



Fontes renováveis de energia e tecnologias de geração

Carlos H. Coimbra-Araújo

Programa de Pós-Graduação em Meio
Ambiente e Desenvolvimento PPGMADE

Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia de Bioprodutos

Universidade Federal do Paraná

Motivação do uso de E.R.

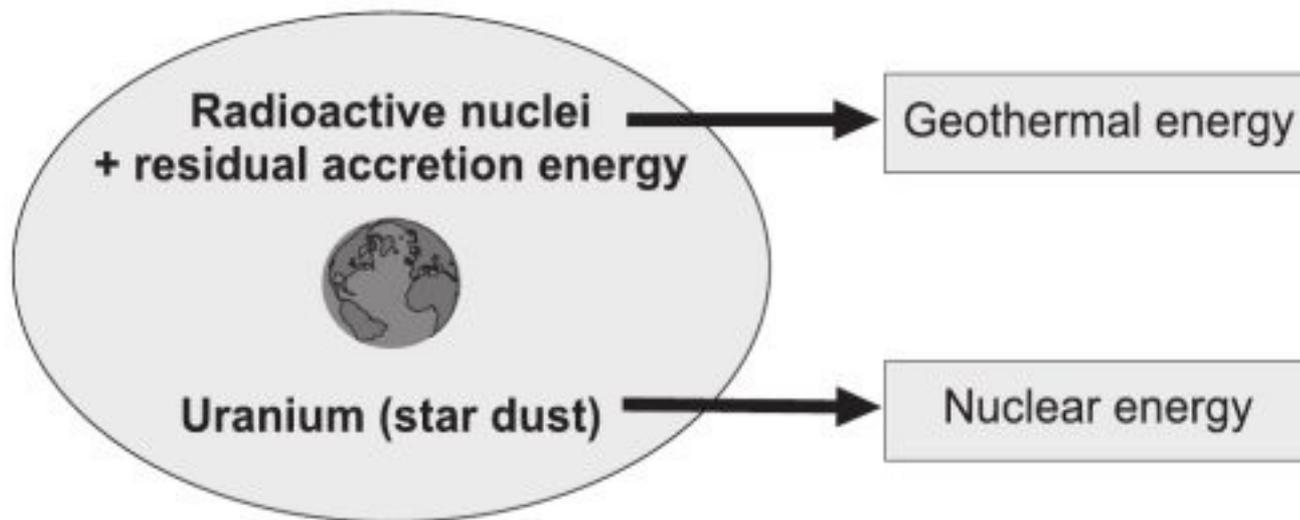
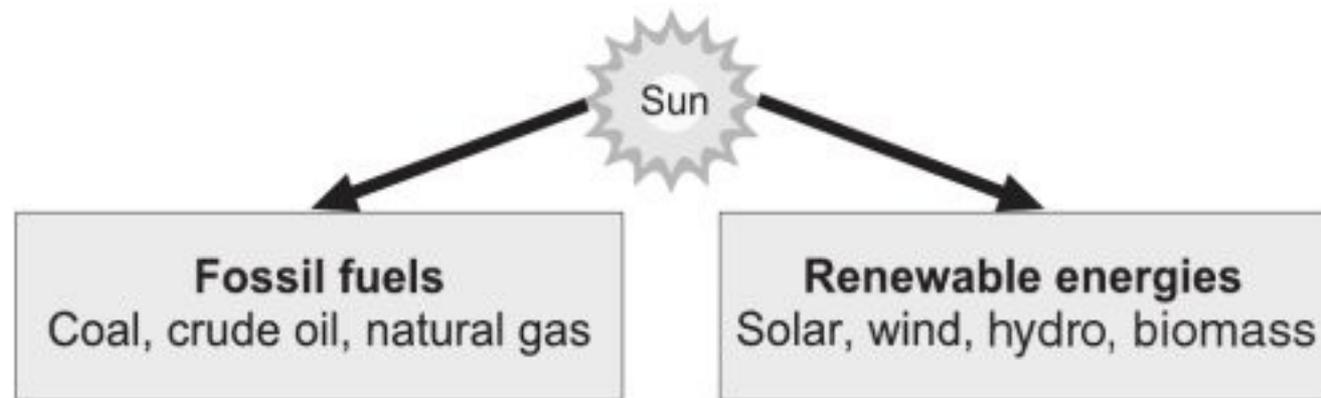
- Diversificação da matriz
 - Importante para contar com alternativas no caso de falhas ou cortes
- Autonomia energética de fontes fósseis
 - Fontes fósseis são não-renováveis, i.e. limitadas
- Menor emissão de CO₂, CH₄ e outros gases estufa
- Menor emissão de poluentes nocivos à saúde
- Mercado de trabalho se torna mais diversificado
 - Pesquisa, fabricação, venda, etc.

Incremento das Fontes Renováveis e Alternativas

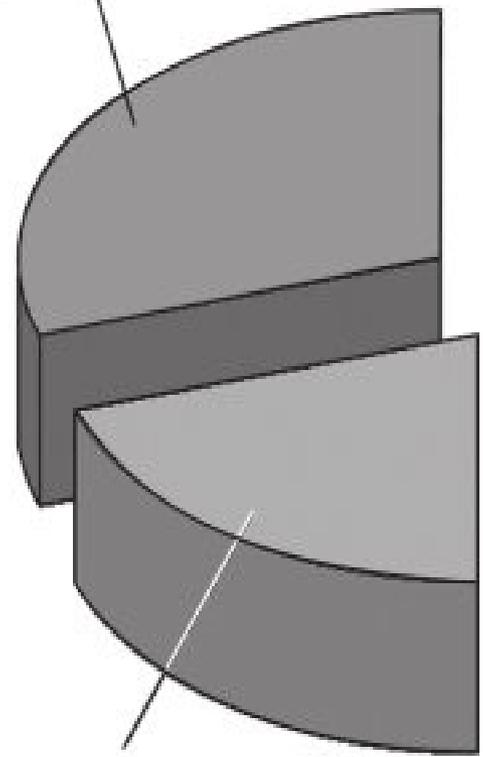
Justificativas:

- Redução da oferta de petróleo (futuramente)
- Segurança no suprimento
- Emissões de gases de efeito estufa
- Necessidade de aumento das eficiências de conversão
- Restrições ao uso da energia nuclear

**BUSCA POR COMBUSTÍVEIS DE
ALTA EFICIÊNCIA**

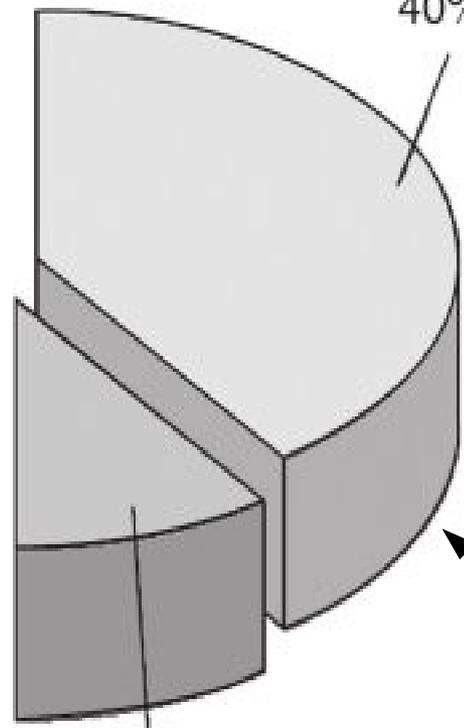


Thermal energy
30%



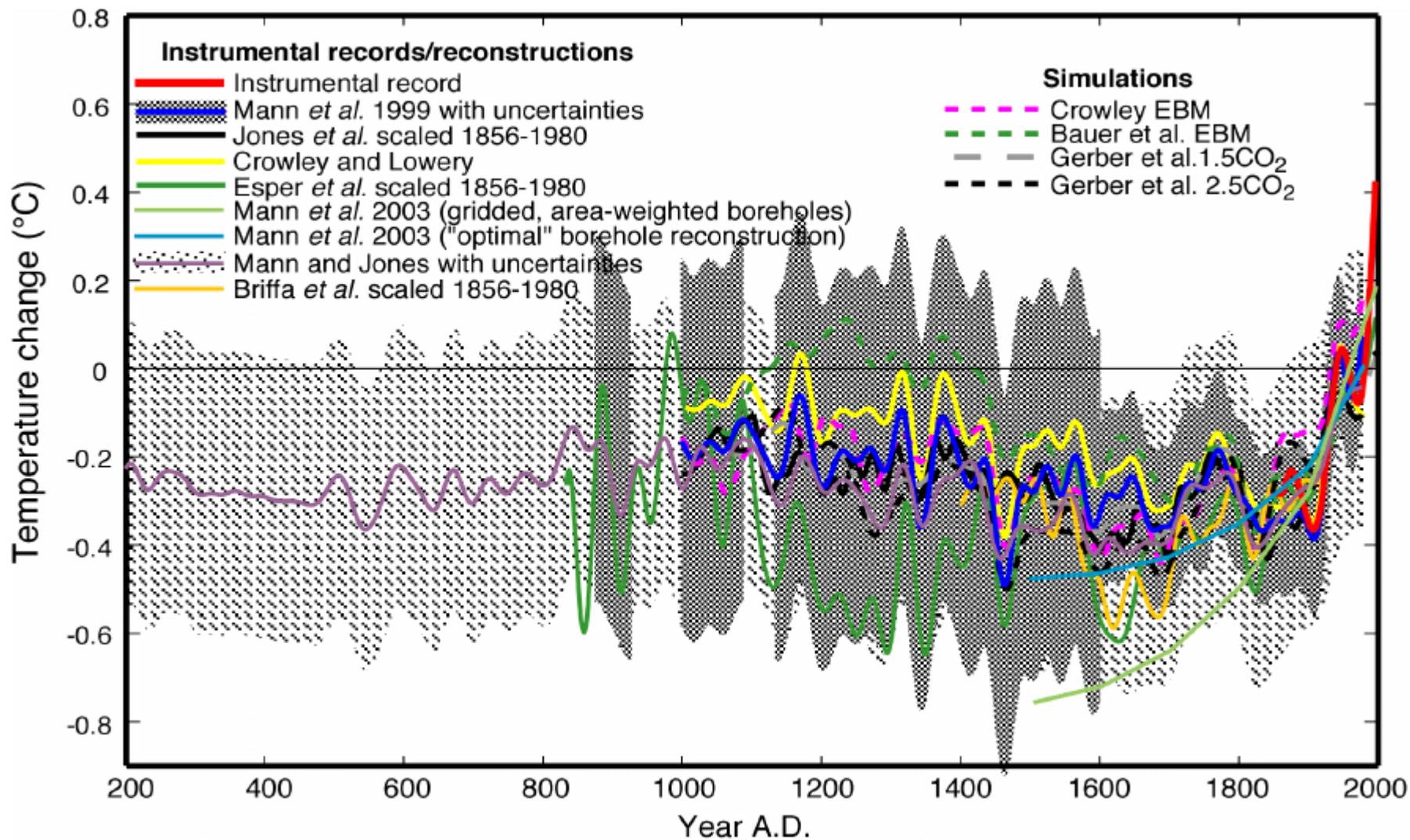
Transportation
20%

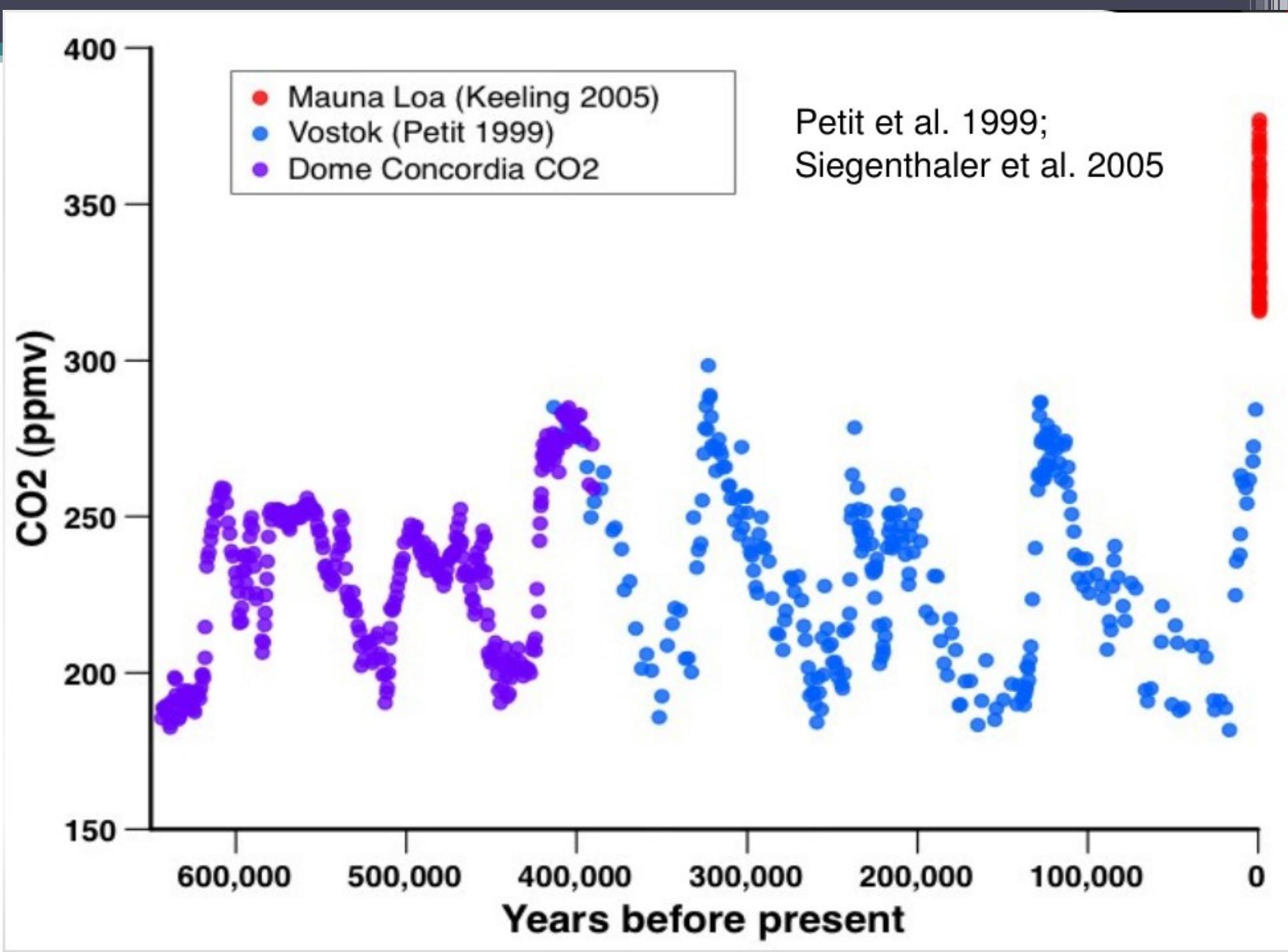
Losses
40%

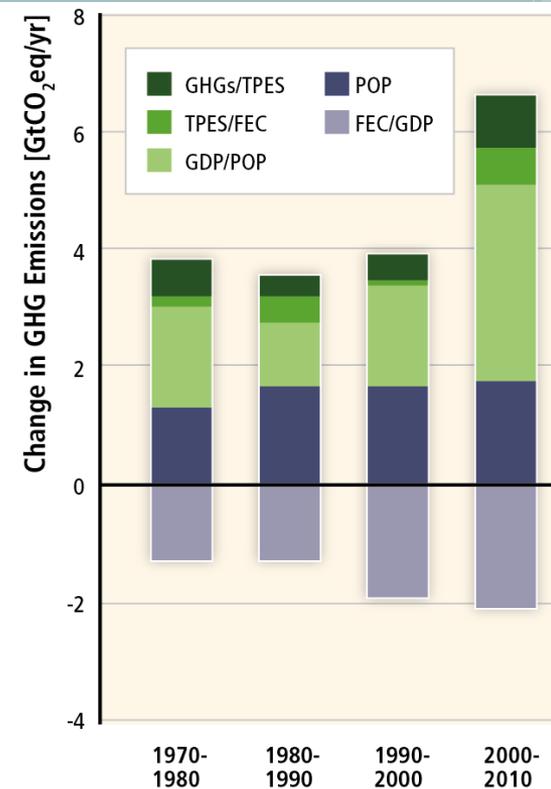
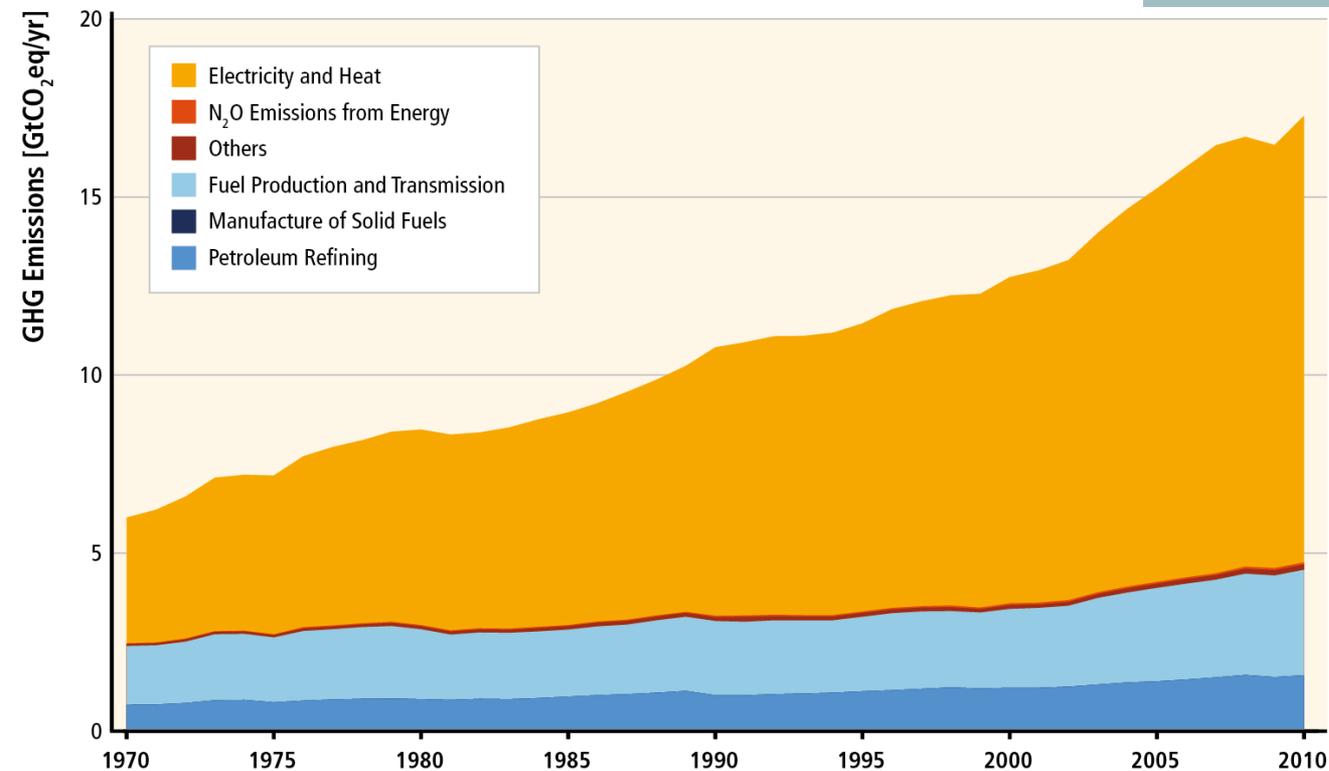


Electricity
10%

!!!!!!!!!!!!







Average Annual Growth Rates

	70s	80s	90s	00s
Electricity & Heat	4.51%	3.22%	1.96%	3.19%
Petroleum Refining	2.09%	1.11%	1.88%	2.58%
Manufacture of Solid Fuels	4.26%	8.26%	1.16%	5.05%
Fuel Production and Transmission	1.78%	0.59%	0.60%	2.94%
Others	3.77%	2.00%	-0.48%	3.72%
N ₂ O Emissions from Energy	4.74%	2.19%	2.17%	2.66%
Total Energy Sector	3.53%	2.43%	1.68%	3.10%

Shares (%)

	1970	1990	2010
GHGs/TPES	58.9	69.9	72.6
TPES/FEC	12.3	9.4	9.1
GDP/POP	0.0	0.0	0.0
POP	27.5	19.3	17.1
FEC/GDP	1.1	1.0	0.9
N ₂ O Emissions from Energy	0.3	0.3	0.3
Total	100.0	100.0	100.0

Mitigadores de emissões no setor energético (segundo IPCC)

- N. 1: Aumento na eficiência de geração
- N. 2: Redução na emissão de CH₄ e NO_x
- N. 3: Redução do uso de grandes emissores fósseis (como o carvão mineral)
→ substituição por gás natural
- N. 4: Uso de fontes renováveis de energia
- N. 5: Uso de energia nuclear
- N. 6: Captura e armazenamento de CO₂

Ementa da disciplina

Introdução ao panorama energético mundial. Conceito de energia renovável e não-renovável. Prospeção e aquisição de energias renováveis e não-renováveis. Tecnologias de geração de energia: máquinas térmicas e elétricas. Hidroenergia e suas aplicações. Energia de ondas e marés. Fonte solar de energia. Aproveitamento dos ventos. Energia geotérmica. Biomassa e biocombustíveis. Células a combustível. Meios de transporte movidos a eletricidade.

Algumas referências

- REN21 2014 (<http://ren21.net>)
- International Renewable Agency (<http://irena.org>)
- IPCC Mitigation Report – Energy (<http://ipcc.ch>)
- Wind Power Report 2013 (<http://gwec.net>)
- Bioenergy Report 2014 (<http://ieabioenergy.com>)
- No Brasil: portalbeeolica.org.br,
portalenergiasolar.com.br, aneel.gov.br,
anp.gov.br

Bibliografia

- ALDABÓ, R. Energia Eólica, Artliber Editora, São Paulo, 2002. ***
- ALDABÓ, R. Célula combustível a hidrogênio, Artliber Editora, São Paulo, 2004. ***
- ALDABÓ, R. Energia Solar para produção de eletricidade, Artliber Editora, São Paulo, 2012. ***
- BRANCO, S. M. Energia e meio ambiente, Ed. Moderna, São Paulo, 2004. ***
- COPEL. Atlas do potencial eólico do Estado do Paraná, LACTEC, Curitiba, 2007. ***
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Hoboken, 2006.**
- GOLDEMBERG, J., Energia no Brasil, Ed. LTC, 1979.**
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; DOS REIS, L. B. Energia e meio ambiente, Cengage, São Paulo, 2011. ***
- KENISARIN, M.; MAHKAMOV, K. Solar energy storage using phase change materials, Renewable & Sustainable Energy Reviews 11, Issue 9, 1913-1965, 2007. (artigo)**
- KLASS, D. L. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, Academic Press, San Diego, 1998. (artigo)**
- Levenspiel, O. Termodinâmica amistosa para engenheiros, Edgard Blücher, São Paulo, 2002. ***
- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, John Wiley & Sons, Chichester, 2009.**
- OMER, A.M. Energy, environment and sustainable development, Renewable & Sustainable Energy Reviews 12, Issue 9, 2265-2300, 2008. (artigo)**
- REN21. Renewables 2014: Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris, 2014. (relatório)**
- TWIDELL, J.; WEIR, T. Renewable energy resources, Ed. Taylor and Francis, 2a. Edição, London, 2006.**
- TOLMASQUIM, A. T. Fontes renováveis de energia no Brasil, Ed. Intersciencia, Rio de Janeiro, 2003. ***

Periódicos

Applied Energy (5.26)

Biomass & Energy (3.41)

Energy & Environmental Science (15.49)

Energy & Fuels (2.73)

Environmental Science & Technology (5.48)

Global Environmental Change (6.00)

International Journal of Energy Research (2.73)

International Journal of Hydrogen Energy (2.93)

Journal of Power Sources (5.21)

Journal of Solar Energy Engineering (0.7)

Renewable Energy (3.36)

Renewable & Sustainable Energy Reviews (5.51)

Revista Brasileira de Energias Renováveis (qualis B5)

Solar Energy (3.54)

Solar Energy Materials and Solar Cells (5.03)

Tarefa de casa: pesquise o qualis capes das revistas acima em duas áreas:

Biotecnologia e Interdisciplinar



Energia
Matriz Energética
Políticas Energéticas

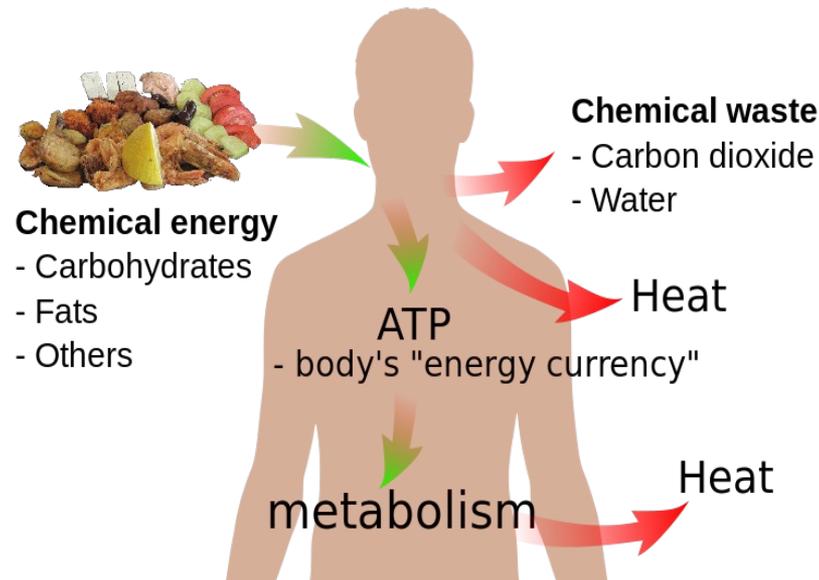
O que é energia?

- Conceito advindo do século XVIII → máquinas térmicas e termodinâmica
 - Young
 - Gibbs
 - Clausius
 - Boltzmann
- Energia:
 - Quantidade física que pode ser interna aos objetos com massa ($E=mc^2$), interna a um campo de força (energia potencial), a um objeto em movimento (energia cinética) ou liberada em uma reação química
 - A troca de energia entre as partículas de um sistema podem lhe dar movimento e calor. Exemplo: a energia cinética do pé pode ser transferida para uma bola concedendo-lhe movimento; a energia cinética de um soco na parede será transferida para as moléculas da parede e da mão, produzindo calor.



