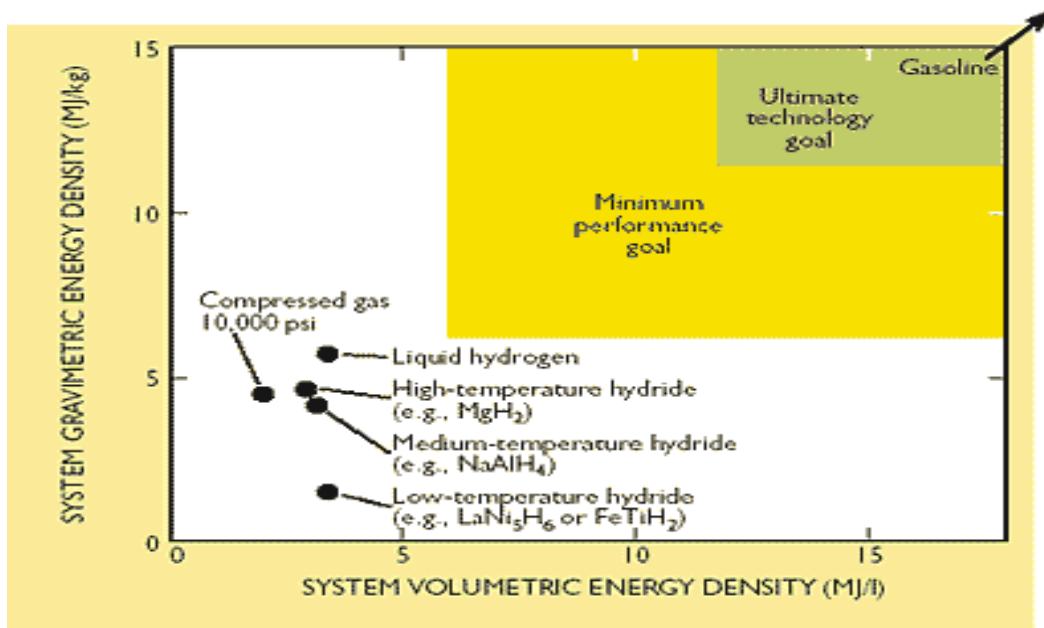


Hidrogênio & Emissão de CO ₂
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

Schlapbach & Züttel, Nature, November 15, 2001.



Para se tornar atrativa a capacidade de armazenamento deve ser aumentada 4 vezes.