Conversão de energia elétrica potencial em energia sonora, energia luminosa, energia térmica

Energy and human life



Kinetic

Motion



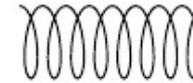
Gravitational

Height above some
reference level



Elastic

Stretch or compression



Chemical

Molecules that can react
and give off heat



Nuclear

Nuclei that can react
and give off heat



Thermal

High temperature



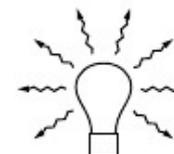
Electrical

Voltage and current



Radiant

Light and other
electromagnetic waves



Principais Unidades de medida de Energia: Joule (SI),
kcal, Btu, kWh.

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J} = 3.97 \text{ Btu} = 0.00116 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ Btu} = 1054 \text{ J} = 0.252 \text{ kcal} = 0.000293 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,600,000 \text{ J} = 860 \text{ kcal} = 3413 \text{ Btu}$$

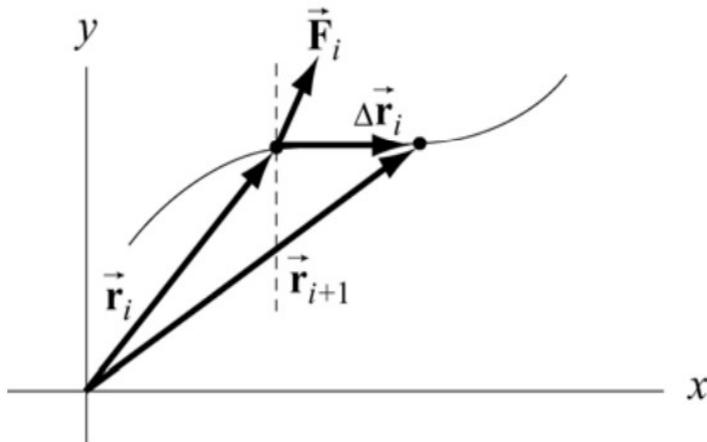
Energia cinética (J): energia de movimento

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Trabalho (J): atuação de uma força ao longo de um caminho

$$W = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ |\Delta \vec{r}_i| \rightarrow 0}} \sum_{i=1}^{i=N} \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{r}_i = \int_{r_0}^{r_f} \vec{F} \cdot d\vec{r}$$



$$W_{\text{total}} = \Delta K = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Teorema Trabalho-Energia

Trabalho é equivalente à
variação da energia de
movimento.

Um erro frequente

- Potência e energia
 - Conceitos parecidos mas diferentes!

Potência é a energia medida (gerada/consumida) por unidade de tempo!!!

A potência serve para medir a capacidade energética de uma planta ou usina!!!

Potência (Power) = Energia/Tempo

Consequentemente:

Energia (kWh) é igual a

Potência (kW) x Tempo (h)

Relembrando unidades

- Potência é a energia produzida por unidade de tempo
- $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 41,8 \text{ kcal/s}$
- $1 \text{ kW} = 1,35 \text{ HP}$ ou $1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W}$
- $1 \text{ MW} = 1.000 \text{ kW} = 1.000.000 \text{ W}$

Capacidade instalada em uma usina (ou planta) de energia:

É a potência máxima que aquela usina é capaz de gerar.

Exemplo: Itaipu tem cerca de 14 GW (ou 14.000 MW) de capacidade instalada.

Isso quer dizer que Itaipu pode gerar até 14 bilhões de Joules a cada segundo.

Lembrando que 1 kWh equivale a 3.600.000 J

=> Itaipu pode gerar até 3.888 kWh a cada segundo. Por comparação, uma casa típica consome 157 kWh/mês em média (EPE, 2010).

Problema: Calcule quantas casas a Itaipu consegue alimentar em um mês, supondo a sua capacidade (potência) instalada.

Em 1896, em Waco, Texas, EUA, William Crush posicionou duas locomotivas nas extremidades opostas de uma longa ferrovia de 6,4 km, deu partida nas mesmas com os aceleradores amarrados e permitiu a colisão frontal na velocidade máxima, diante de 30 mil espectadores. Centenas de pessoas foram feridas por destroços que voaram; várias foram mortas. Supondo que cada locomotiva pesava $1,2 \times 10^6$ N e tinha uma aceleração constante de $0,26 \text{ m/s}^2$, qual era a energia cinética das duas locomotivas imediatamente antes da colisão?

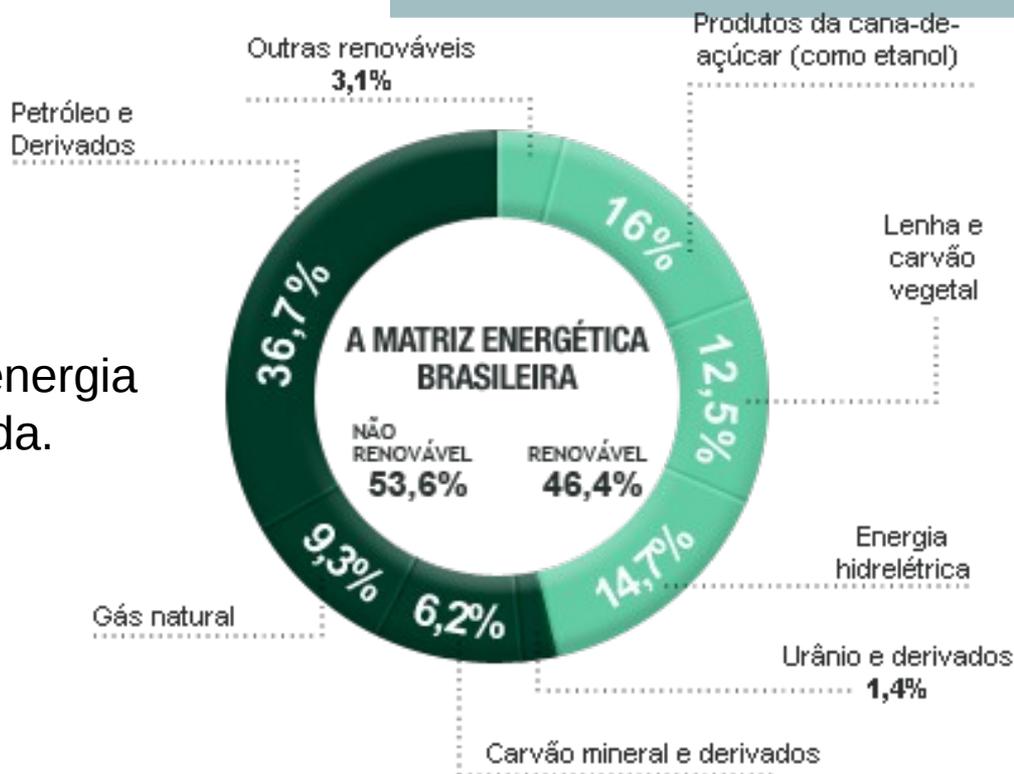
Principais Fontes de Energia

- Tração animal (não é mais a principal para transportes → Revolução Industrial)
- Biomassa tradicional (dendroenergia)
- Biomassa manipulada (biocombustíveis)
- Fontes fósseis
 - Carvão mineral
 - Petróleo
 - Gás natural
 - Shale gas
- Ventos
- Sol
- Urânio
- Águas quentes subterrâneas
- Ondas oceânicas
- Movimento das marés
- Desníveis hidráulicos
- Vetores energéticos (não são fontes, mas armazenam energia): hidrogênio, baterias elétricas, campos físicos artificiais (ímãs, p.ex.)

Matriz Energética:

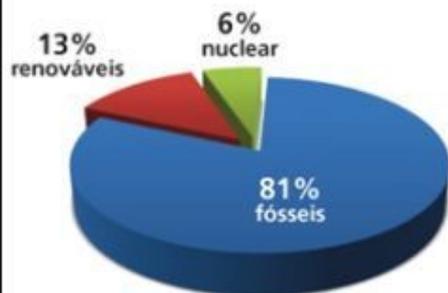
Em um país, cada fonte de energia tem uma capacidade instalada.

No Brasil, por exemplo →

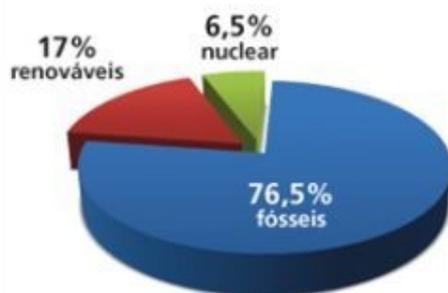


FONTE: Empresa de pesquisa energética

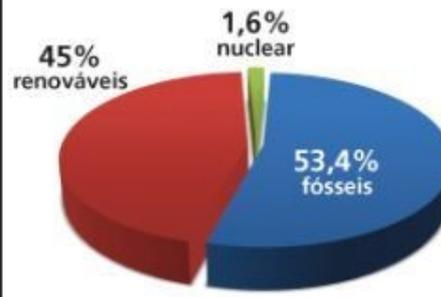
MATRIZ ENERGÉTICA NO MUNDO 2010



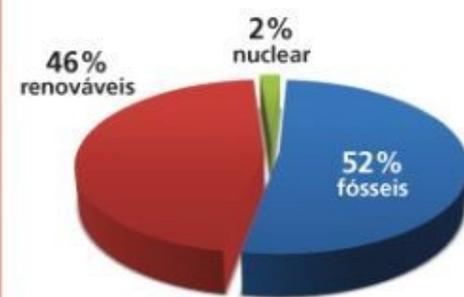
MATRIZ ENERGÉTICA NO MUNDO 2030

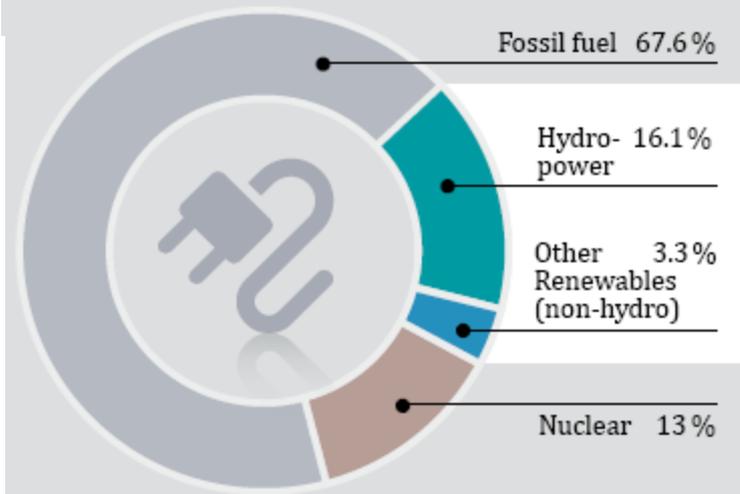
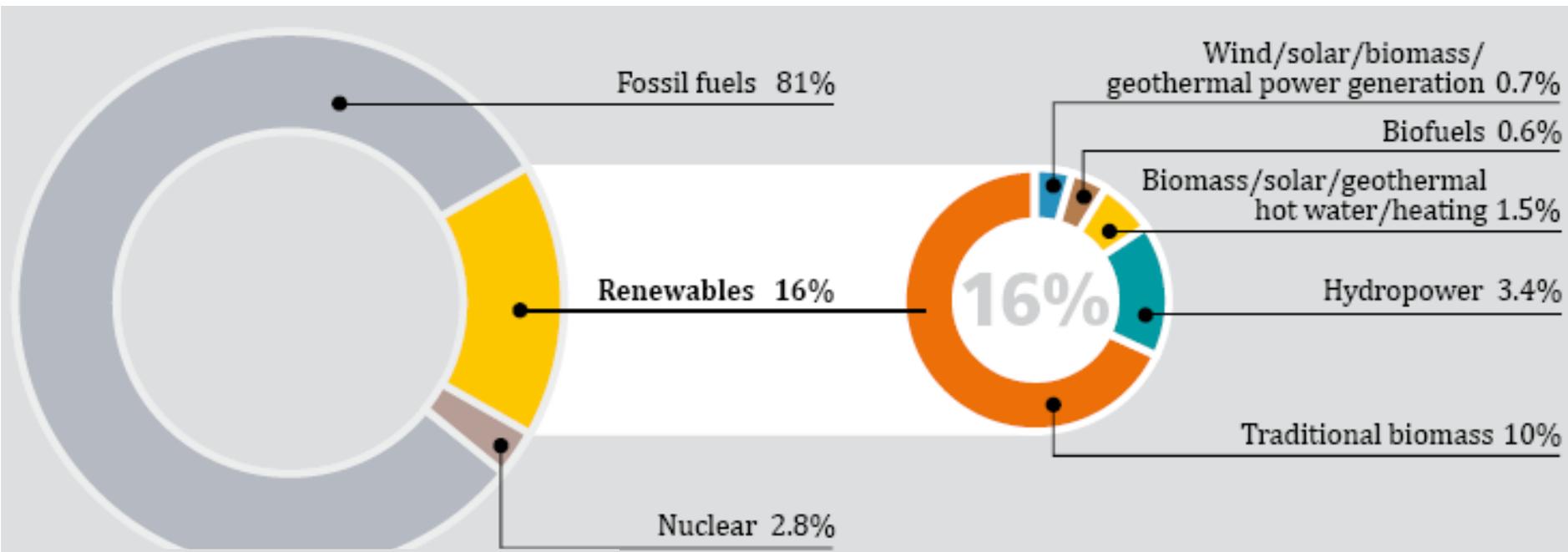


MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL 2010



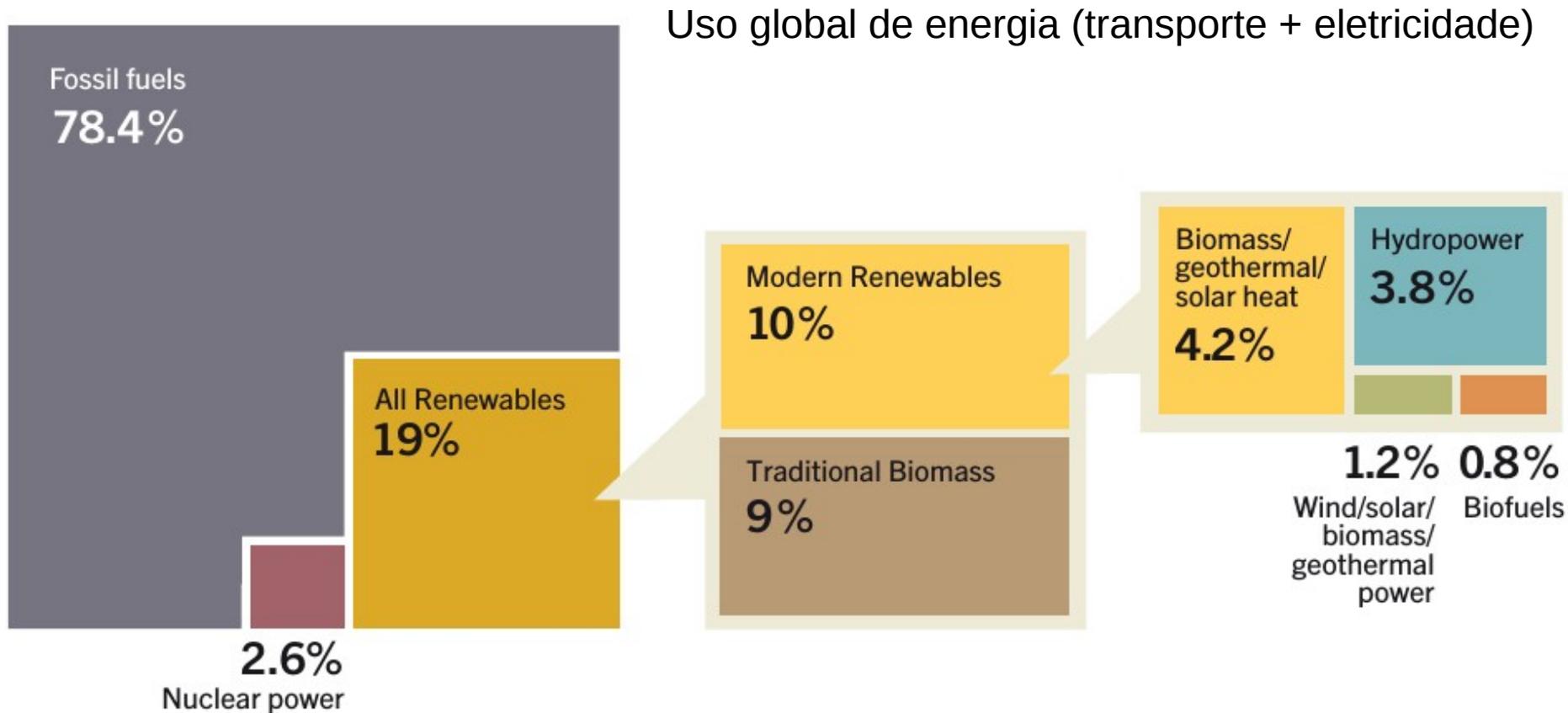
MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL 2030





Ano: 2009

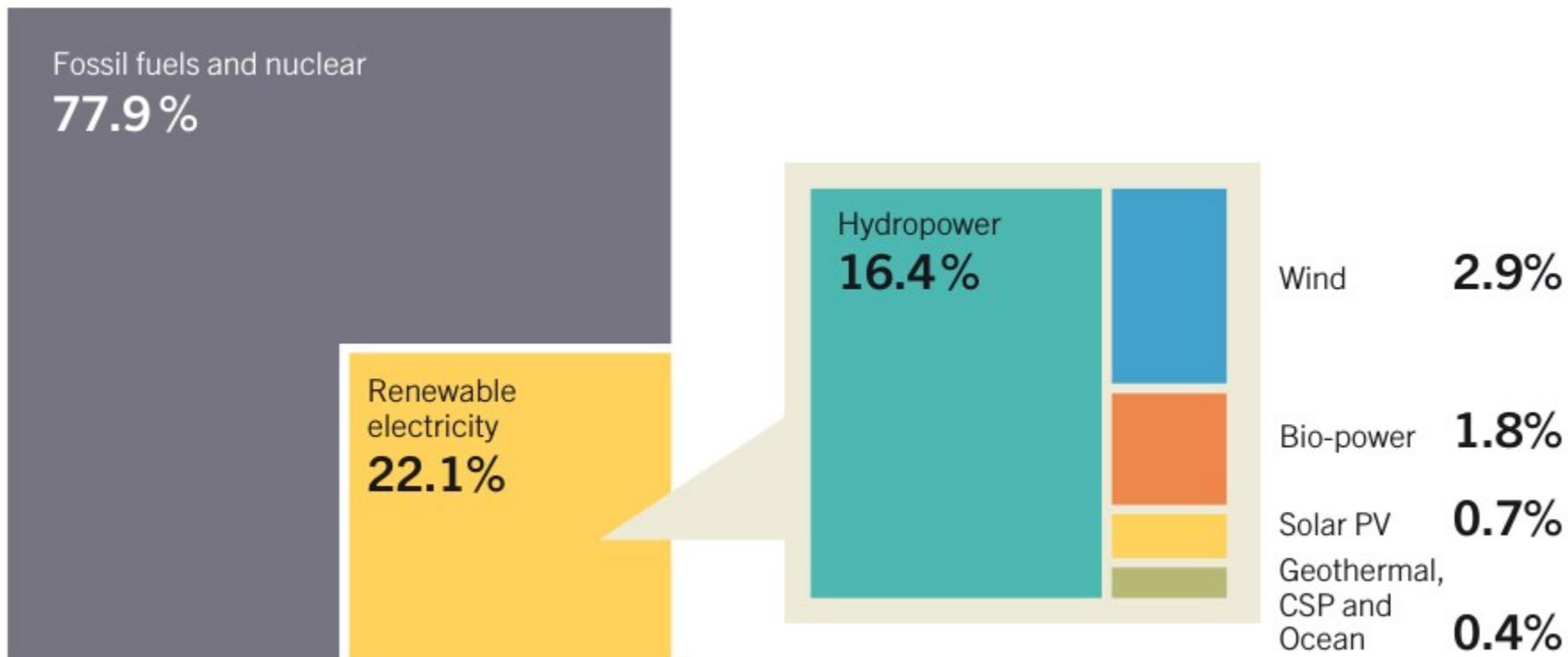
Fonte: IPCC, RN21 e Renewable GSR (2010)



Até o fim de 2012

Fontes: IPCC, RN21 e Renewable GSR (2014)

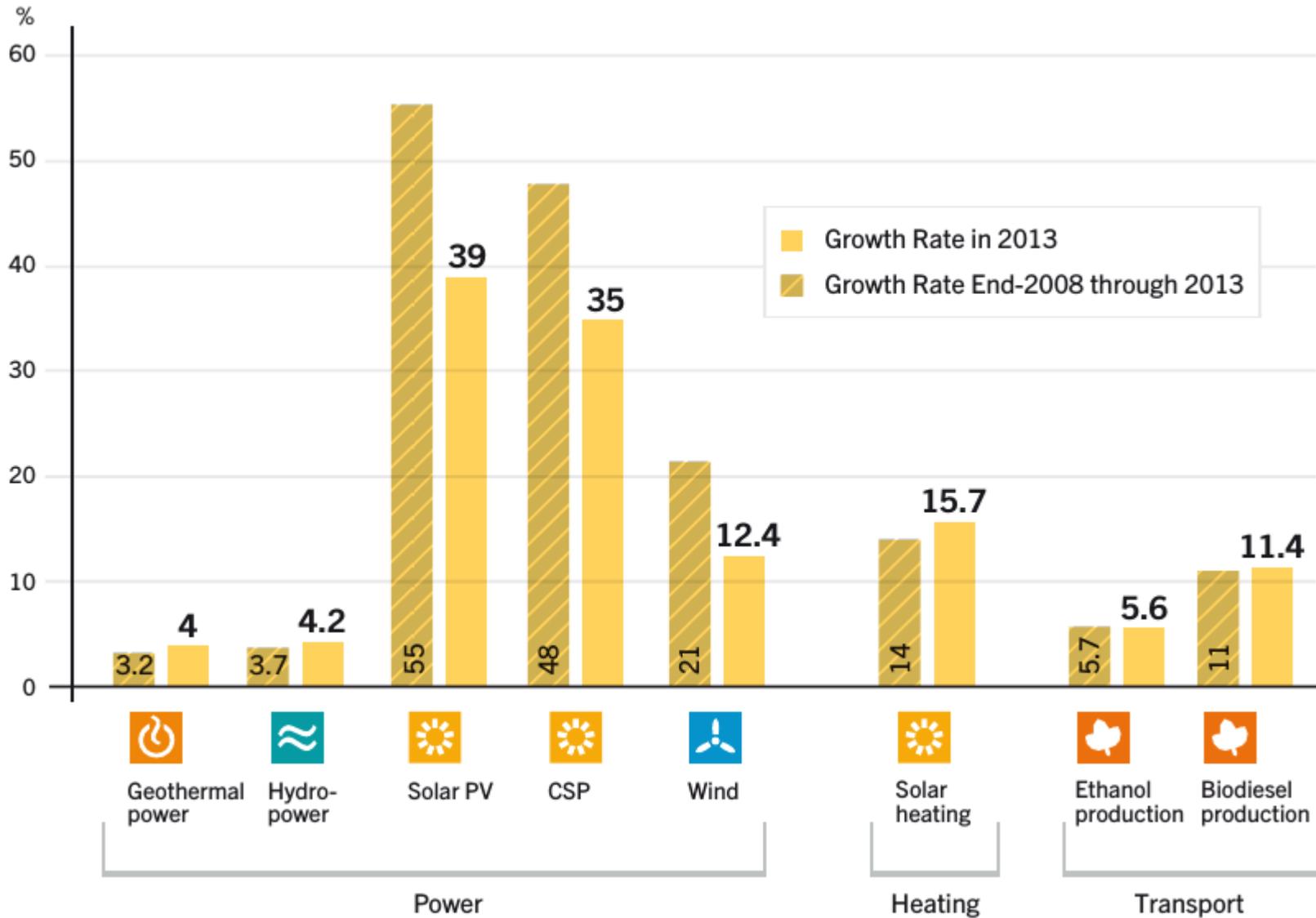
Em termos de geração de eletricidade



Até o fim de 2013

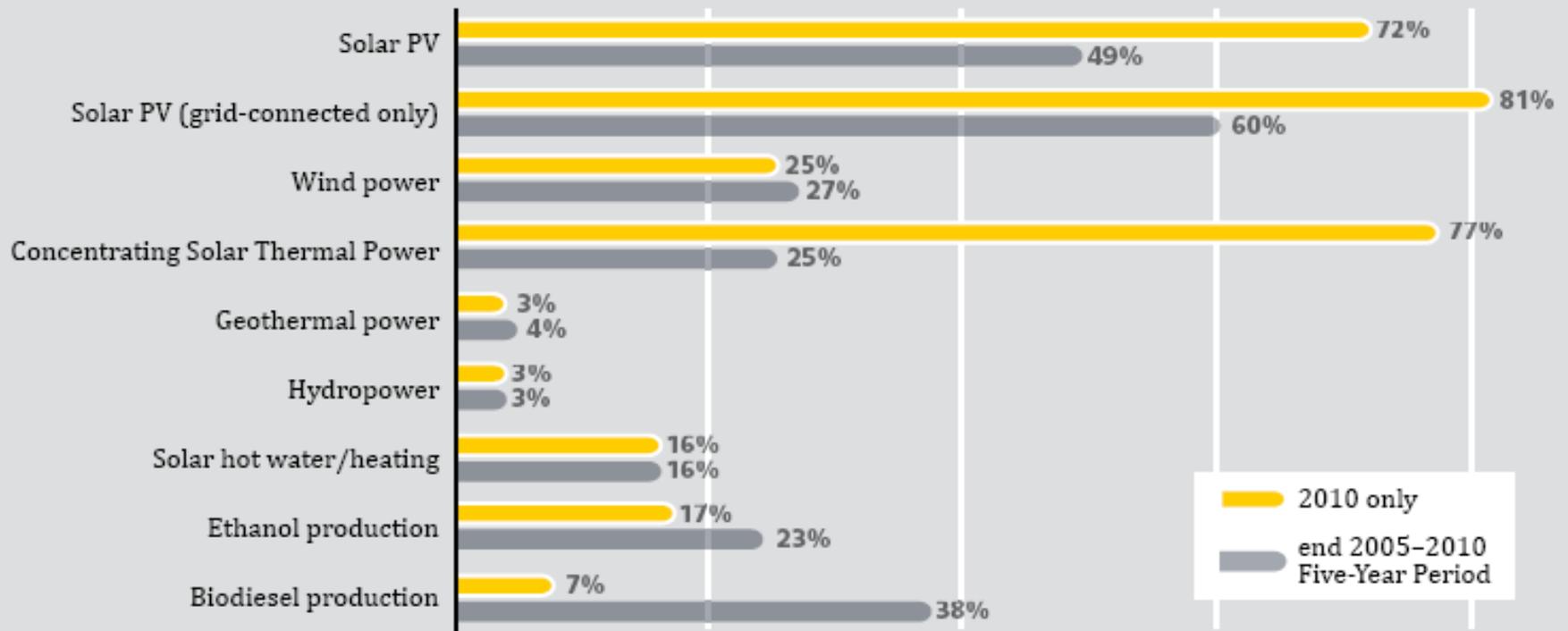
Fontes: IPCC, RN21 e Renewable GSR (2014)

- REN21: <http://www.ren21.net/>



Crescimento das energias renováveis

Figure 2. Average Annual Growth Rates of Renewable Energy Capacity and Biofuels Production, 2005–2010



Políticas energéticas

POLICIES

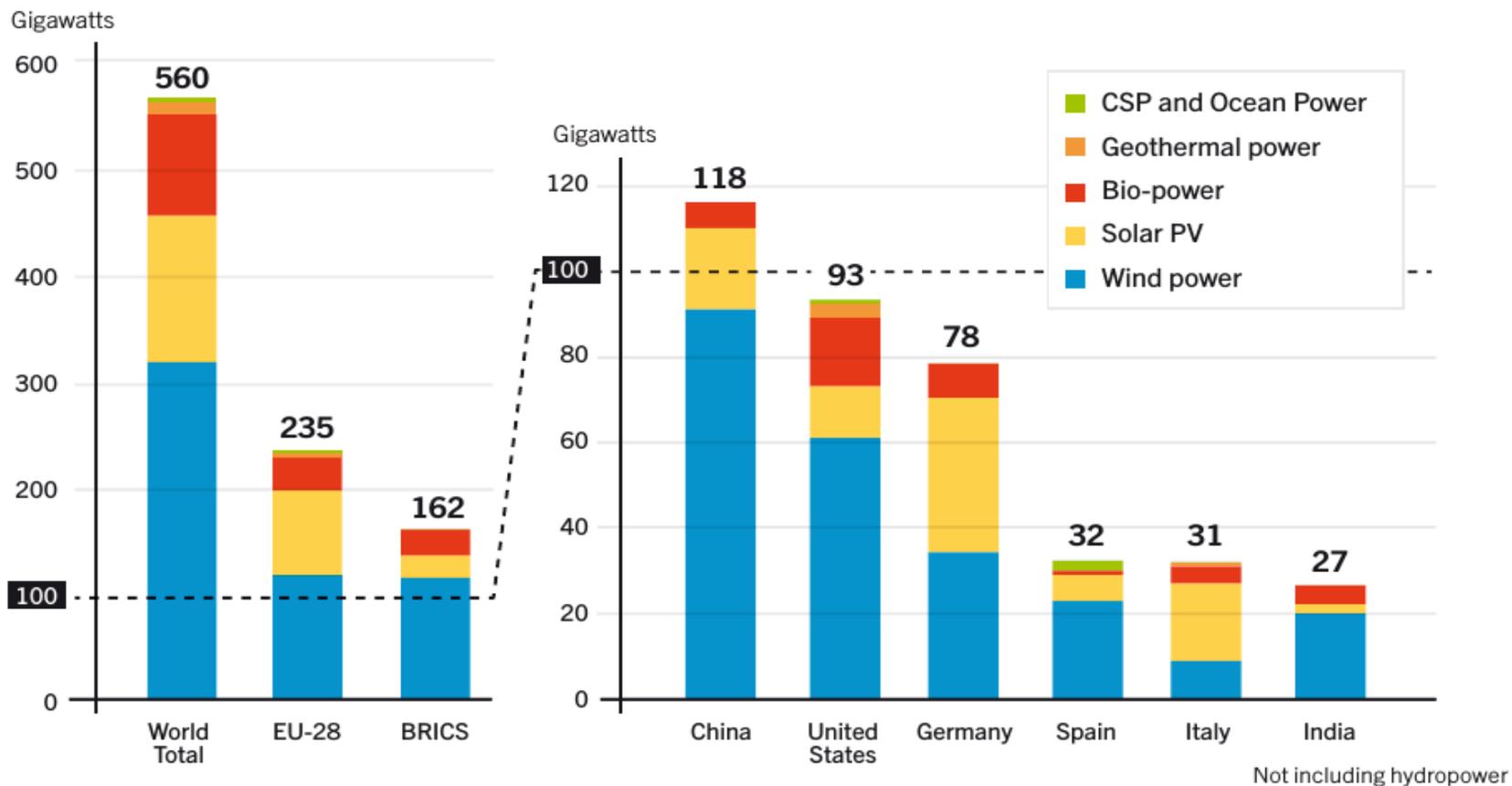
Countries with policy targets	#	48	138	144
Feed-in Number of states / provinces / countries	#	34	97	98
RPS / quota policies Number of states / provinces / countries	#	11	79	79
Tendering Number of states / provinces / countries	#	8	45	55
Heat obligations / mandates Number of countries	#	n/a	19	19
Biofuel obligations / mandates ⁵ Number of countries	#	10	52	63

Ranking de países: investimentos até 2013

	1	2	3	4	5
Investment in renewable power and fuels	China	United States	Japan	United Kingdom	Germany
Share of GDP 2012 (USD) invested ¹	Uruguay	Mauritius	Costa Rica	South Africa	Nicaragua
 Geothermal power capacity	New Zealand	Turkey	United States	Kenya	Philippines
 Hydropower capacity	China	Turkey	Brazil	Vietnam	India
 Solar PV capacity	China	Japan	United States	Germany	United Kingdom
 CSP capacity	United States	Spain	United Arab Emirates	India	China
 Wind power capacity	China	Germany	United Kingdom	India	Canada
 Solar water heating capacity ²	China	Turkey	India	Brazil	Germany
 Biodiesel production	United States	Germany	Brazil	Argentina	France
 Fuel ethanol production	United States	Brazil	China	Canada	France

Fontes: Banco Mundial, REN21, 2014

Capacidade energética



Ranking de políticas: energía eléctrica

POWER

Renewable power (incl. hydro)	China	United States	Brazil	Canada	Germany
Renewable power (not incl. hydro)	China	United States	Germany	Spain / Italy	India
Renewable power capacity <i>per capita</i> (not incl. hydro) ³	Denmark	Germany	Portugal	Spain / Sweden	Austria
 Biopower generation	United States	Germany	China	Brazil	India
 Geothermal power	United States	Philippines	Indonesia	Mexico	Italy
 Hydropower ⁴	China	Brazil	United States	Canada	Russia
 Hydropower generation ⁴	China	Brazil	Canada	United States	Russia
 Concentrating solar thermal power (CSP)	Spain	United States	United Arab Emirates	India	Algeria
 Solar PV	Germany	China	Italy	Japan	United States
 Solar PV capacity <i>per capita</i>	Germany	Italy	Belgium	Greece	Czech Republic
 Wind power	China	United States	Germany	Spain	India
 Wind power capacity <i>per capita</i>	Denmark	Sweden	Spain	Portugal	Ireland

Ranking de políticas: aquecimento

HEAT

 Solar water heating ²	China	United States	Germany	Turkey	Brazil
 Solar water heating capacity <i>per capita</i> ²	Cyprus	Austria	Israel	Barbados	Greece
 Geothermal heat ⁵	China	Turkey	Iceland	Japan	Italy

Algumas curiosidades

- O Uruguai é o país que mais transformou o seu PIB em energias renováveis
 - Estima-se que nesta década, 90% da matriz energética desse país para eletricidade será renovável
- 24 milhões de pessoas no mundo não têm acesso a energia elétrica
- Entre os países em desenvolvimento, o Brasil é o que mais cresceu em eólica nos últimos anos
 - Brasil, Argentina, Chile e México possuem fábricas que produzem turbinas eólicas

Empregabilidade na área

	World	China	Brazil	United States	India	Bangladesh	European Union ^m		
							Germany	Spain	Rest of EU
Thousand Jobs									
 Biomass ^{a,b}	782	240		152 ^h	58		52	44	210
 Biofuels	1,453	24	820 ^f	236 ⁱ	35		26	3	82
 Biogas	264	90			85	9.2	49	0.5	19
 Geothermal ^a	184			35			17	1.4	82
 Hydropower (Small) ^c	156		12	8	12	4.7	13	1.5	18
 Solar PV	2,273	1,580 ^e			112	100 ^k	56	11	153
 CSP	43			143 ^j			1	28	0
 Solar Heating / Cooling	503	350	30 ^g		41		11	1	31
 Wind Power	834	356	32	51	48	0.1	138	24	166
Total	6,492^d	2,640	894	625	391	114	371^l	114	760

Principais fóruns de criação de políticas

- COPs (ONU)
- Grandes encontros da ONU: Ex.: Rio+20
- G8 (EUA, Can, Alem, Fr, Italia, UK, Rússia)
- G20
- BRICS (Brasil, Rússia, Índia, Canadá, África do Sul)
- Fórum Econômico Mundial
- Fórum Social Mundial

POLICY MAPS



Figure 26. Countries with Renewable Energy Policies, Early 2014

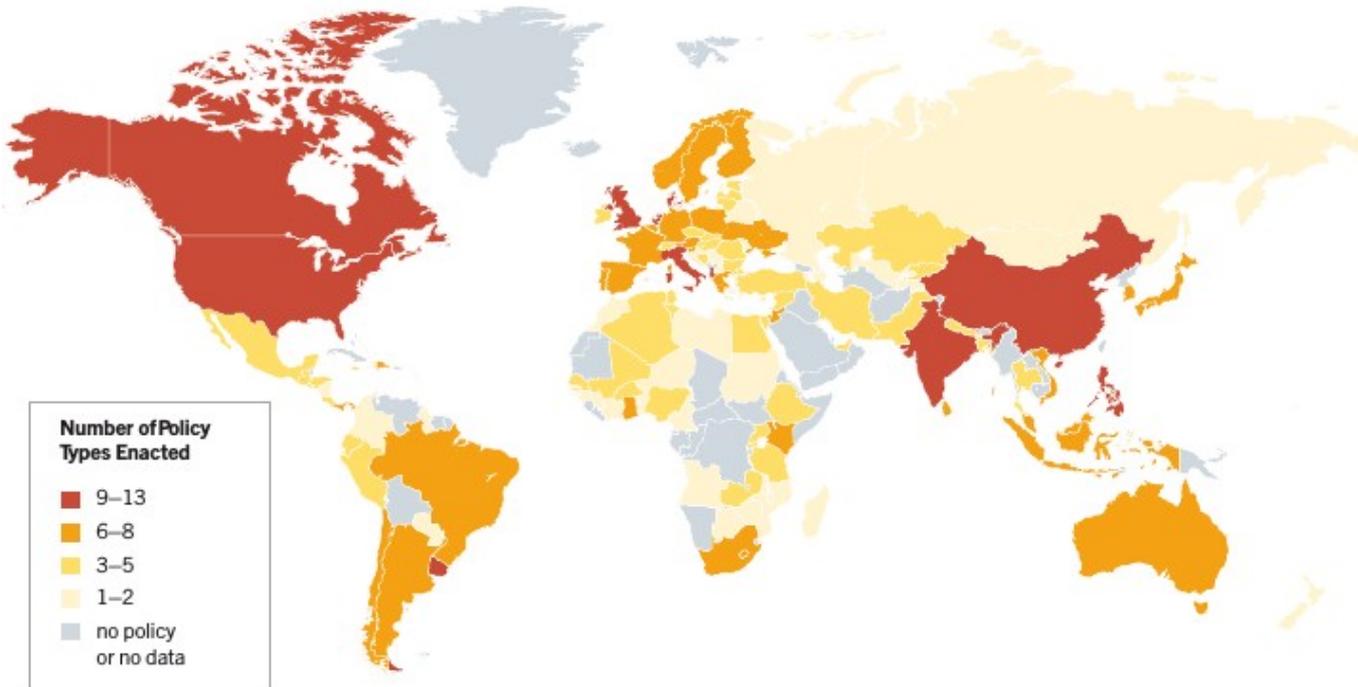
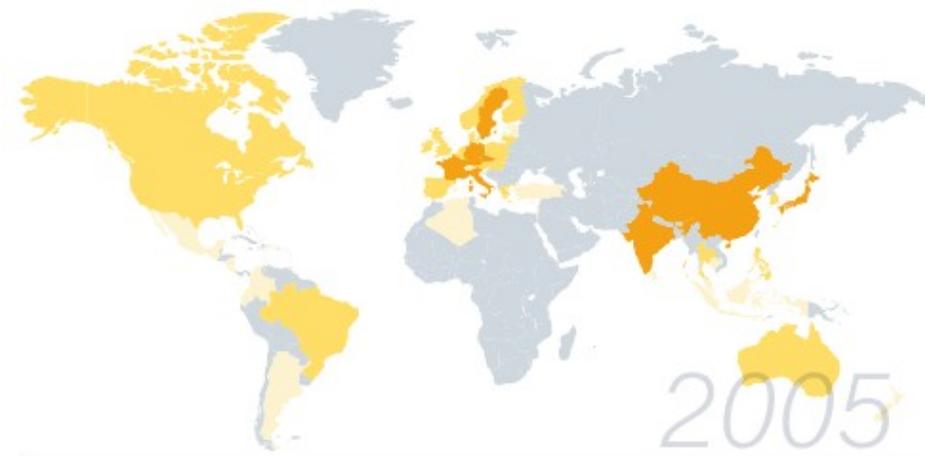


Figure 27. Countries with Renewable Energy Policies, 2005



144

**COUNTRIES
HAVE DEFINED
RENEWABLE
ENERGY TARGETS**

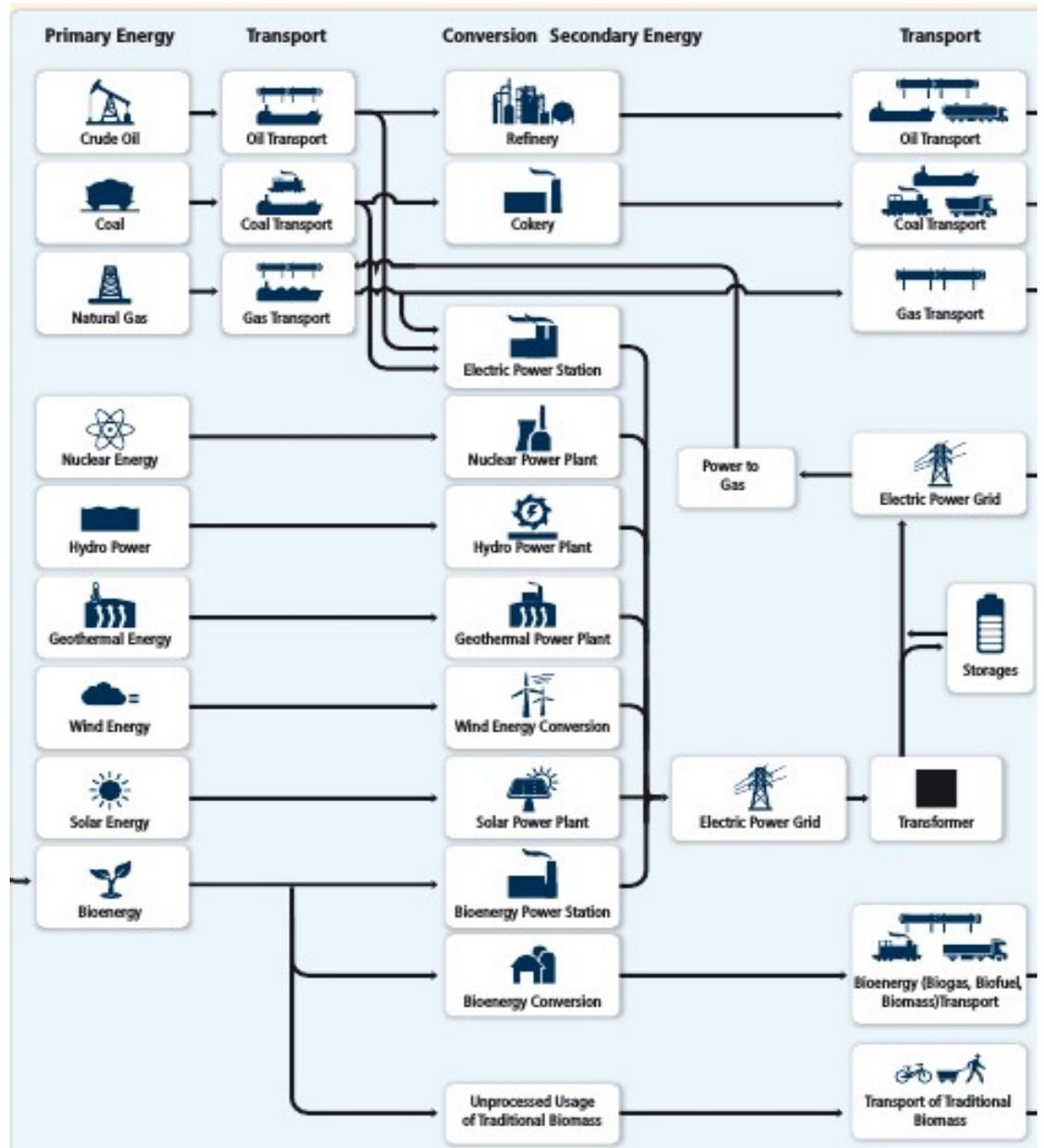
Fonte: REN21, 2014

Impactos ambientais

- Energias renováveis, apesar do nome, podem causar impactos
 - Eólica: instalação das turbinas (impacto no sentido de desmatamento, p.ex.), obstrução visual, geração de ruídos, mortalidade de espécies de pássaros e morcegos, fabricação do material da turbina
 - Hidrelétrica: devastação de grandes áreas, produção de CH₄ nos lagos, produção de NO_x na construção

Um resumo:

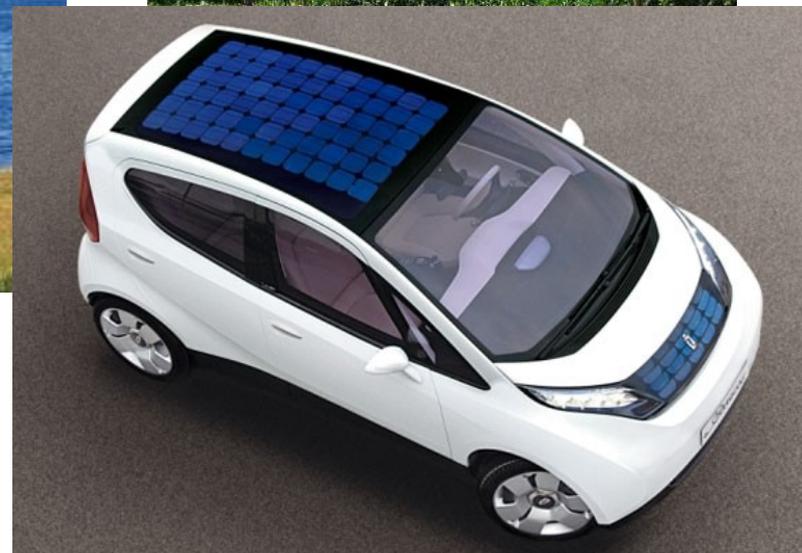
Fontes, processamento e uso



Energia Solar

Energia solar

- Aproveitamento de energia da radiação



Algumas tecnologias de ponta



Cargueiro a energia solar



Telha solar a partir de tinta nanotecnológica



BlueCar



Samsung BlueEarth



Fiat Phylla

Fiat Phylla -- características

O Phylla, desenvolvido pela Fiat em parceria com diversas outras empresas, como o IED (Istituto Europeo di Design), da Itália, tem exatos 2,995 m de comprimento, quatro lugares (2+2, na verdade, com os lugares atrás menores que os da frente) e tração nas quatro rodas. Com potência máxima de 73 cv (54 kW), o Phylla chega a uma velocidade máxima de 130 km/h. Isso porque seu peso é de apenas 750 kg e a relação peso/potência é de 10,2 kg/cv. A recarga total leva no máximo quatro horas, mas meia hora de carga pode garantir uma autonomia de até 80% da máxima.

Como se poderia esperar de um carro que se pretende limpo, o Phylla é inteiramente reciclável e conta com células fotoelétricas espalhadas pela carroceria.

Com baterias de íons de lítio, ele percorre até 145 km; com baterias de polímeros de lítio, a autonomia bate em 220 km, distância suficiente até para pequenas viagens.

Três tipos de fonte de energia: carregamento externo via rede elétrica + células de hidrogênio + energia solar.

Energia de satélites e sondas espaciais -> solar



Ainda falando em tecnologia de ponta

- Energia solar biológica!
- Construção de “folhas” artificiais

Barber J. (2007) Biological solar energy. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci.* 365:1007-23.



Aproveitamento da energia solar

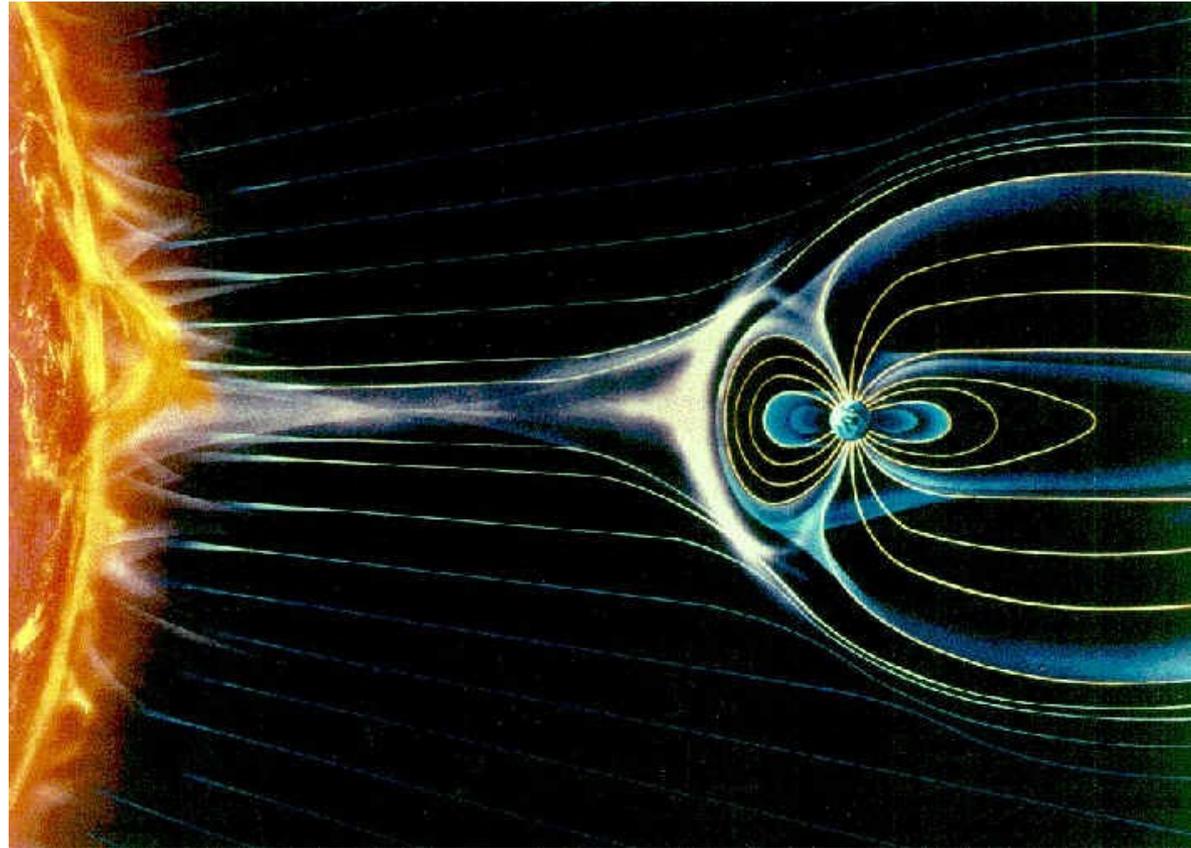
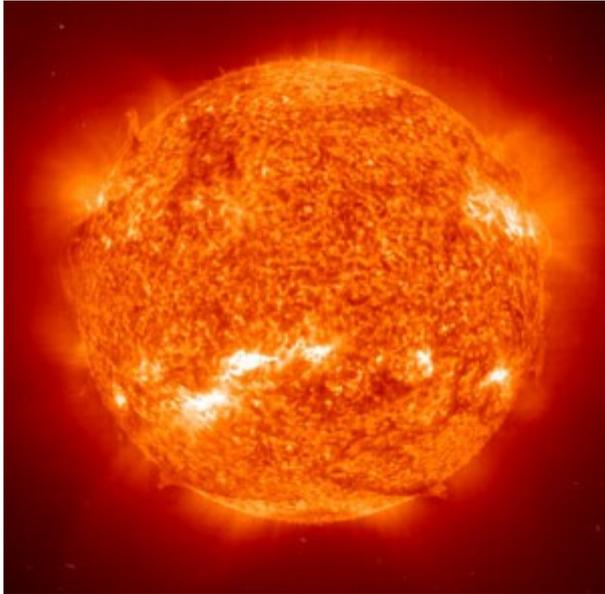
- Aquecimento
- Geração de eletricidade



Fundamentos físicos da energia solar (próxima aula)

- Processos radiativos (Lei de Stephan-Boltzmann)
- Balanço de energia terrestre
- Acumulação de calor em captadores a água/ar
- Efeito fotoelétrico (A. Einstein) -> Geração de eletricidade a partir de semicondutores fotovoltaicos

Origem física da energia solar



Histórias sobre o Sol

DADOS OBSERVACIONAIS

Distância média da Terra	149.6×10^6 km
Brilho visual	-26.8 ^m
Magnitude absoluta	4.8 ^m