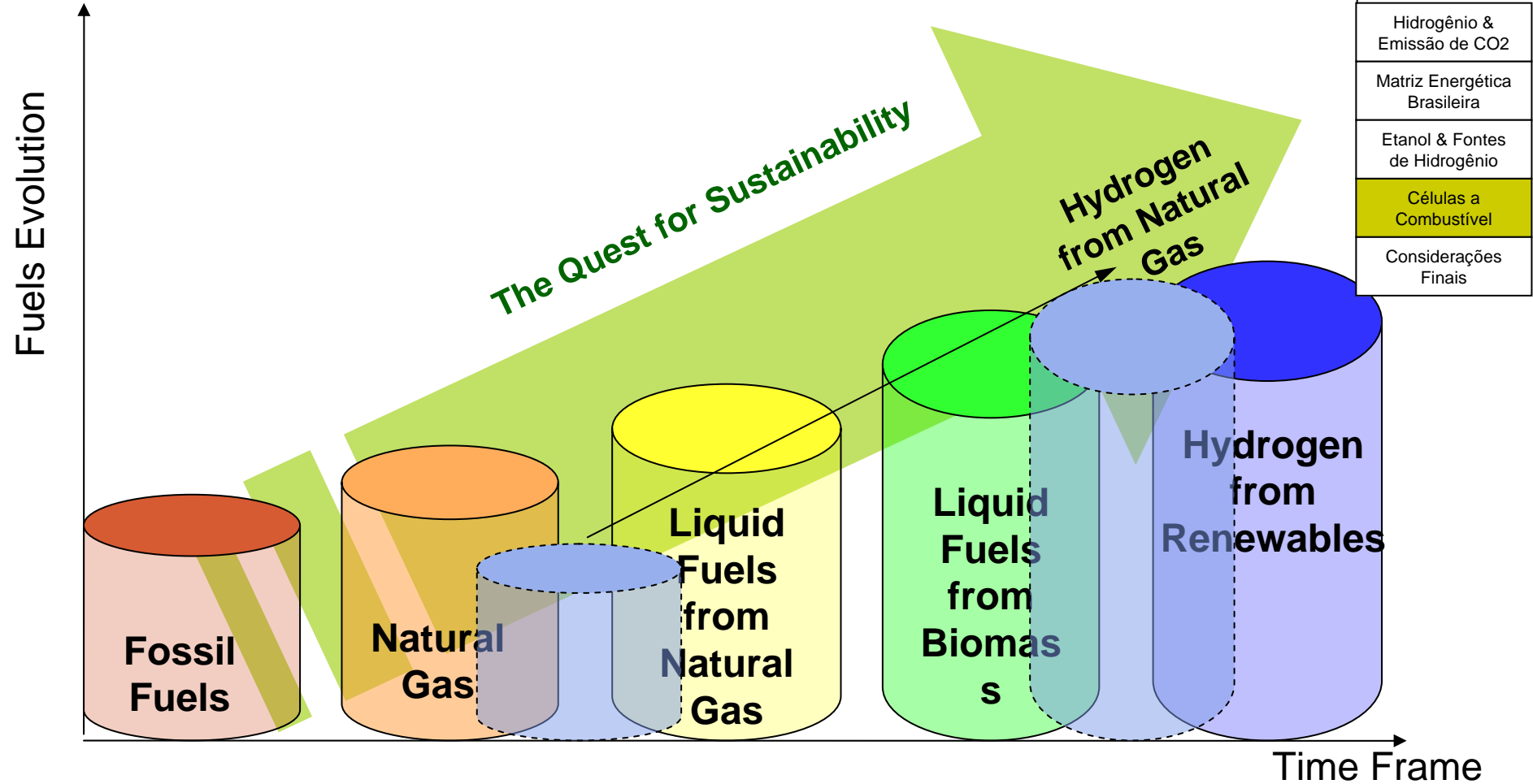


From *The Industrial Physicist*, American Institute of Physics, February/March 2004.

The dawn of a hydrogen economy for mainstream vehicles may well depend on breakthrough research to find new storage materials or innovative storage concepts.

Hidrogênio & Emissão de CO2
Matriz Energética Brasileira
Etanol & Fontes de Hidrogênio
Células a Combustível
Considerações Finais

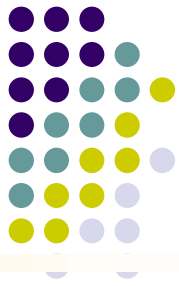
Nossa Visão da Evolução dos Combustíveis



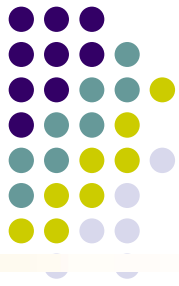


- Hidrogênio & Emissão de CO₂
- Matriz Energética Brasileira
- **Etanol & Fontes de Hidrogênio**
- Células a Combustível
- **Considerações Finais**

Considerações Finais



- Hidrogênio como uma **fonte renovável** deve ser considerado como uma estratégia de **longo prazo**.
- Hidrogênio usado em **mci** e/ou em **sistemas híbridos** poderá ocorrer no curto prazo, mas investimentos na **logística de distribuição** será um dos fatores críticos de sucesso.
- O futuro « Verde » será baseado não somente na economia do hidrogênio, mas certamente num **conjunto de fontes de energia renováveis e sustentáveis**.
- A difusão de CaC no mercado dependerá dos avanços em **P&D&I** visando a **redução dos custos** dos componentes e subsistemas das CaC's e avanços nos sistemas de produção, armazenamento e distribuição de H₂.
- Será fundamental a **preparação e treinamento da sociedade** para uso e manuseio, de forma segura, do Hidrogênio e sistemas de CaC.



Obrigado pela Atenção

José Octavio Armani Paschoal

paschoal@ipen.br

Tel (11) 3816 9049