CARACTERÍSTICAS ORBITAIS

Distância média do centro da Via Láctea	$\sim 2.5 \times 10^{17}$ km (26,000 anos-luz)
Período galáctico	$\sim 2.26 \times 10^8$ anos
Velocidade	~ 217 km/s

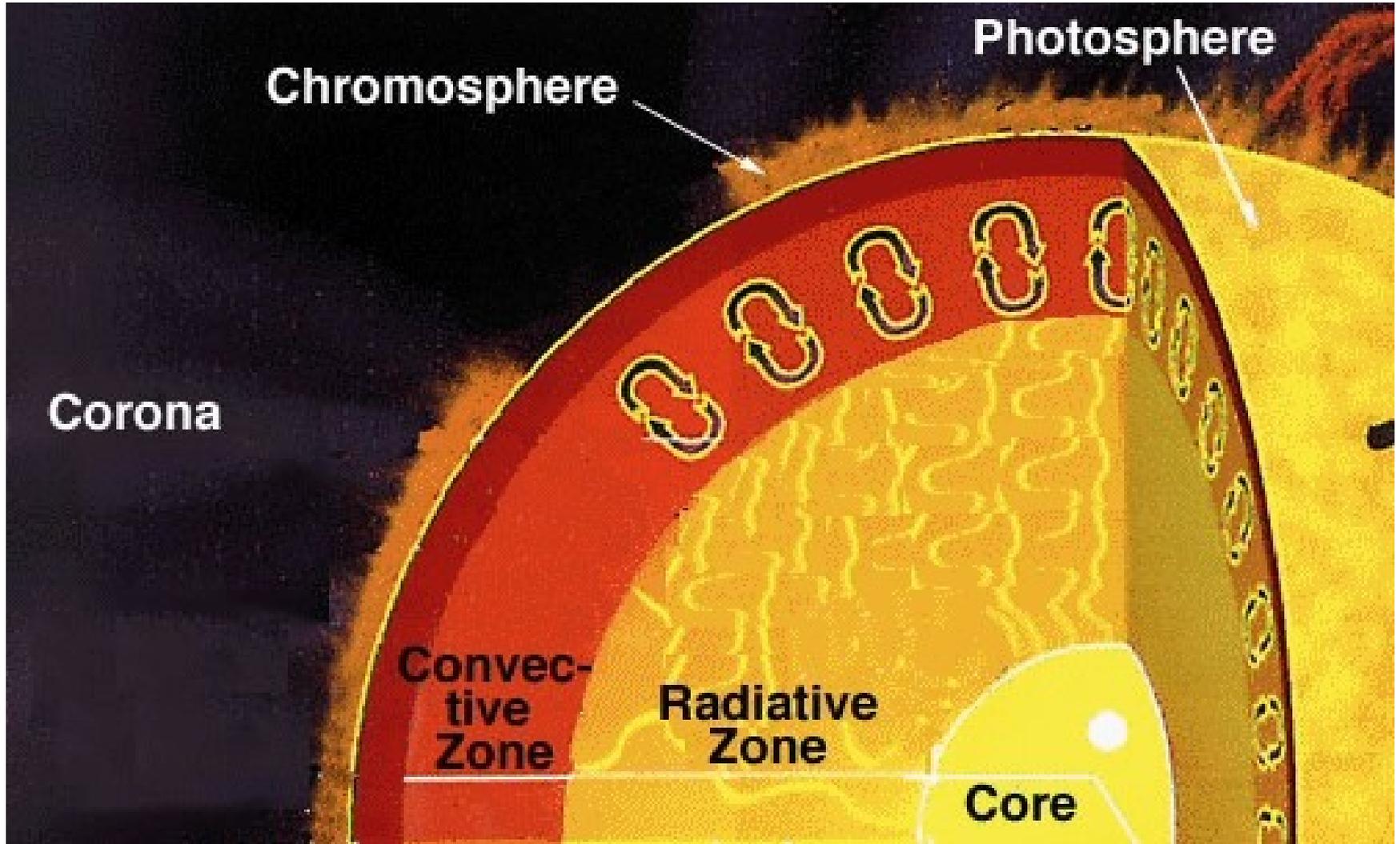
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Diâmetro	1.392×10^6 km (109 Terras)
Achatamento dos pólos	$\sim 9 \times 10^6$
Área da superfície	6.09×10^{12} km ² (11,900 Terras)
Volume	1.41×10^{18} km ³ (1,300,000 Terras)
Massa	1.9891×10^{30} kg (332,950 Terras)
Densidade	1.408 g/cm ³
Gravidade à superfície	273.95 m.s ⁻² (27.9 g)
Velocidade de escape à superfície	617.54 km/s
Temperatura à superfície	5780 K
Temperatura da coroa	5 MK
Temperatura aproximada do núcleo	13.6×10^6 K
Luminosidade (L_{\odot})	3.827×10^{26} J.s ⁻¹
Intensidade média (I_{\odot})	2.009×10^7 W.m ⁻² .sr ⁻¹
Idade	4.5×10^9 anos

COMPOSIÇÃO FOTOSFÉRICA

Hidrogénio	73.46%
Hélio	24.85%
Oxigénio	0.77%
Carbono	0.29%
Ferro	0.16%
Néon	0.12%
Nitrogénio	0.09%
Silício	0.07%
Magnésio	0.05%
Enxofre	0.04%

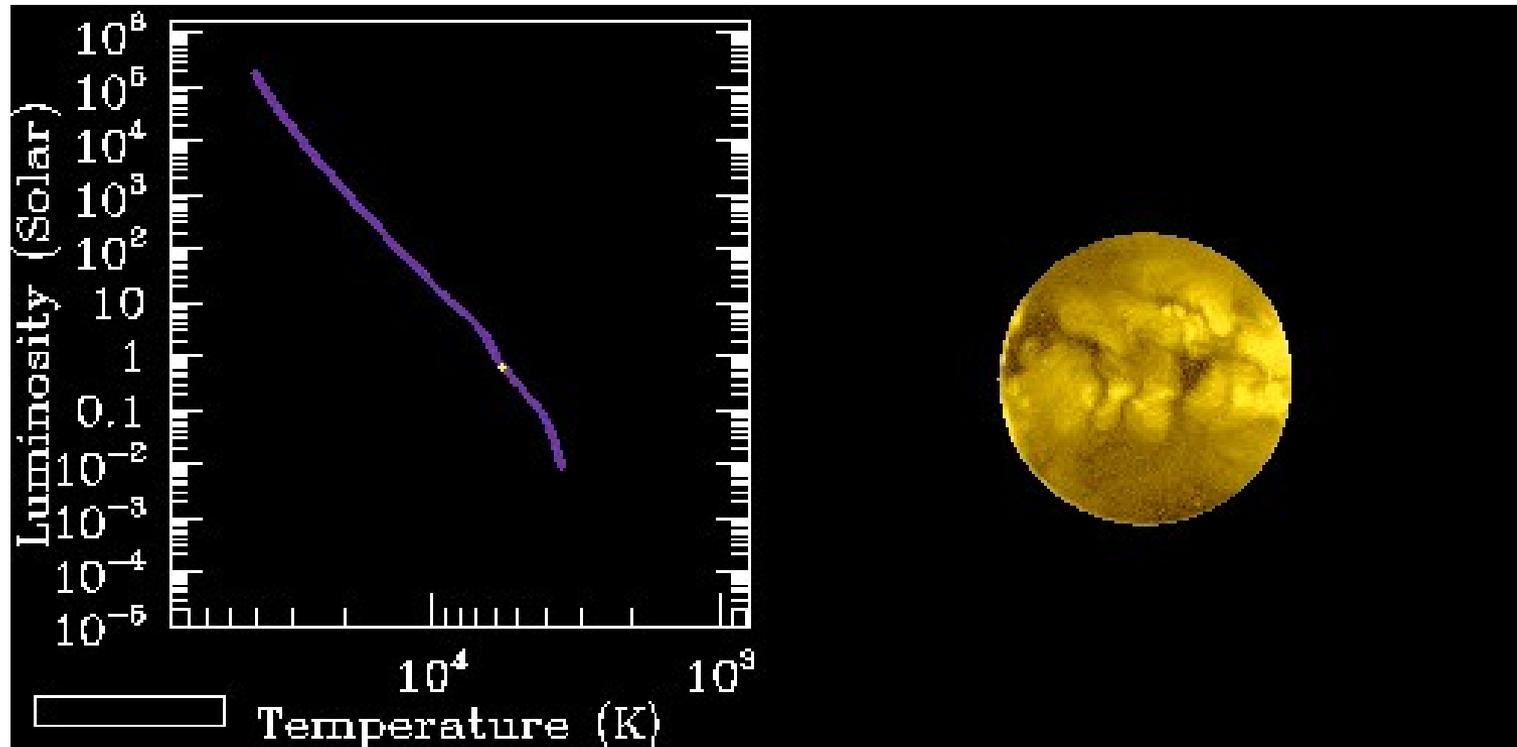
Estudo do interior do Sol



Evolução do Sol

- 1. Nuvem inter-estelar
- 2. Queda gravitacional da nuvem sobre si mesma
- 3. Atrito das moléculas eleva temperatura
- 4. Alta densidade + gravidade no interior da nuvem causa um efeito “sanfona”
- 5. A nuvem se torna com o passar do tempo esférica
- 6. O interior da nuvem se torna tão compacto que gera reações nucleares e libera altas energias
- <http://www.youtube.com/watch?v=tFLOsRSuW0E>
- <http://www.youtube.com/watch?v=zdo-776c2JQ>

No diagrama de sequência principal

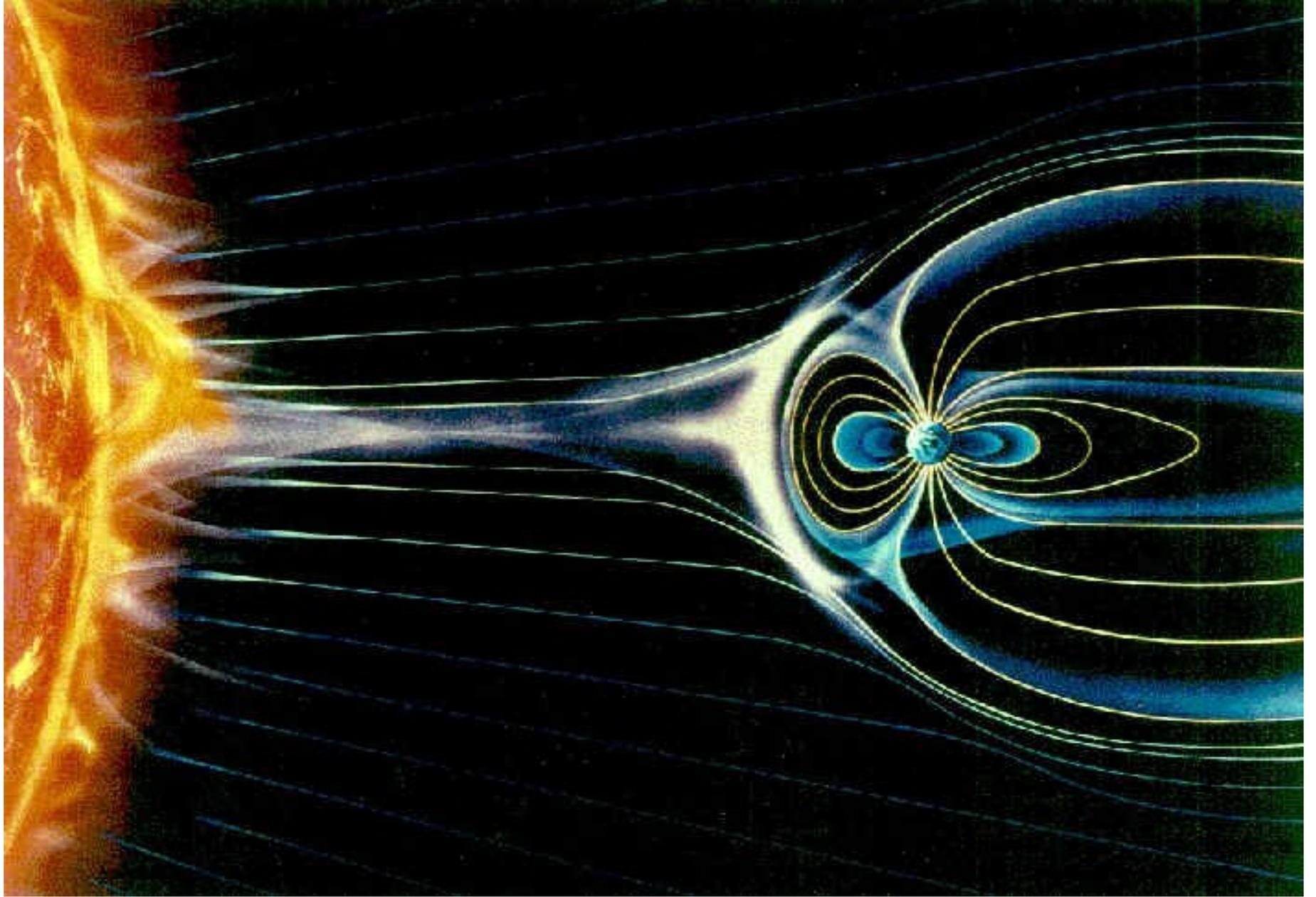


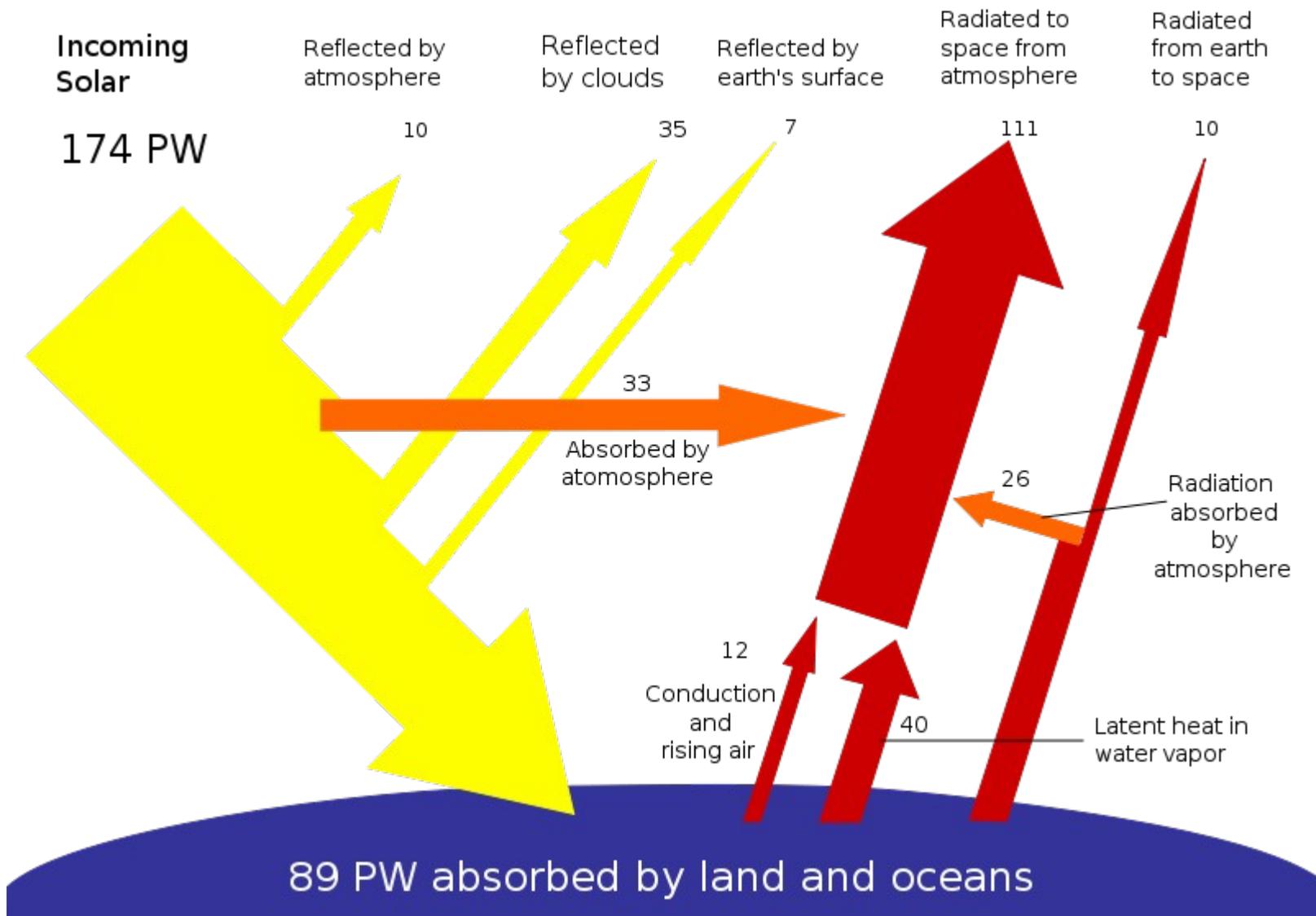
E como o Sol morre?

- Combustível interno acaba
- A atração gravitacional é muito maior que as pressões internas
- O Sol cai sobre si mesmo
- A queda produz muita energia interna
- O Sol se expande numa estrela gigante vermelha 200 vezes maior que o tamanho original
- Mercúrio e Vênus são engolidos, a Terra esquentada a níveis “venusianos”
- A gravidade puxa novamente a estrela para o interior e um “efeito sanfona” de alguns milhares de anos ocorre
- O Sol finalmente expulsa todo o plasma e o núcleo se transforma numa pequena estrela (anã branca)
- O plasma expulso se transforma numa nebulosa planetária
- <http://www.youtube.com/watch?v=bj-ZRpRHghI>

M 57
NGC 6720
Nebulosa do Anel



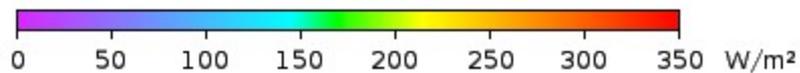
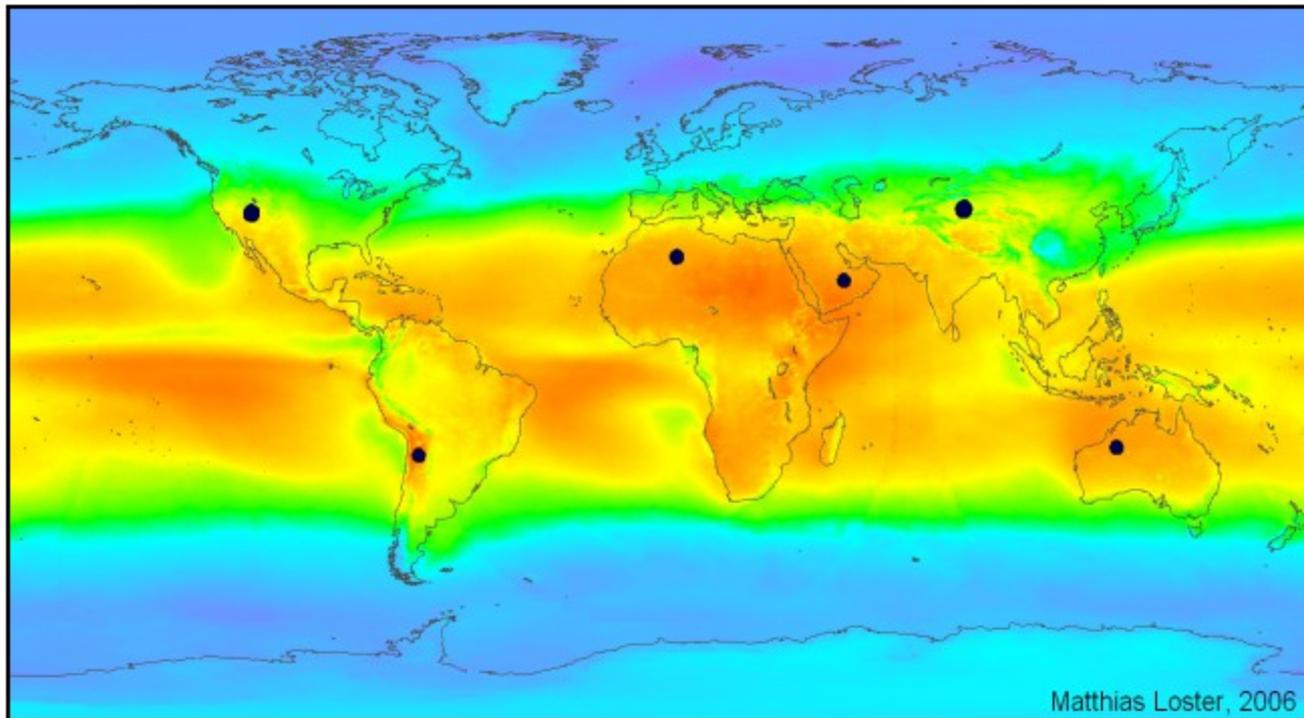




Energia solar na Terra em um ano e energias utilizadas em um ano

Energia vinda do Sol	3,8 milhões de EJ
Energia do vento	2,2 mil EJ
Energia total da biomassa	3 mil EJ
Uso primário de energia	487 EJ dos quais 81% fóssil
Uso geração de eletricidade	57 EJ

Insoleção no planeta Terra



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

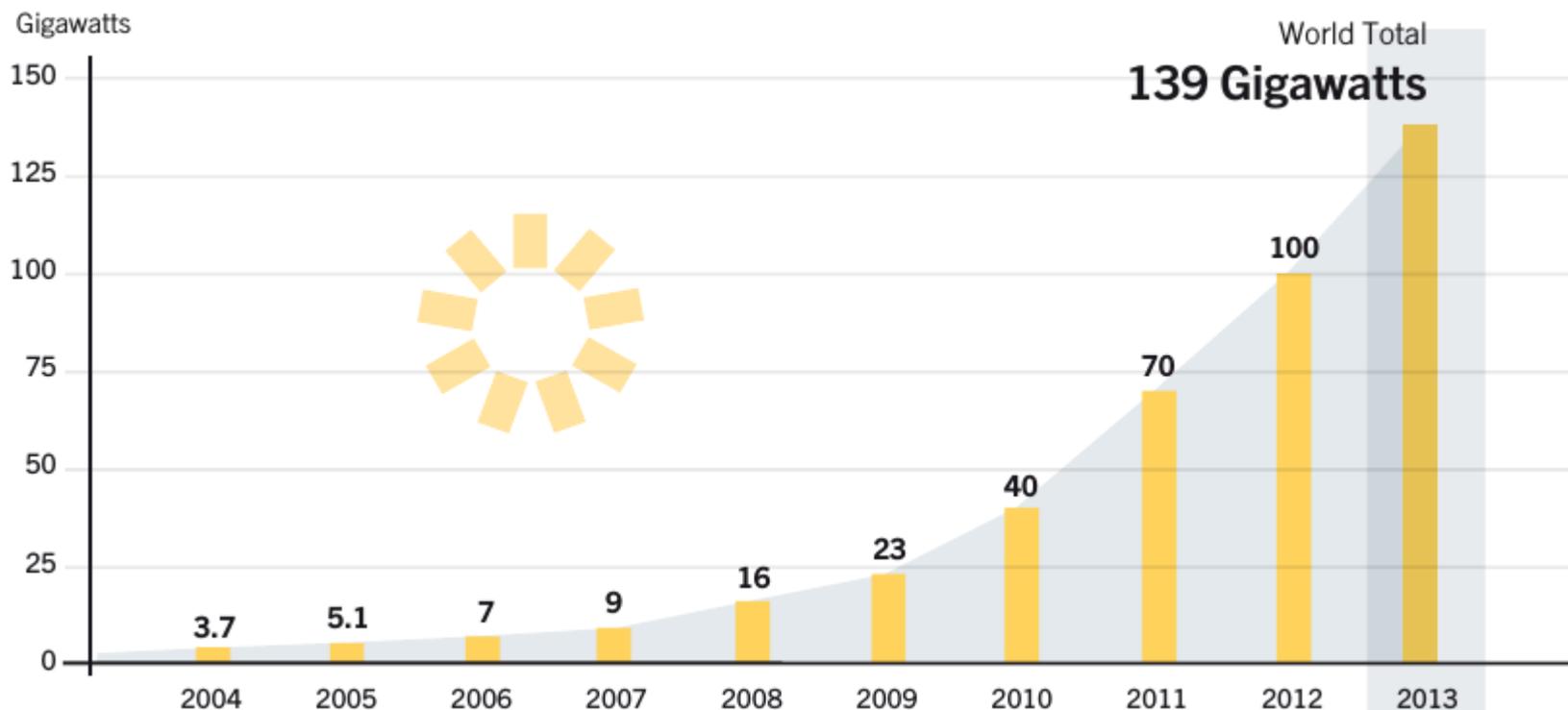
Historicamente

- Grécia: aproveitamento da energia solar em construções para aquecimento ou refrigeração
- Roma: utilização de janelas de vidro (estufa) -> aquecimento das casas
- Estufa botânica



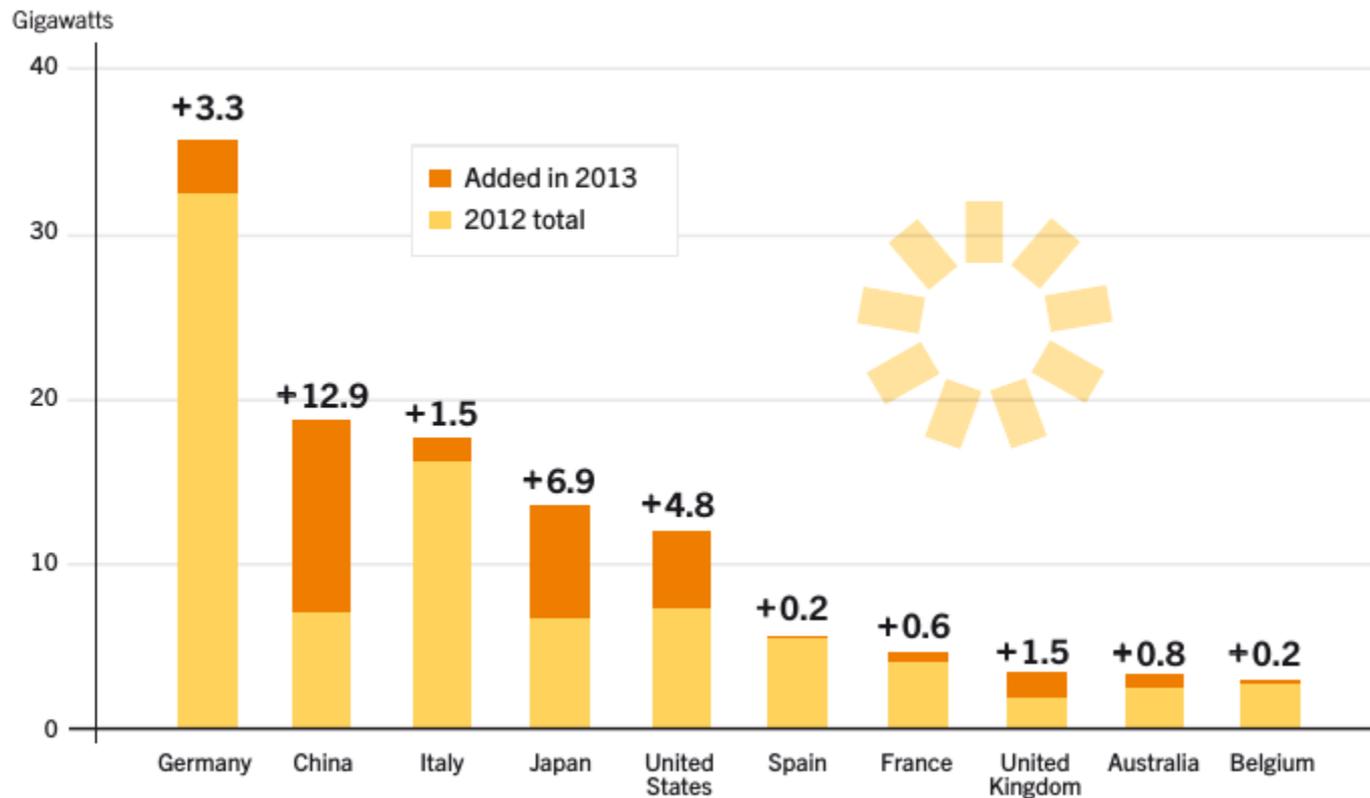
- Secagem
- Cozimento de alimentos

Solar fotovoltaica: crescimento mundial



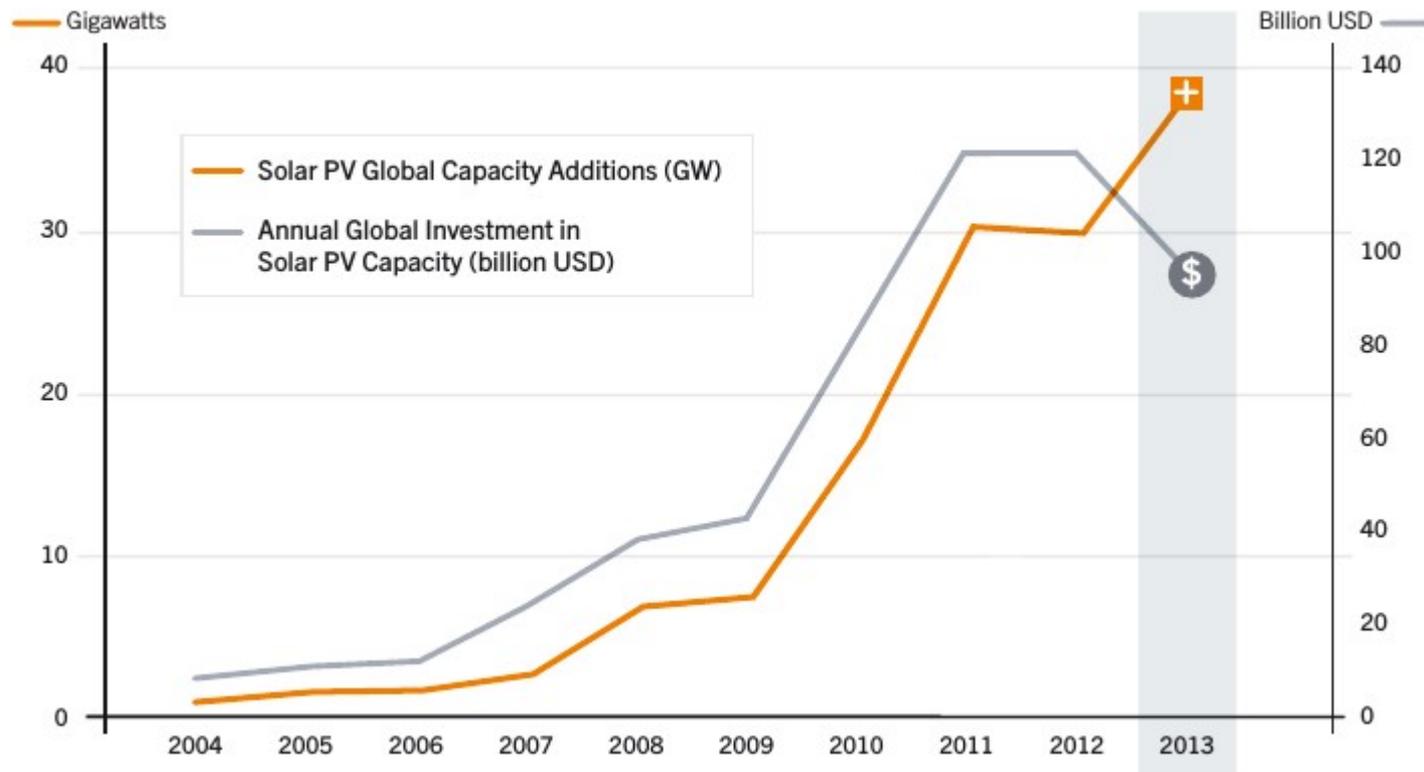
Como referência, Itaipu possui capacidade de ~ 15GW

Capacidade instalada fotovoltaica: top países



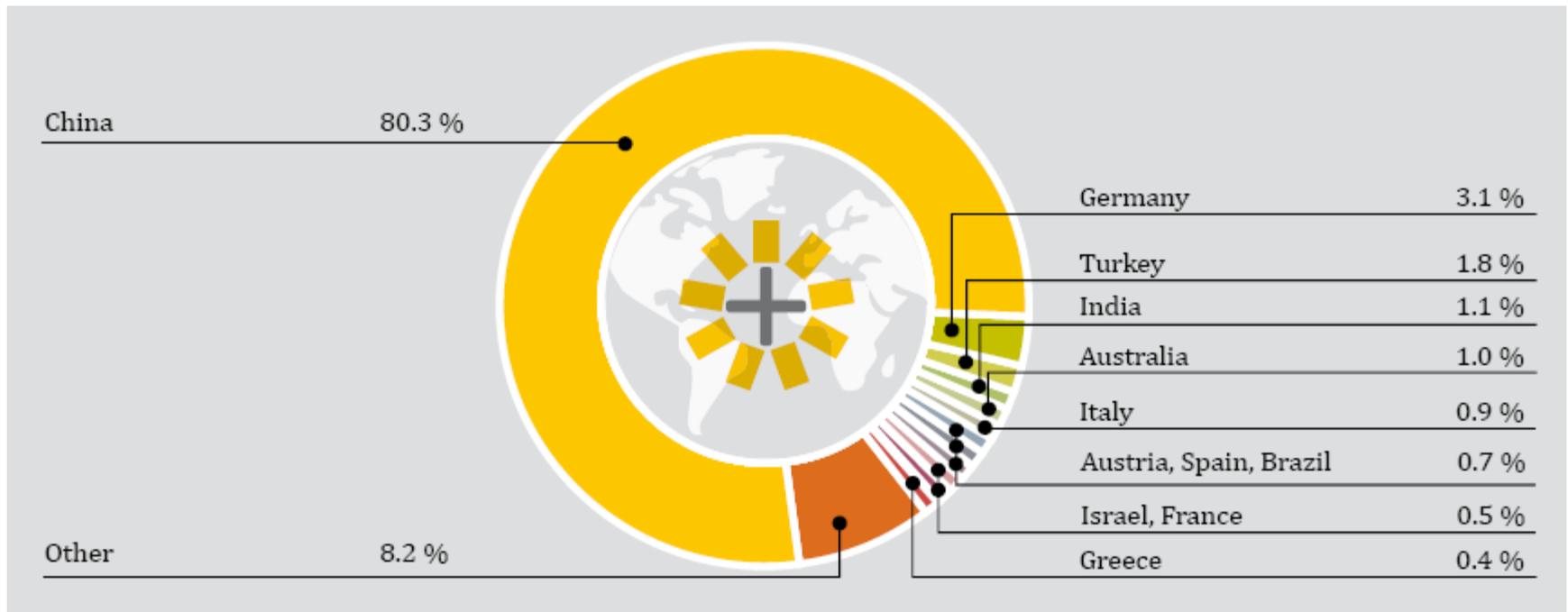
Fonte: EPIA, BMU, CREIA, 2014

Investimentos em fotovoltaica

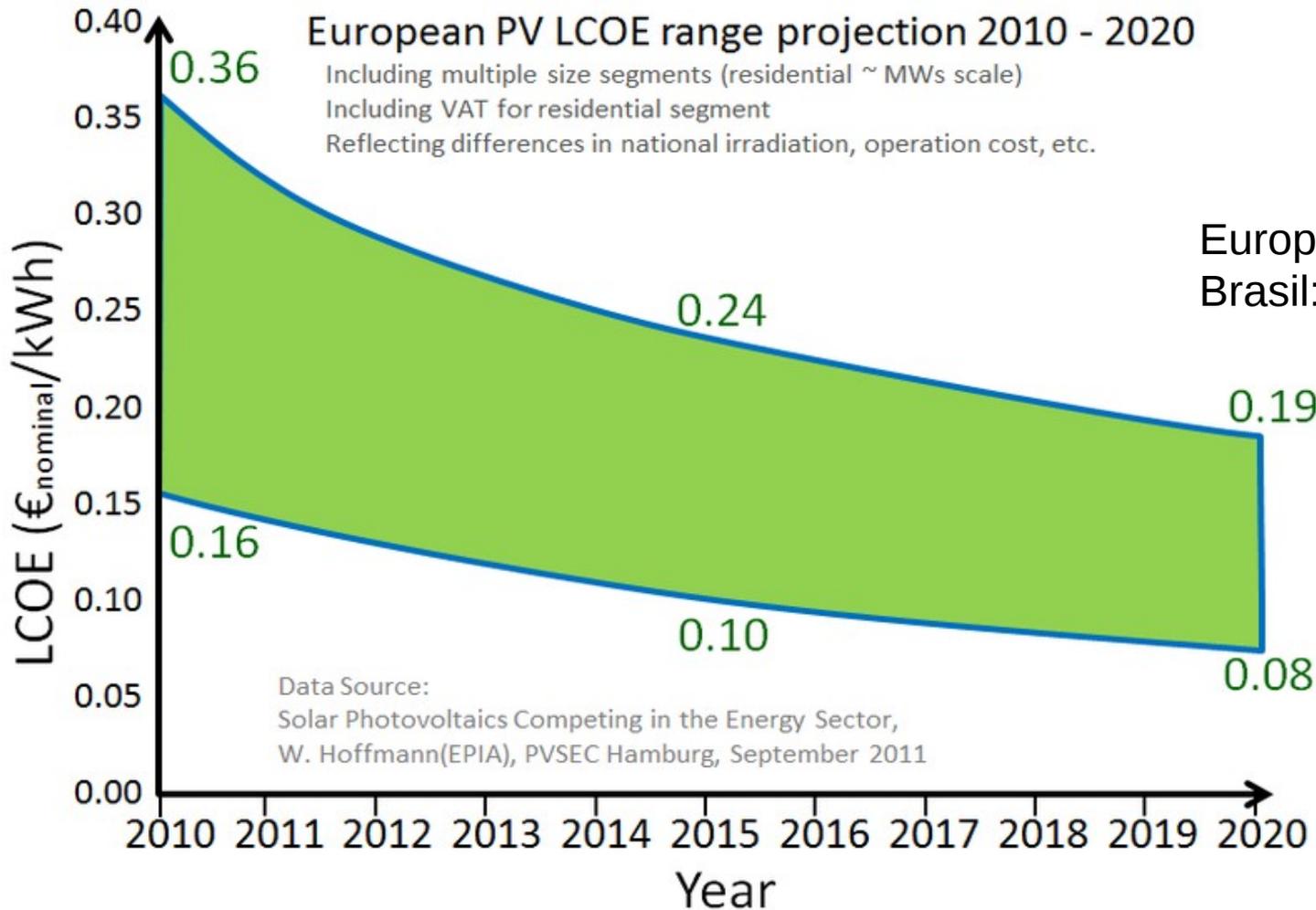


Fonte: REN21, 2014

Capacidade instalada aquecimento: top países



Custos da Solar fotovoltaica na Europa

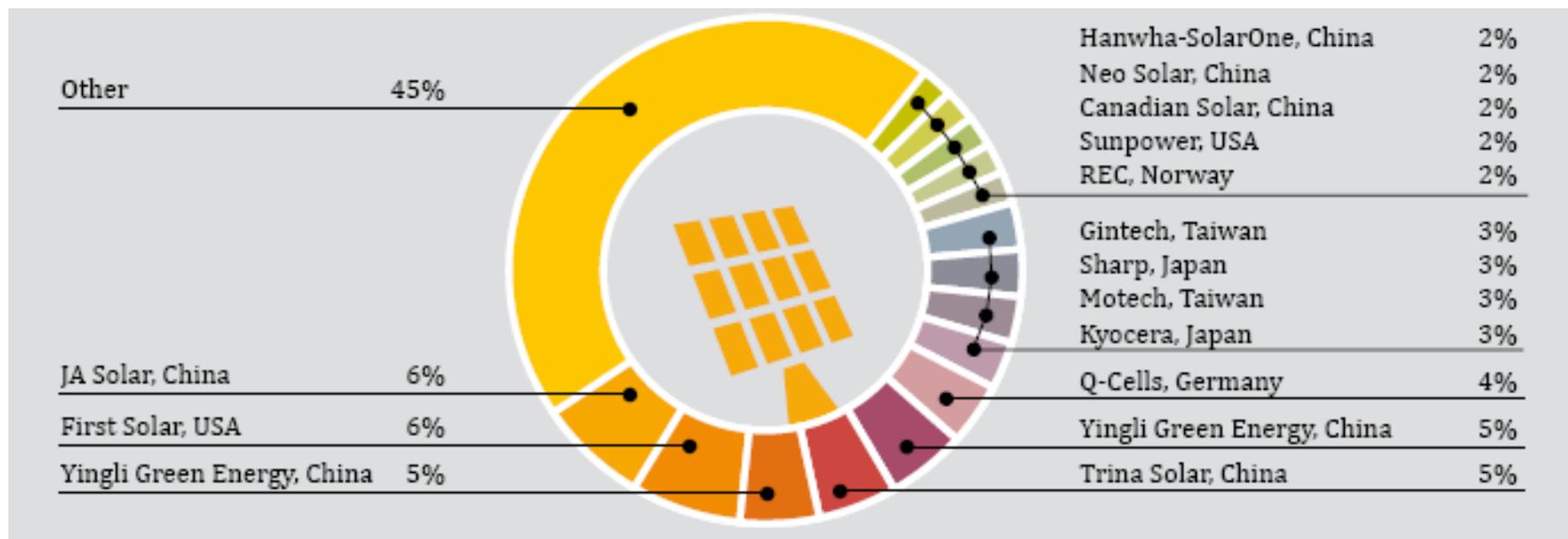


Europa: 2 dólares por watt
Brasil: 5 dólares/watt

TECHNOLOGY	TYPICAL CHARACTERISTICS	CAPITAL COSTS USD / kW	TYPICAL ENERGY COSTS LCOE – U.S. cents / kWh
Solar PV: Rooftop	Peak capacity: 3–5 kW (residential); 100 kW (commercial); 500 kW (industrial) Capacity factor: 10–25% (fixed tilt)	Residential costs: 2,200 (Germany); 3,500–7,000 (United States); 4,260 (Japan); 2,150 (China); 3,380 (Australia); 2,400–3,000 (Italy) Commercial costs: 3,800 (United States); 2,900–3,800 (Japan)	21–44 (OECD) 28–55 (non-OECD) 16–38 (Europe)
Solar PV: Ground-mounted utility-scale	Peak capacity: 2.5–250 MW Capacity factor: 10–25% (fixed tilt) Conversion efficiency: 10–30% (high end is CPV)	1,200–1,950 (typical global); as much as 3,800 including Japan. Averages: 2,000 (United States); 1,710 (China); 1,450 (Germany); 1,510 (India)	12–38 (OECD) 9–40 (non-OECD) 14–34 (Europe)
Concentrating solar thermal power (CSP)	Types: parabolic trough, tower, dish Plant size: 50–250 MW (trough); 20–250 MW (tower); 10–100 MW (Fresnel) Capacity factor: 20–40% (no storage); 35–75% (with storage)	Trough, no storage: 4,000–7,300 (OECD); 3,100–4,050 (non-OECD) Trough, 6 hours storage: 7,100–9,800 Tower: 5,600 (United States, without storage) 9,000 (United States, with storage)	Trough and Fresnel: 19–38 (no storage); 17–37 (6 hours storage) Tower: 12.5–16.4 (United States; high end of range is with storage)

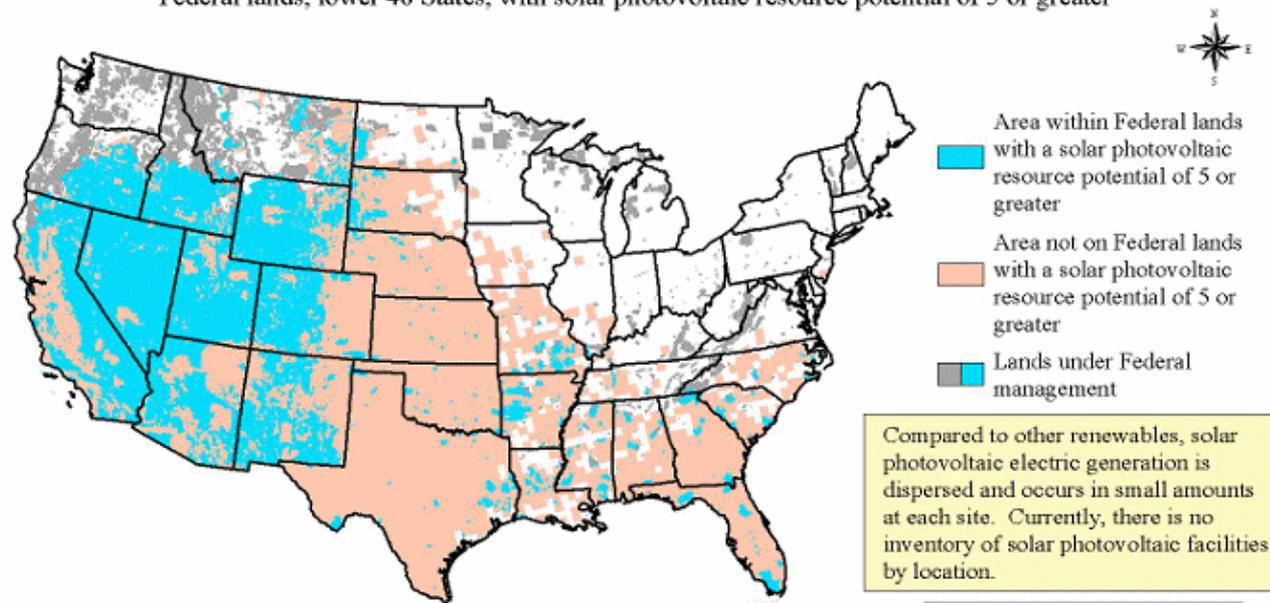
Solar: indústria

Fonte:
PV news



Solar: área aproveitada nos

Federal lands, lower 48 States, with solar photovoltaic resource potential of 5 or greater



- Area within Federal lands with a solar photovoltaic resource potential of 5 or greater
- Area not on Federal lands with a solar photovoltaic resource potential of 5 or greater
- Lands under Federal management

Compared to other renewables, solar photovoltaic electric generation is dispersed and occurs in small amounts at each site. Currently, there is no inventory of solar photovoltaic facilities by location.

Ratings are in units of kWh per meter squared per day. Areas with ratings of 5 or higher have high potential for energy generation using solar photovoltaic technology



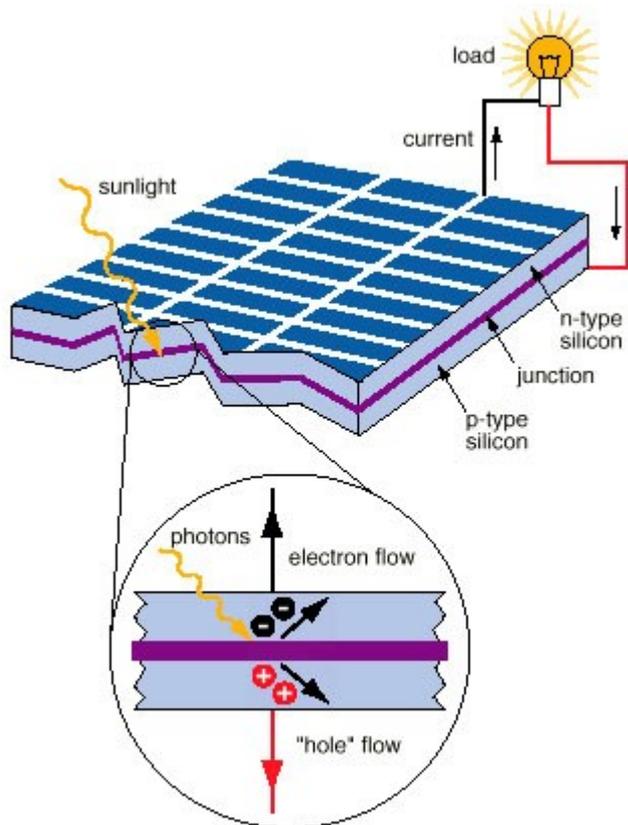
% of solar photovoltaic resource areas classified 5 or greater that are located on Federal lands ■ 27%

% of Federal lands with solar photovoltaic resource potential of 5 or greater ■ 7.4%

Source of solar photovoltaic resource potential measures:
U.S. DOE
National Renewable Energy Laboratory

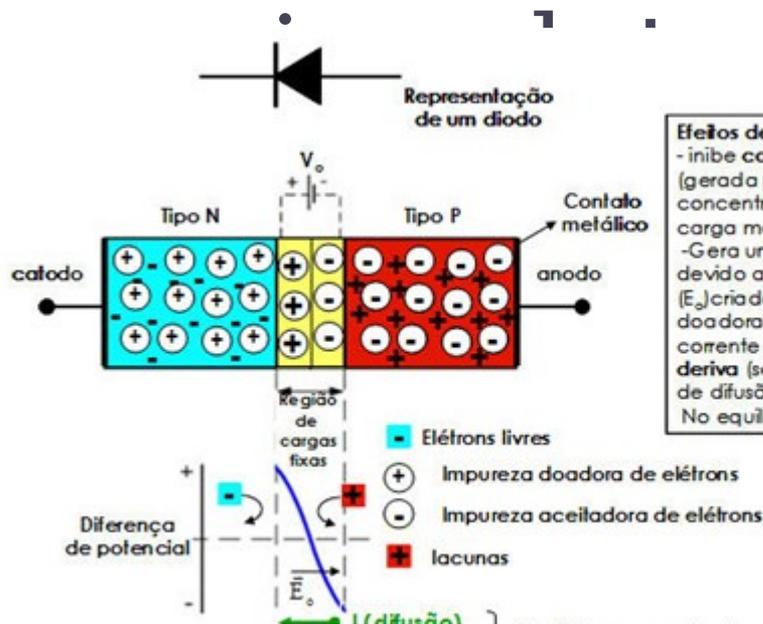
Fonte: USA National Renewable energy laboratory

Usos da energia solar: células fotovoltaicas



- 1) Efeito fotoelétrico (A. Einstein, 1905)
- 2) Teoria de junções PN (semicondutores)
- 3) Eficiências típicas na transformação de energia solar em elétrica: 20%, com tecnologias que chegam até no máxima 42%

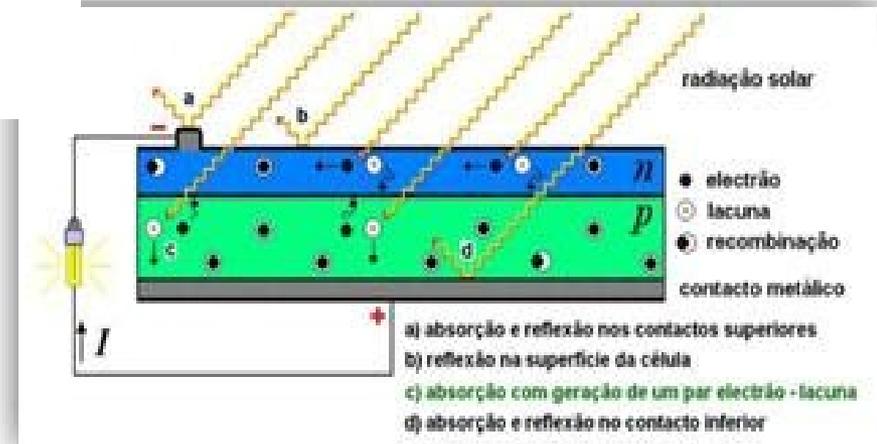
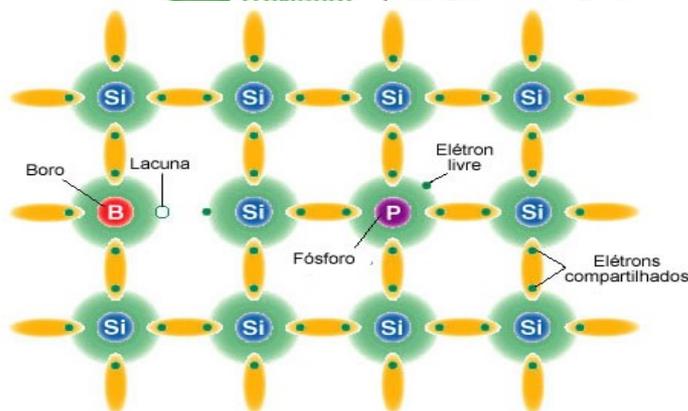
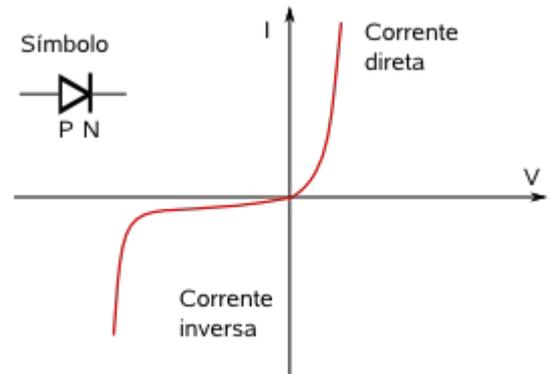
Junções do tipo PN →



Efeitos de V_0

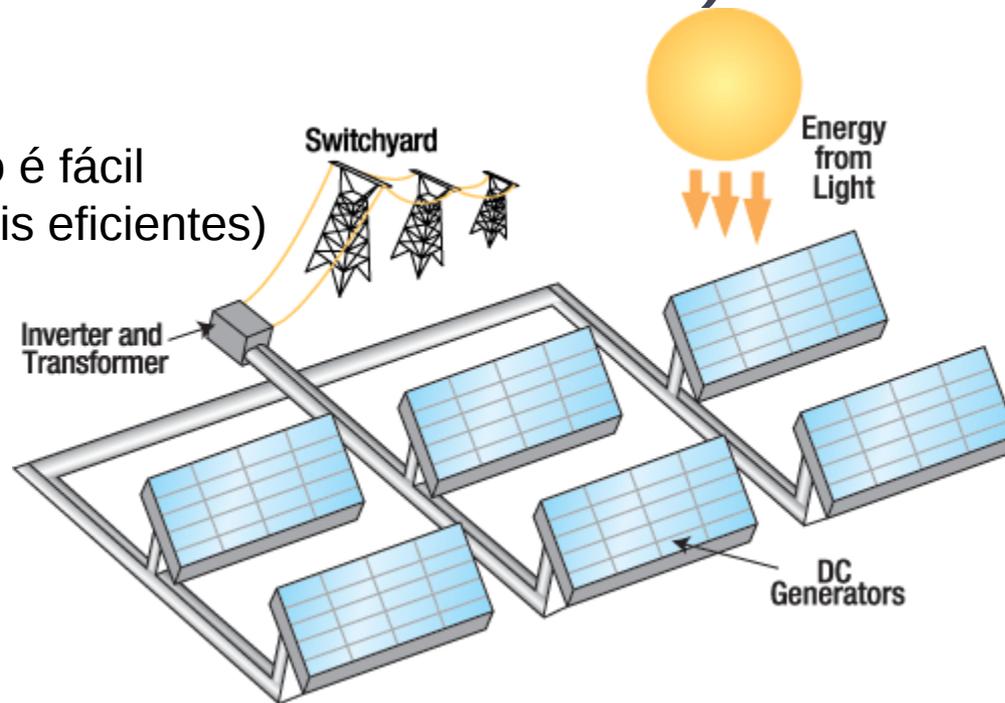
- inibe corrente de difusão (gerada pela diferença de concentração de portadores de carga majoritários)
- Gera uma corrente na junção devido ao campo elétrico (E_0) criado pelas cargas fixas doadoras e aceitadoras. Esta corrente é chamada **corrente de deriva** (sentido oposto a corrente de difusão)

No equilíbrio: $I_{deriva} = I_{difusão}$



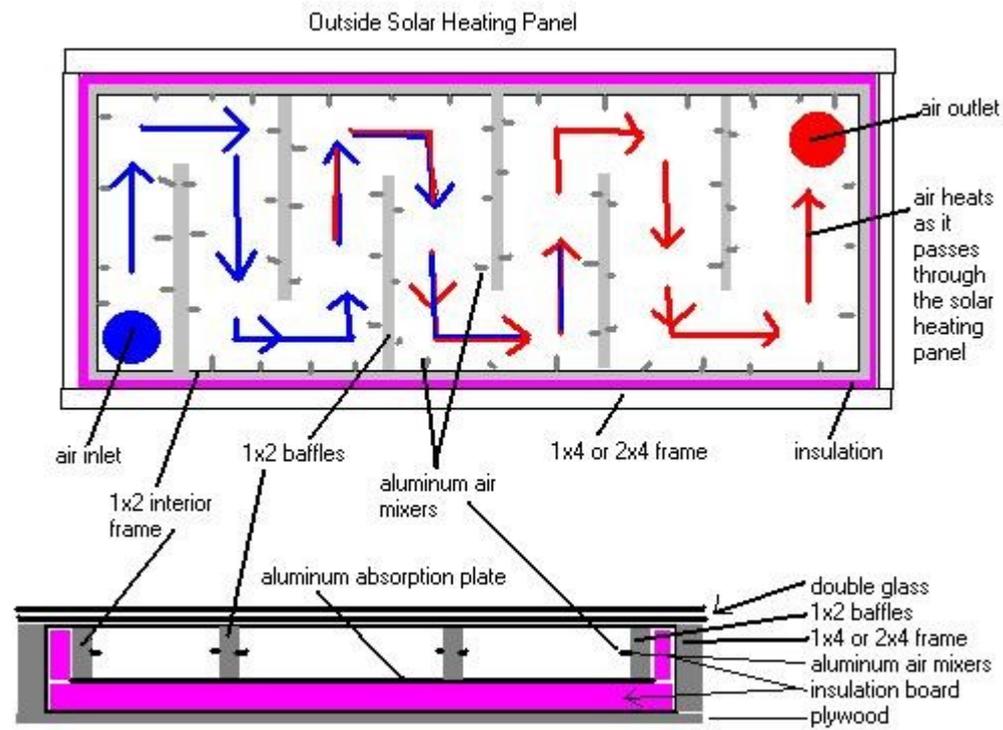
Geração de eletricidade (painel fotovoltaico)

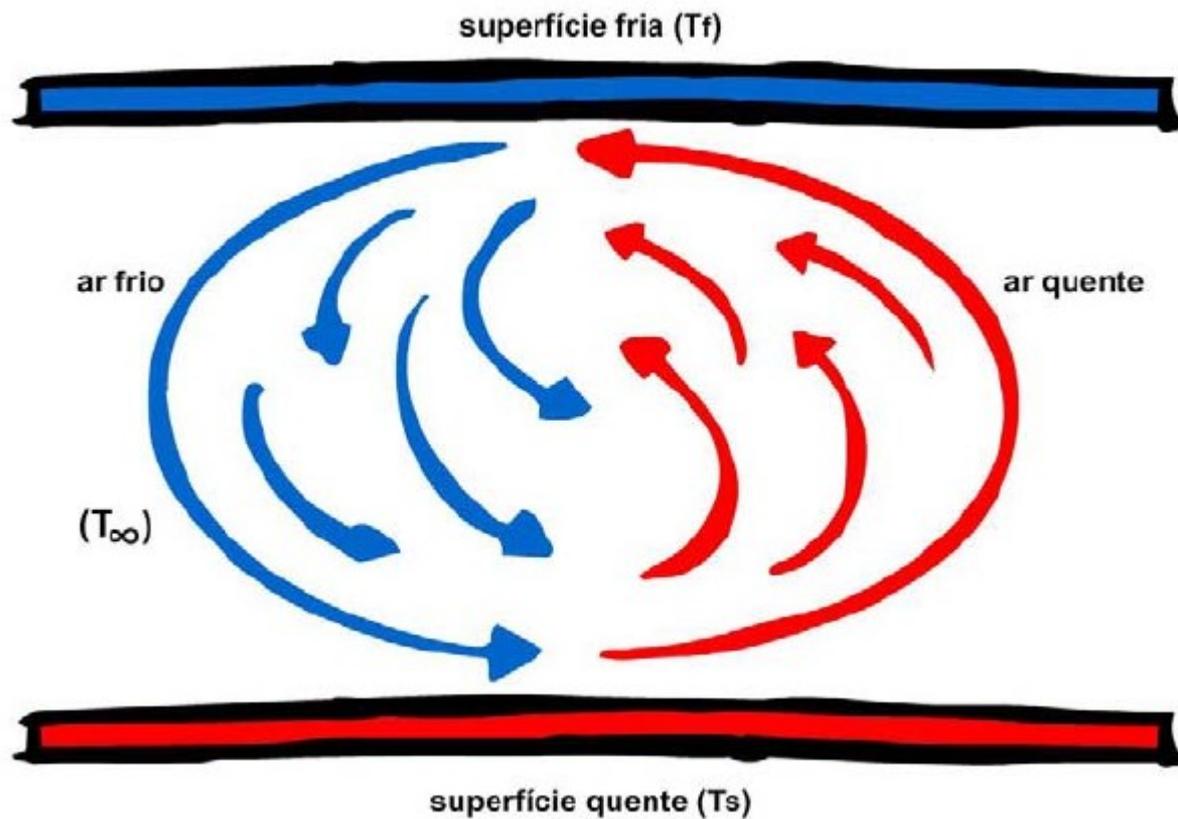
Desvantagem:
Alto custo (não é fácil
construir painéis eficientes)



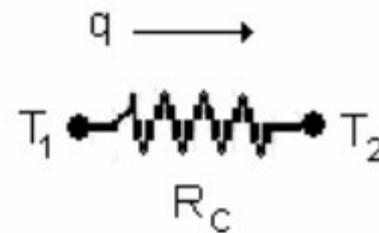
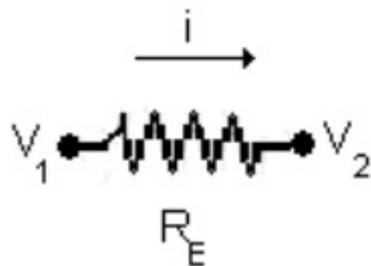
Usos da energia solar: aquecimento em pequena escala

Aquecedor a ar





Circuito Elétrico	Circuito Térmico
Corrente (i)	Taxa de Transferência de Calor (q)
Diferença de Potencial ($\Delta V = V_1 - V_2$)	Diferença de temperatura ($\Delta T = T_1 - T_2$)
Resistência Elétrica (R_E)	Resistência Térmica (R_T)



$$q = h_c A (T_s - T_\infty)$$

onde:

h_c : coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m².K]

A: área normal à direção da transferência de calor [m²]

T_s : temperatura da superfície [K];

T_∞ : temperatura do fluido [K].

$$i = \frac{V_1 - V_2}{R_E}$$

Caso elétrico

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_c}$$

Caso térmico similar



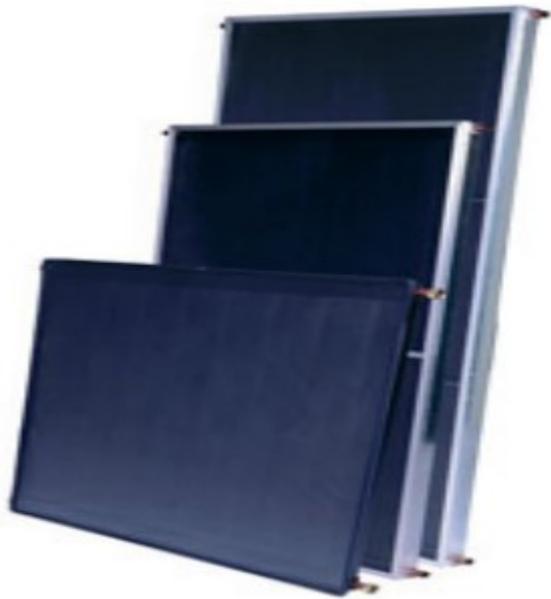
$$R_c = \frac{1}{h_c A}$$

Resistência à convecção

Tipos de coletores



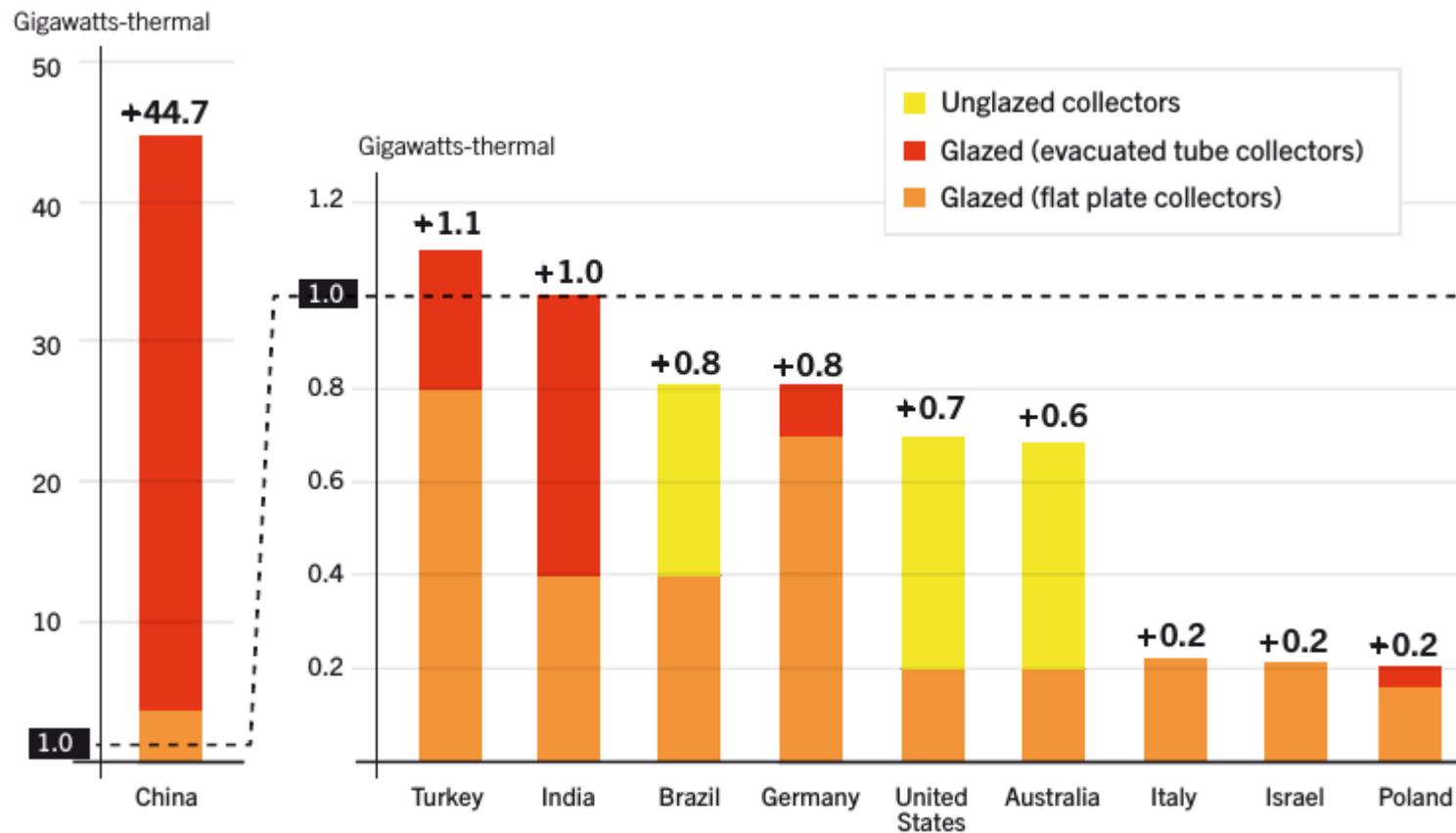
Coletor Aberto



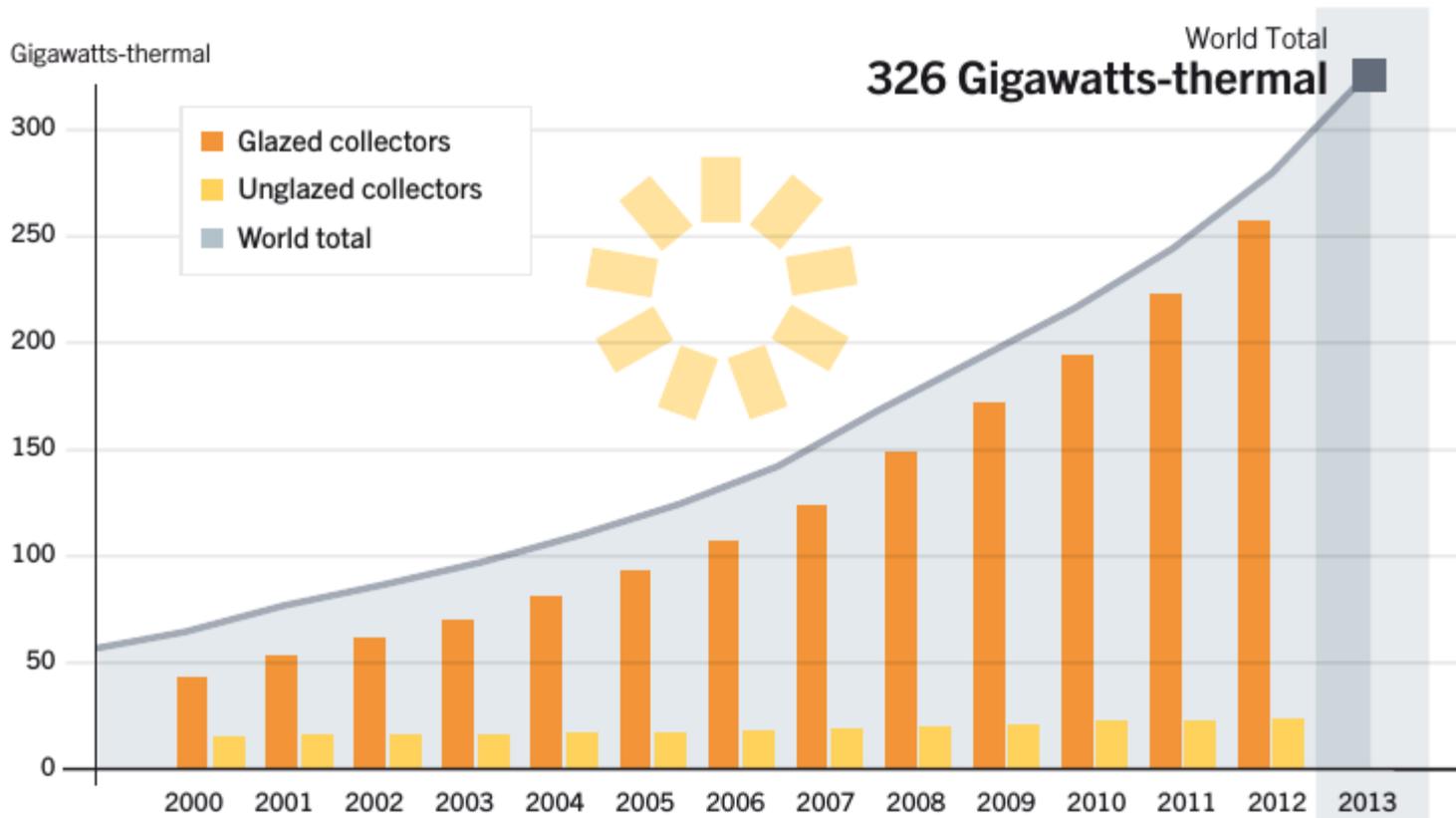
Coletores fechados



Coletores de tubos

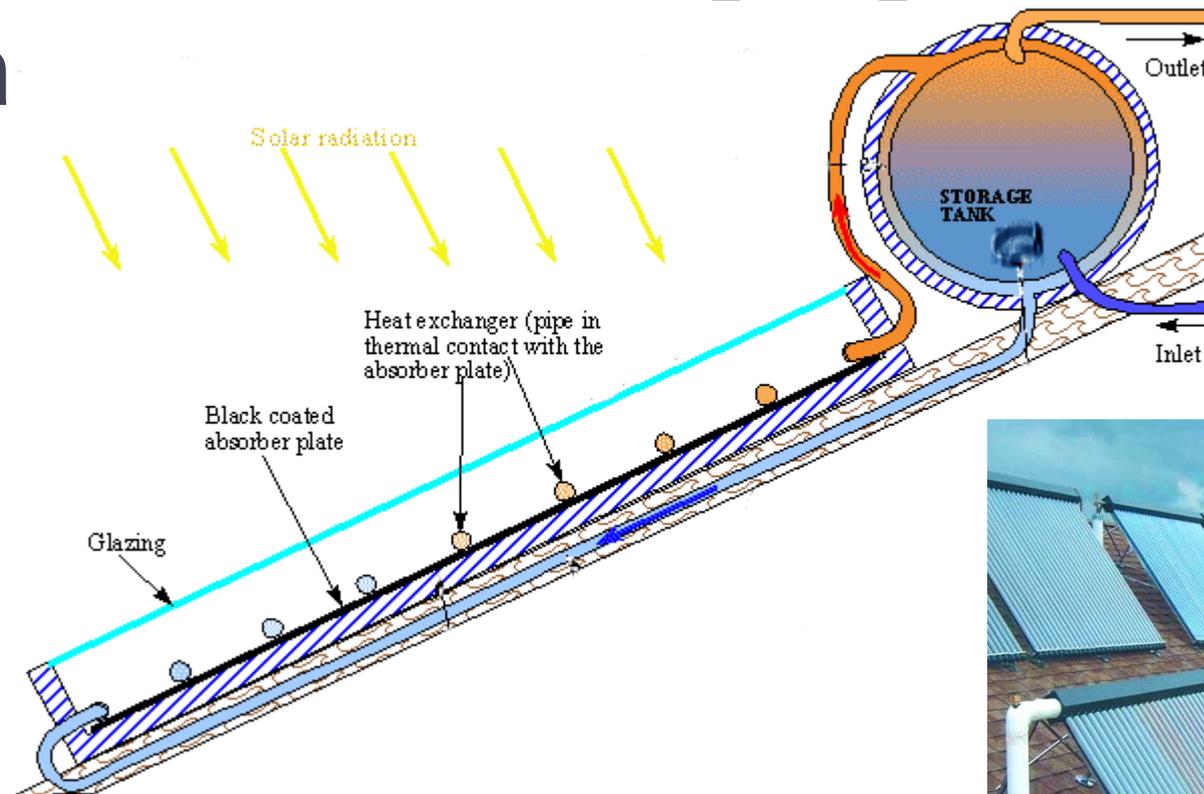


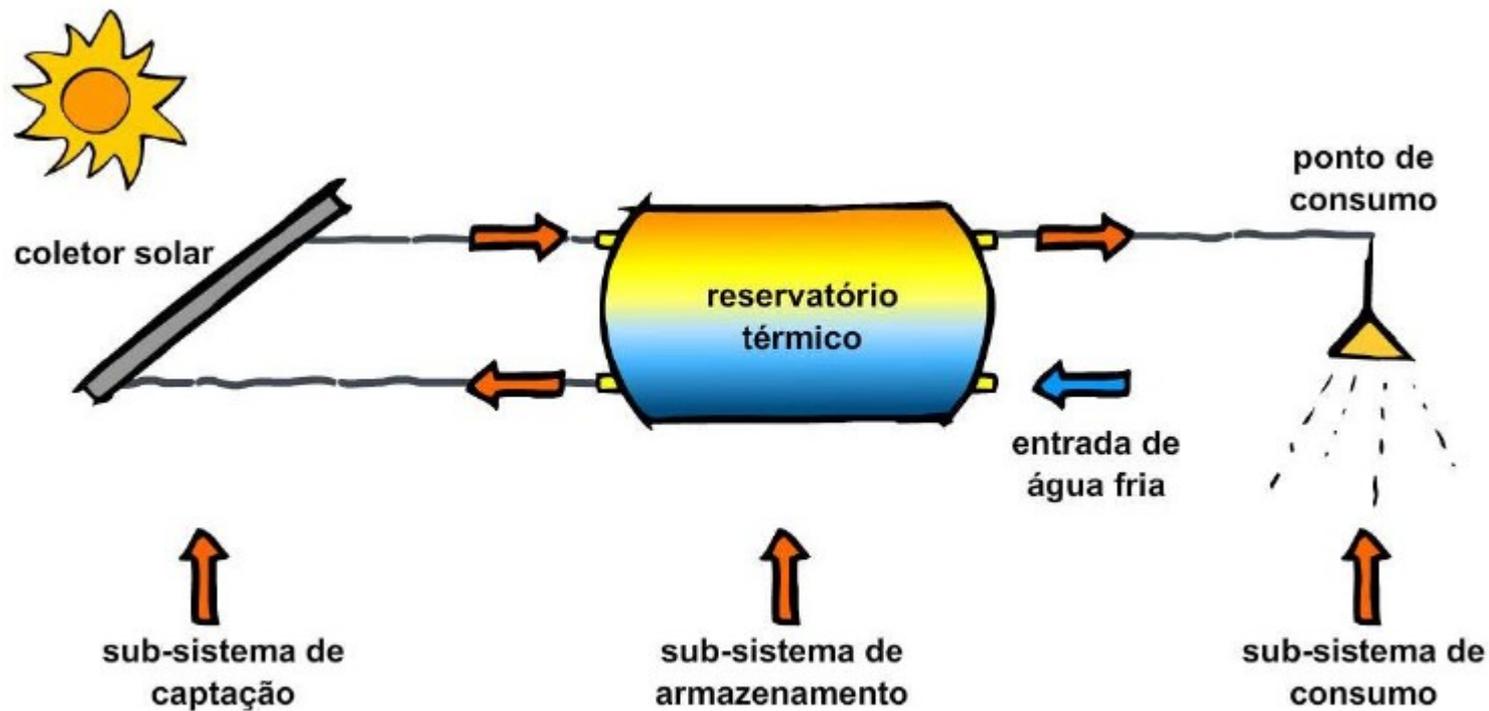
Fonte: PVnews, EPIA, REN21, 2014



Usos da energia solar: aquecimento em pequena esca

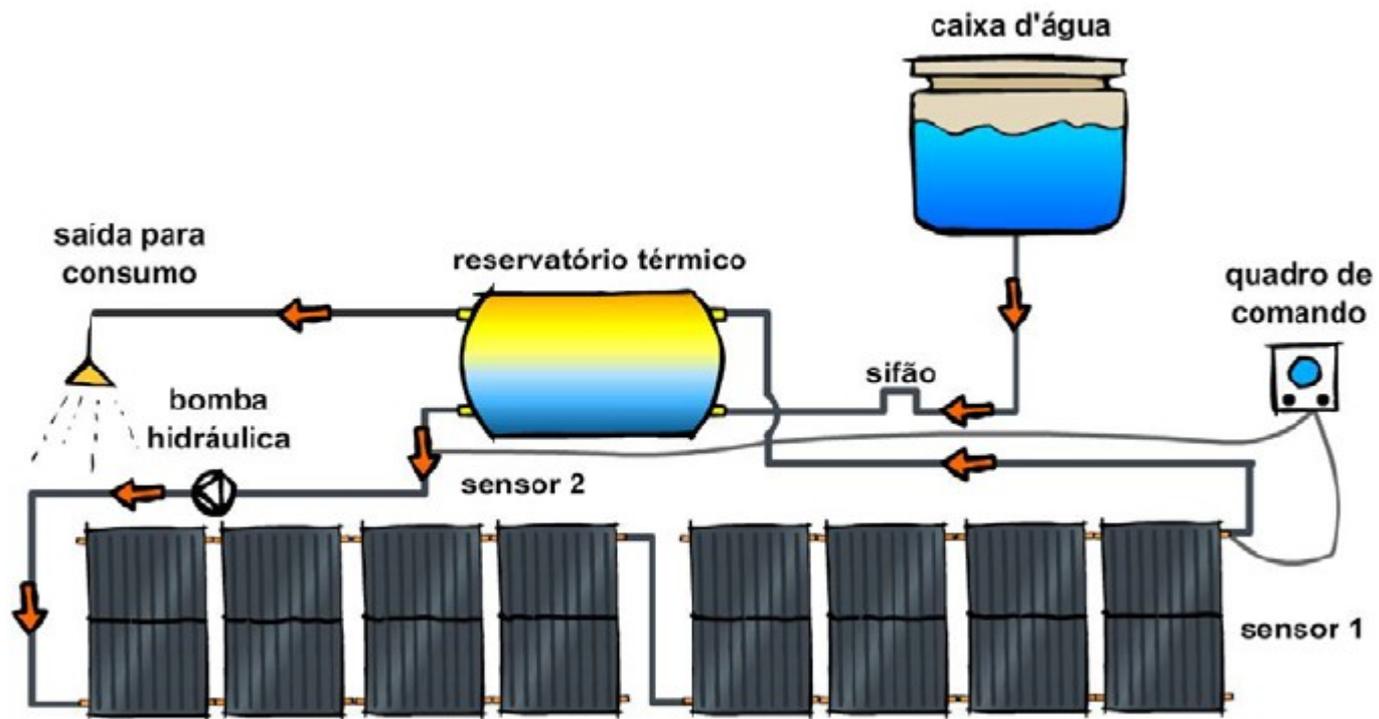
A água





Esquema geral residencial

Ademe (2000)

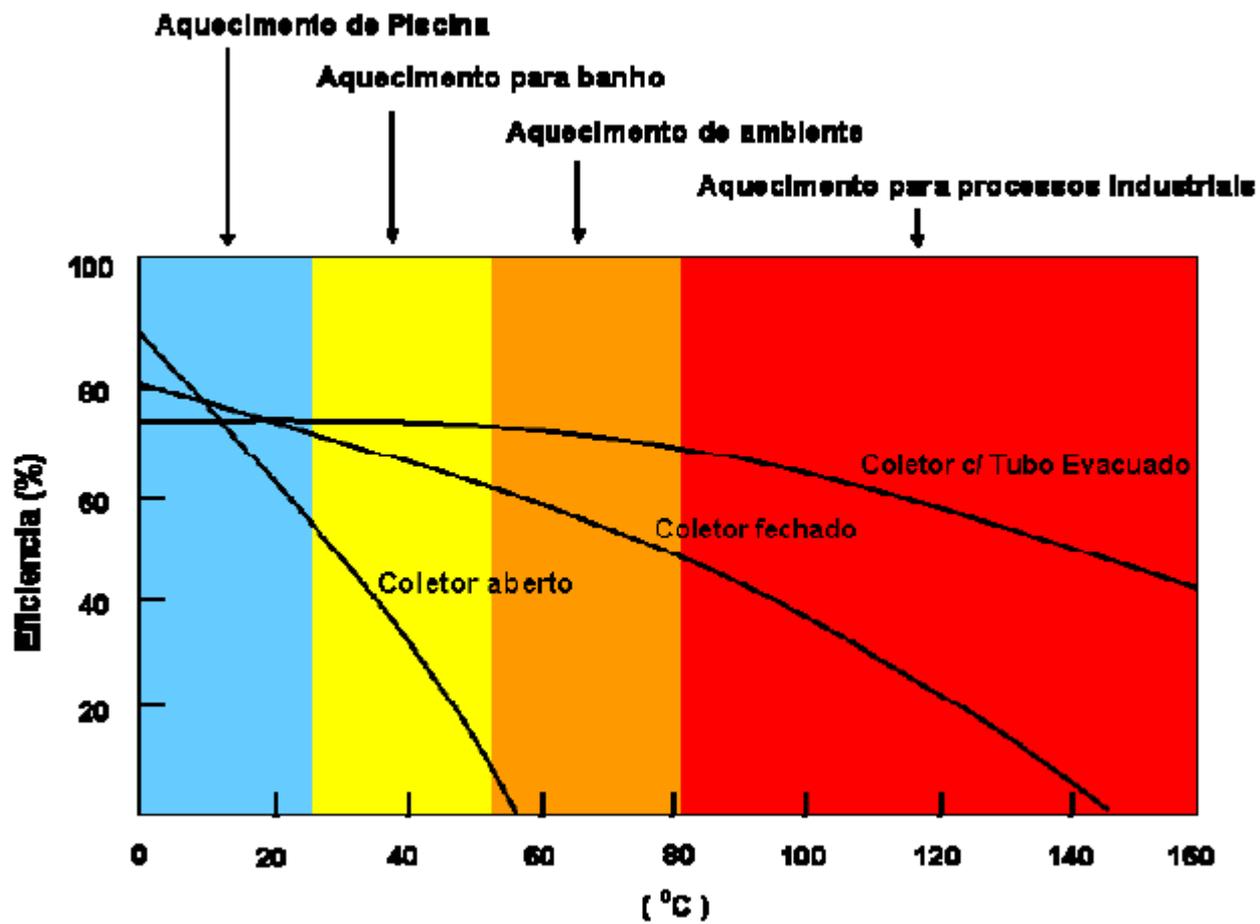


Esquema residencial → circulação forçada

Ademe (2000)

Uso do Chuveiro Elétrico no Setor Residencial	2005
Consumo de eletricidade no setor residencial (GWh)	82.255
Penetracao do chuveiro elétrico no Brasil(%)	51%
Número de chuveiros elétricos	26.620.119
Demanda máxima de potência na ponta pelo chuveiro elétrico (MW)	10.382
Consumo de energia elétrica por domicilio por ano para aquecimento de água(kWh/ano)	830
Participacao do aquecimento de água no consumo de energia no setor residencial(%)	26,8%

Obs: Uso do chuveiro elétrico no Brasil

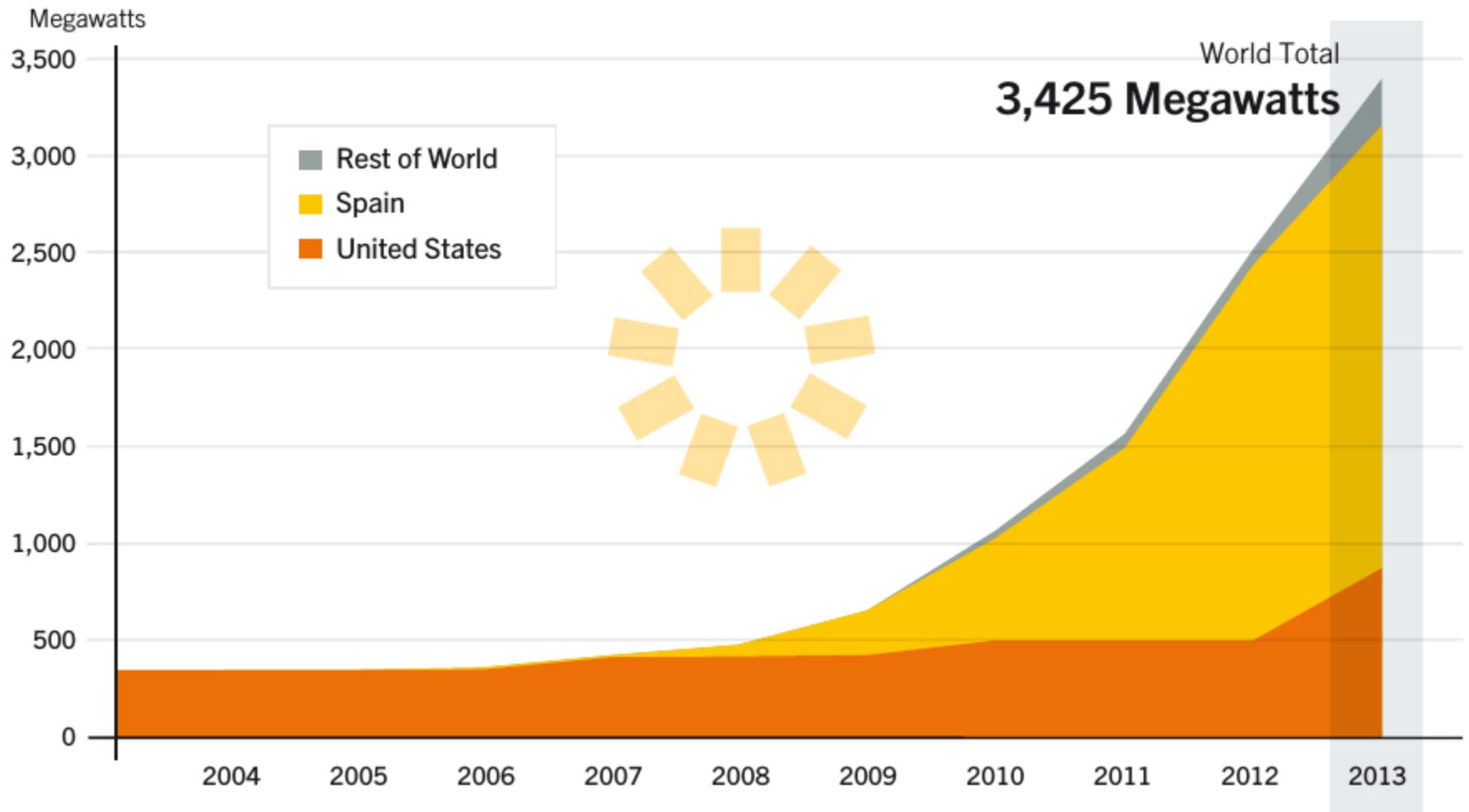


Usos da energia solar: estações de energia solar



➔ Espanha

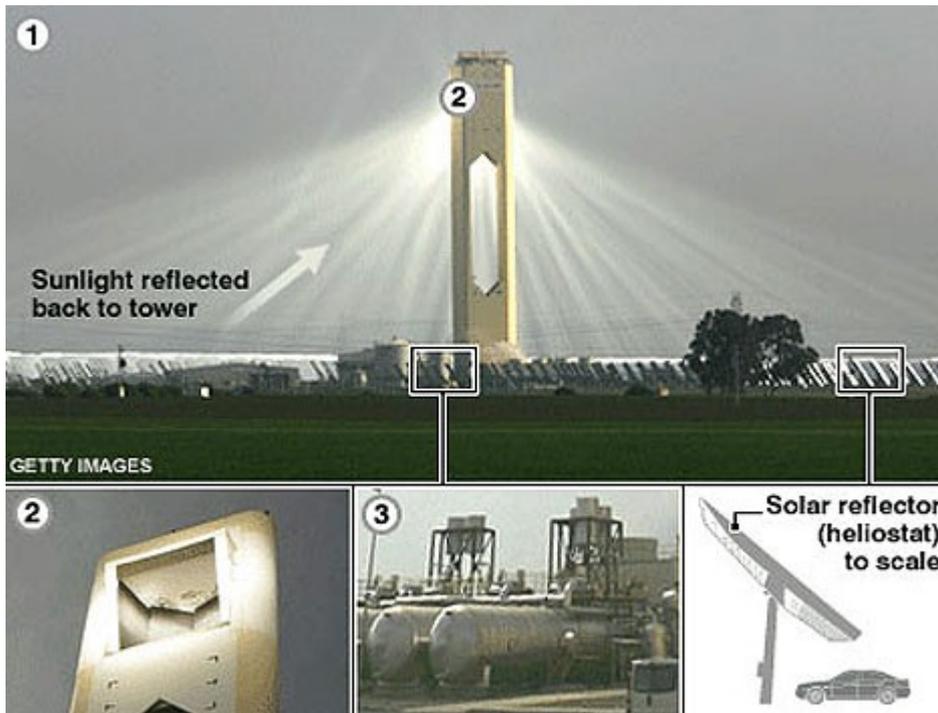
➔ EUA



Fonte: PVnews, EPIA, REN21, 2014

Estação térmica concentrada

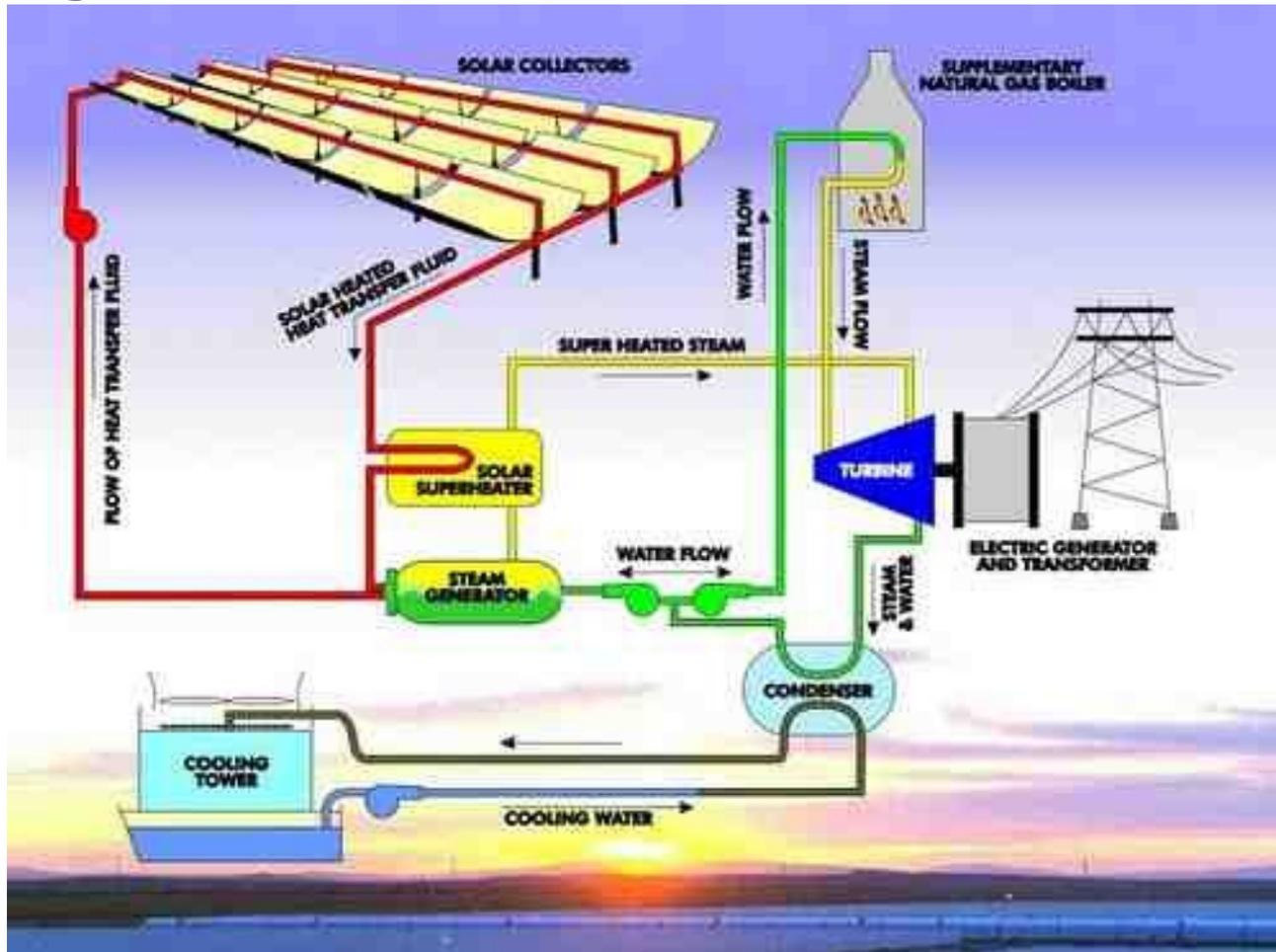
Tipo 1



Tipo 2



Estação térmica concentrada



No Brasil

- Regulamentação recente (ANEEL 2004)
 - <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004083.pdf>
- Projetos em larga escala -> PUC-RS
 - Instalação de 2kW -> 10 mil dólares
- Instalação caseira:
 - Primeiro passo -> autorização a ANEEL
 - Segundo passo -> ligação à rede elétrica da Copel

Energia Eólica

Energia eólica

- Aproveitamento de energia dos ventos

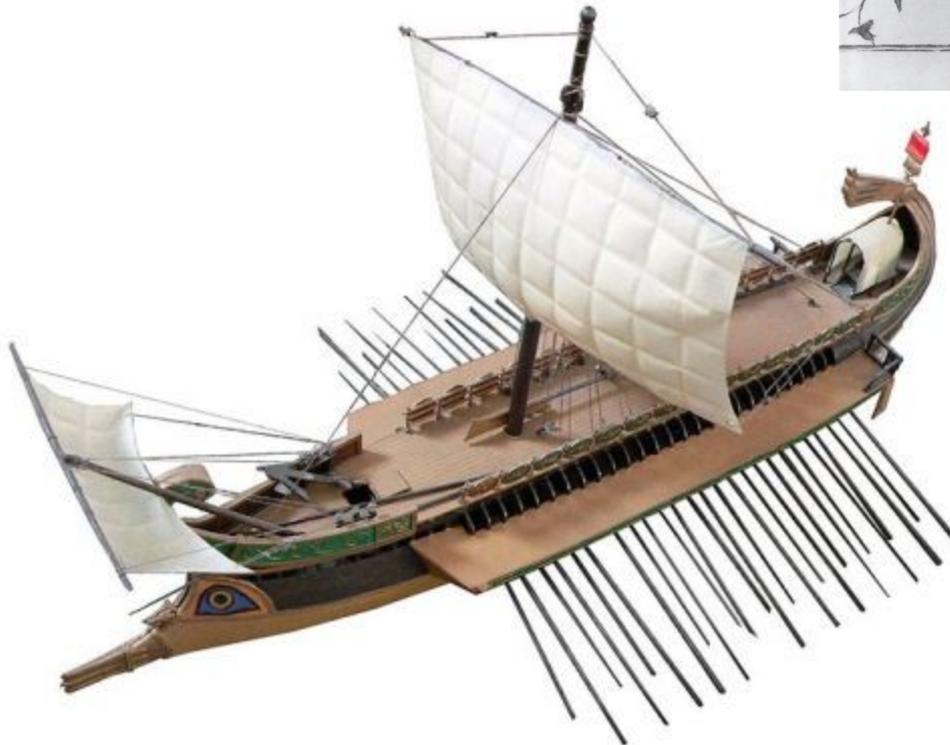


Aproveitamento da energia eólica

- Historicamente:



Século VII d.C.
Índia e Islã:
irrigação e
moinhos de grãos



Fundamentos físicos da energia eólica (próxima aula)

- Equação da continuidade
- Teorema de Euler
- Conservação de energia em fluidos (equação de Bernoulli)
- Potência máxima a ser obtida -> Teorema de Betz
- Sistemas de controle da turbina geradora

Origem física do vento

Diferença de pressões!

Atenção:

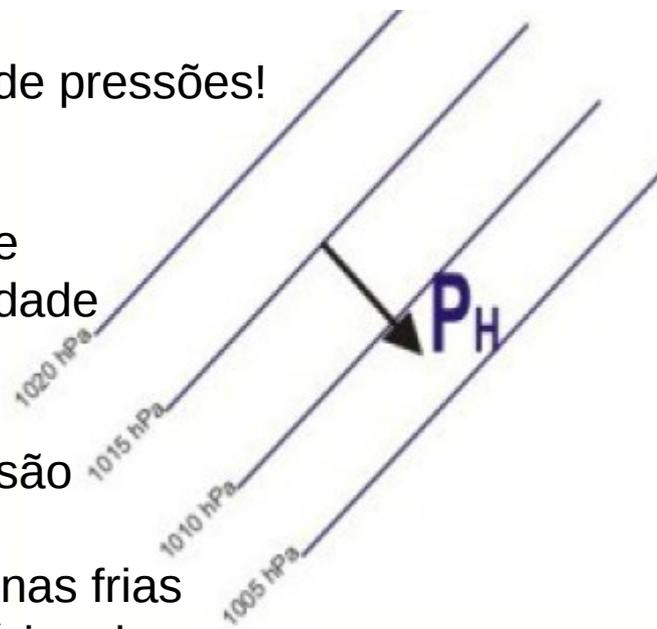
Ar frio => menor temperatura e maior densidade

Ar quente => maior temperatura e menor densidade

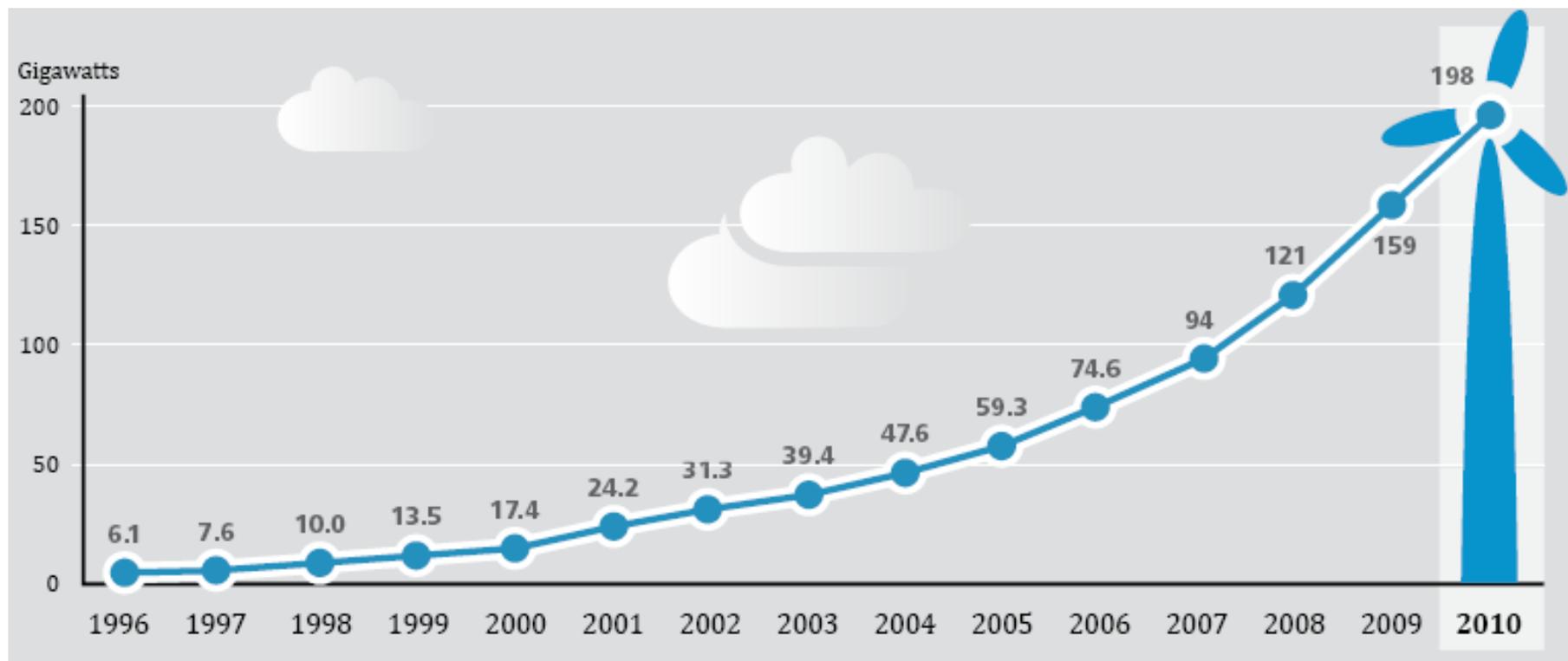
Logo: ar frio é mais denso => maior pressão

Logo: ar quente é menos denso => menor pressão

Assim os ventos são formados em geral nas zonas frias do globo. São desviados por correntes secundárias de ar mas principalmente devido à rotação da Terra (força de Coriolis: próxima aula)



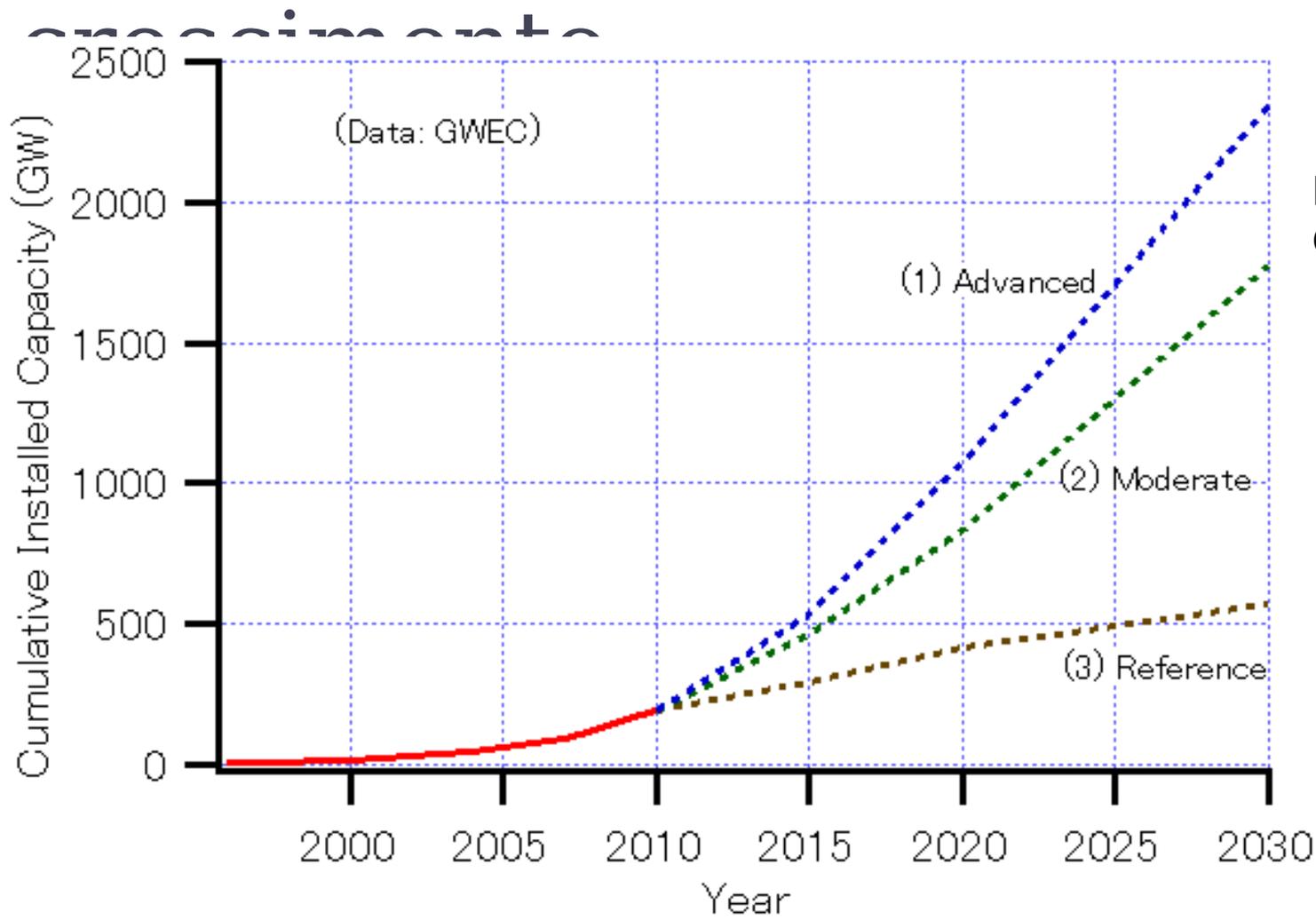
Eólica: crescimento mundial



Fonte: GWEC, WWEA, EWEA

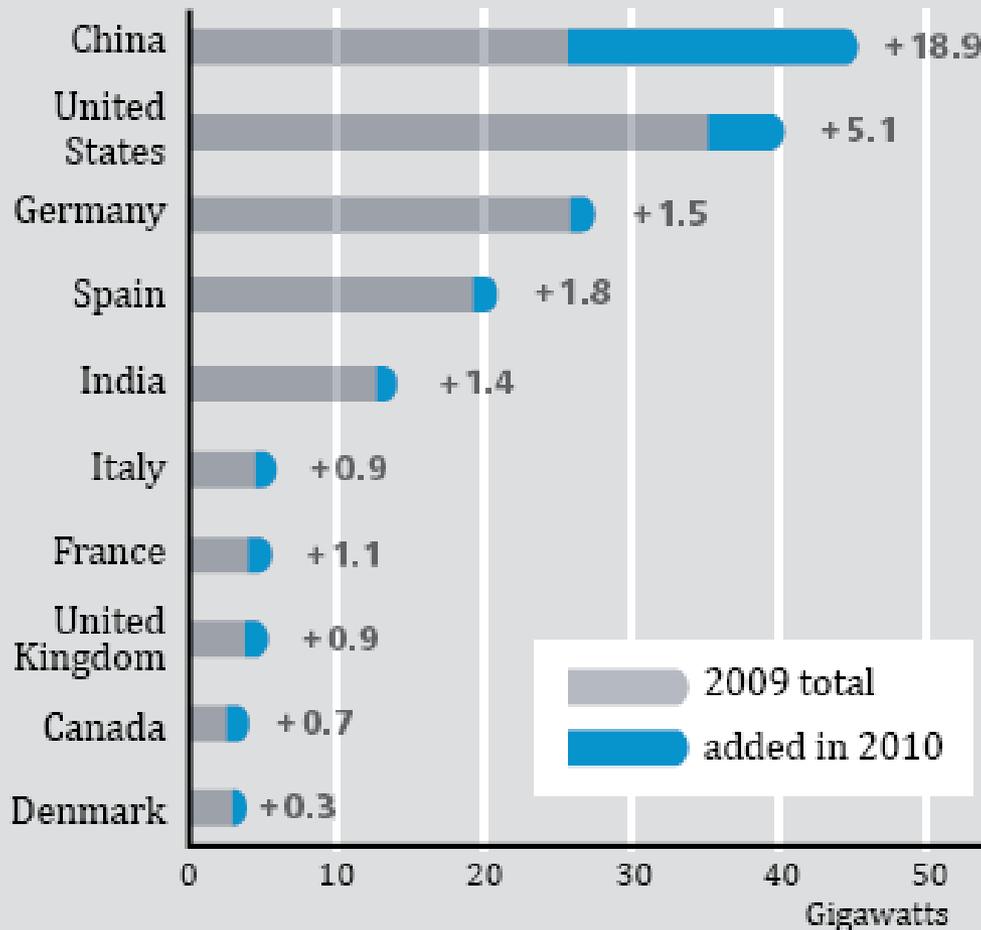
Como referência, Itaipu possui capacidade de ~ 20GW

Eólica: perspectiva de

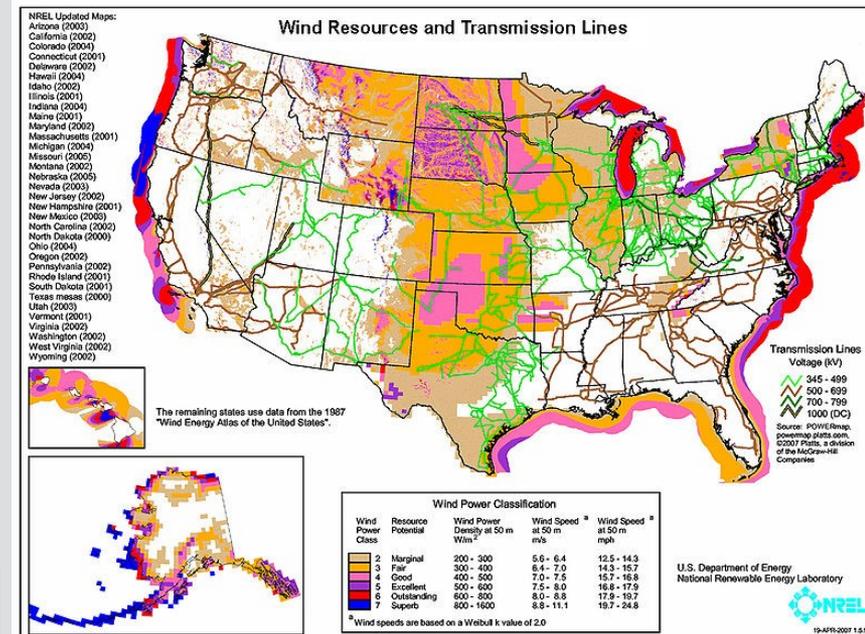


Fonte:
GWEC

Eólica: top 10 países em 2010

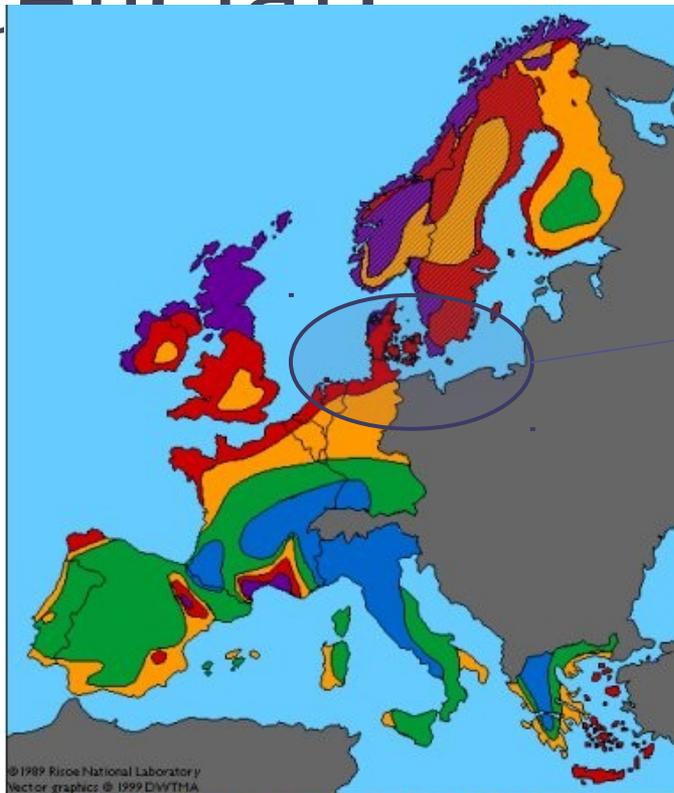


Aproveitamento nos EUA



Fonte: GWEC, WWEA, EWEA

Comparações: Europa (potencial)

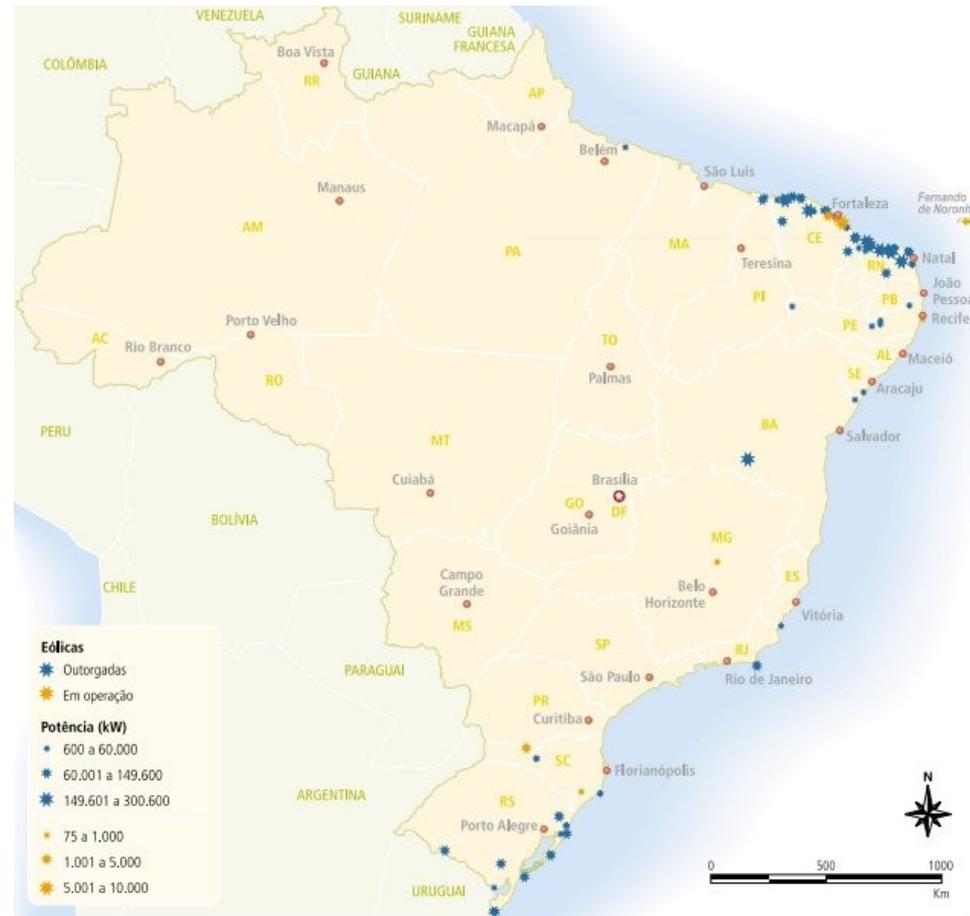
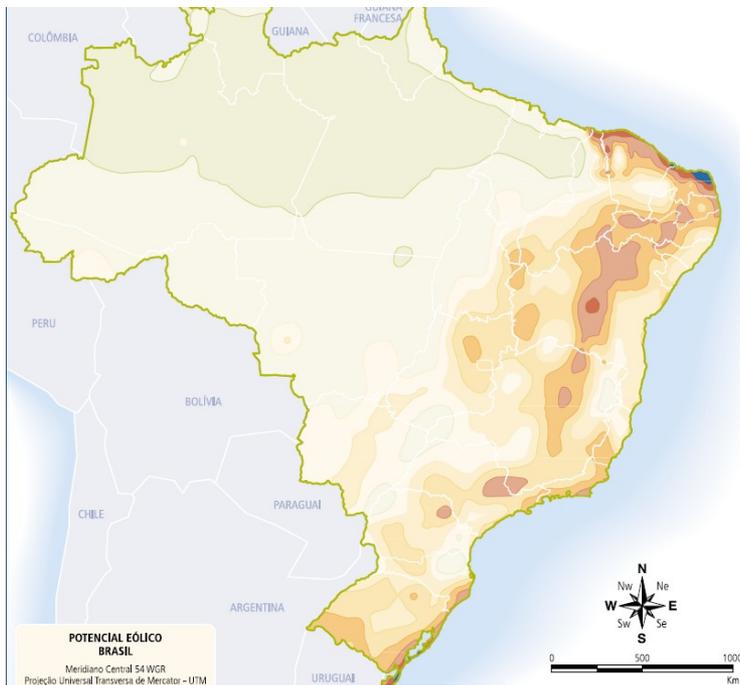


Wind Resources at 50 (45) m Above Ground Level

Colour	Sheltered terrain		Open plain		At a sea coast		Open sea		Hills and ridges	
	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
Dark Purple	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
Red	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Orange	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Green	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
Blue	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400
Purple			>7.5							
Red			5.5-7.5							
Orange			<5.5							

Região com maior
utilização de energia
eólica na Europa

No Brasil



Capacidade instalada no Brasil

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Eólica	75	Fernando de Noronha - PE	SP	Companhia Energética de Pernambuco
Eólica de Bom Jardim	600	Bom Jardim da Serra - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Eólica de Fernando de Noronha	225	Fernando de Noronha - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
Eólica de Prainha	10.000	Aquiraz - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica de Taíba	5.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica Olinda	225	Olinda - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	Gouveia - MG	SP	Companhia Energética de Minas Gerais
Eólico - Elétrica de Palmas	2.500	Palmas - PR	PIE	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.
Mucuripe	2.400	Fortaleza - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.

Fonte: ANEEL (2003)

Usinas Eólicas do Brasil - Valores em MW em 15/maio/2015				
Estado	Operando	Construção	A Iniciar	Até 2018
RN	2.030,54	734,80	1.990,70	4.756,04
CE	1.231,17	290,70	1.150,90	2.672,77
RS	1.174,38	405,00	523,70	2.103,08
BA	959,29	830,01	2.677,70	4.467,00
SC	242,50	0,00	3,00	245,50
PE	106,65	228,30	637,60	972,55
PI	88,00	510,00	811,80	1.409,80
PB	69,00	0,00	0,00	69,00
SE	34,50	0,00	0,00	34,50
RJ	28,05	0,00	0,00	28,05
PR	2,50	0,00	0,00	2,50
MA	0,03	0,00	432,50	432,53
Brasil	5.966,60	2.998,81	8.227,90	17.193,31
Usinas	266	114	330	710

Fonte: energiamapeada.com.br

Brasil terá 218 usinas eólicas financiadas pelo PAC até o ano de 2017

O Parque Eólico de Geribatu, inaugurado na última sexta-feira (27) em Santa Vitória do Palmar (RS), integra o maior complexo do setor na América Latina e também uma política de planejamento, expansão, diversificação e sustentabilidade energética do Brasil.

Por isso, os recursos do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) possibilitarão ao país ter 218 UEEs (Usinas de Energia Eólicas) até 2017, das quais 130 (60%) já estão concluídas.

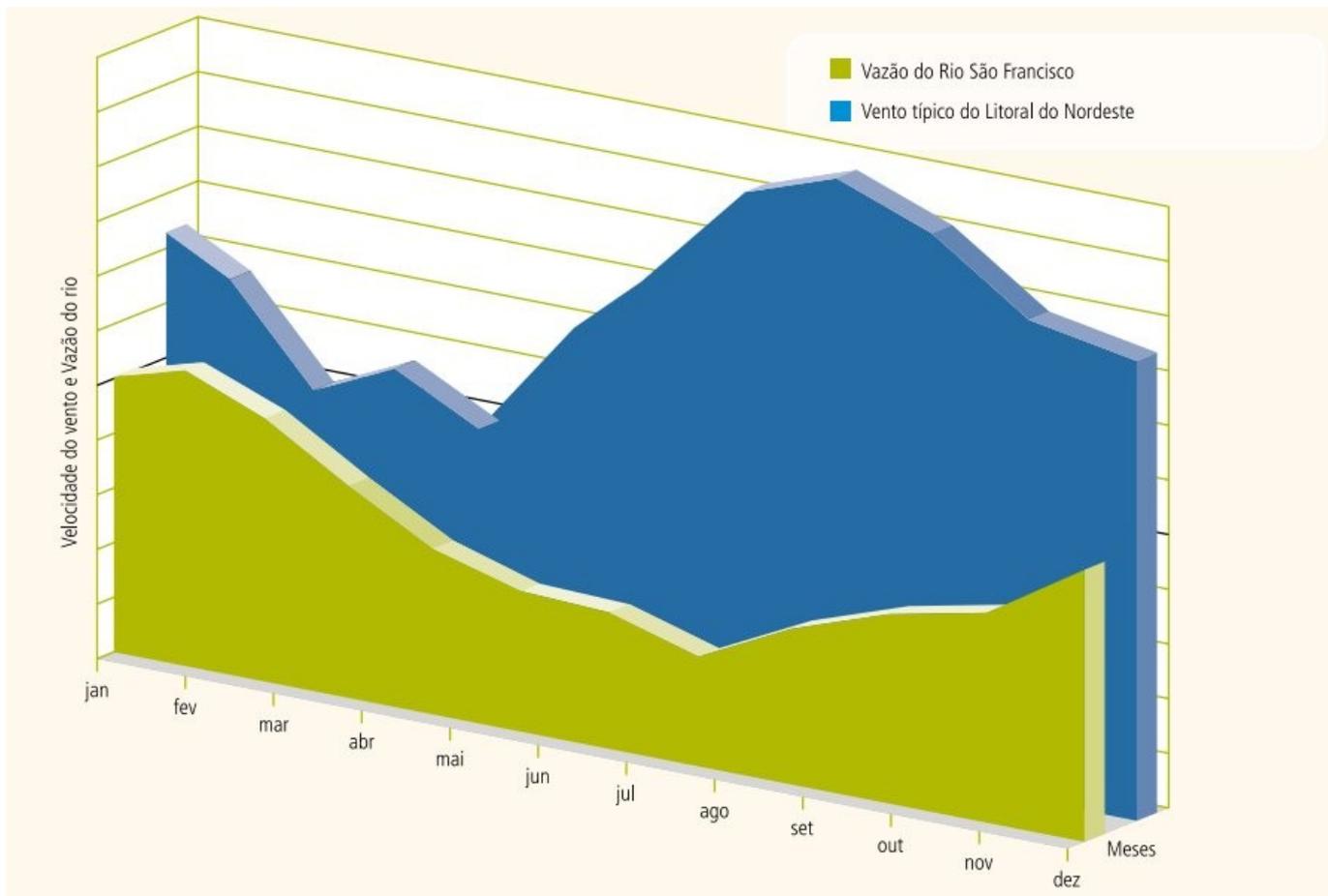
Confira abaixo o infográfico sobre esses investimentos que fazem do Brasil um dos países que mais investe em geração de energia eólica em todo o mundo.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), no final de 2012, este setor representava cerca de 2% de toda a capacidade instalada no Brasil. Até o fim de 2023, essa fatia deverá chegar a 11%. Em relação ao potencial de geração de energia eólica, o país ocupava a 15ª posição em 2013 e deverá, em 2015, chegar à 7ª posição do ranking mundial.

Fonte: Jornal da Nova

X

Complementaridade hidro-eólica no nordeste brasileiro



Obs.: No mapa de potencial eólico do oeste do Paraná: Itaipu pode ser facilmente complementada por usinas eólicas

Fonte:
CBBE/UFPE

A turbina eólica ou aerogerador

- Charles Brush em 1888 -> 17 m de diâmetro, 144 pás de madeira, 12 kW de potência
- Poul la Cour (1846-1908) descobre que turbinas com menos pás são mais rápidas e mais eficientes.
- Turbinas Gedser -> três pás.
Aperfeiçoada em 1980 pelo dinamarquês Christian Rüsager -> 22 kW

Tipos de turbinas eólicas (gerado



Multipás
(arrasto e
sustentação.
Eficiência max = 30%)



Savonius
(arrasto.
Eficiência max = 20%)

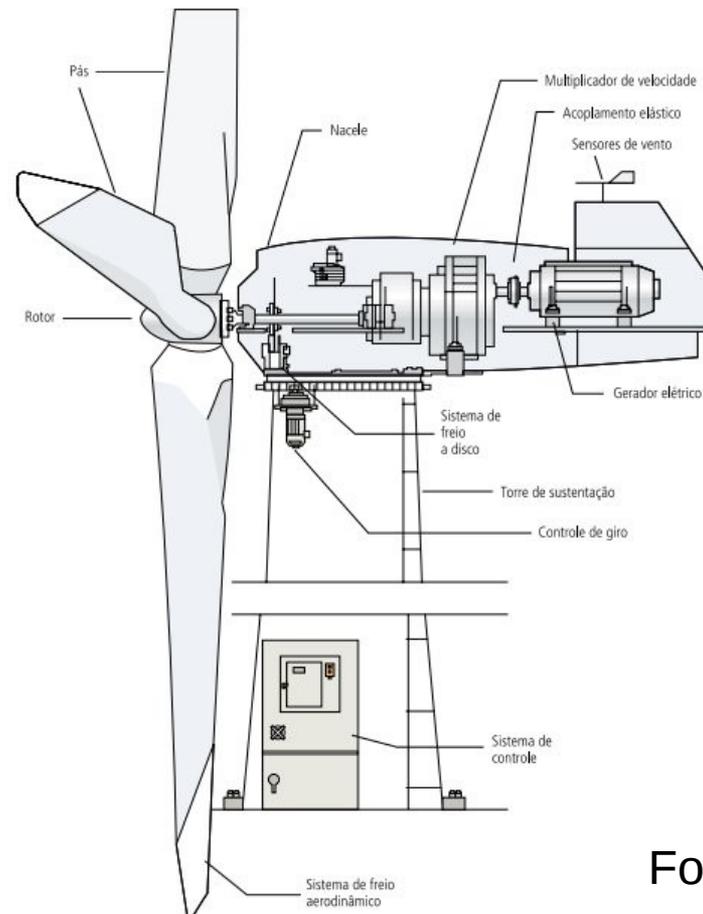


Darrieus
(sustentação.
Eficiência max = 40%)



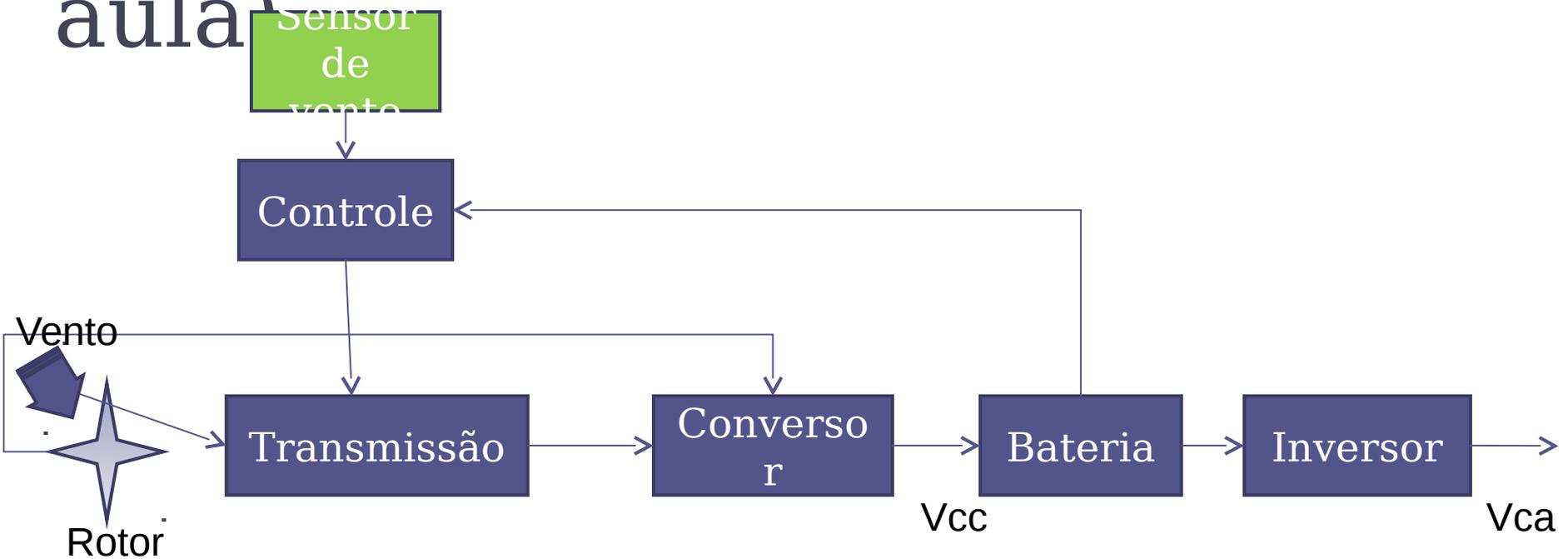
Multipás
(sustentação.
2 pás alta eficiência e baixa
estabilidade. 3 pás eficiência
média e alta estabilidade -> 45%
eficiência.)

Design típico de uma turbina eólica



Fonte: CBBE/UFPE

Diagrama em blocos básico (cálculo matemático: próxima aula)



Energia Geotérmica



Energia geotérmica

- Aquela causada pelo calor interno da Terra, capaz de ser removida para uso por meio de fluidos endógenos constituídos principalmente de água. (Olade, 1984)

Principais categorias

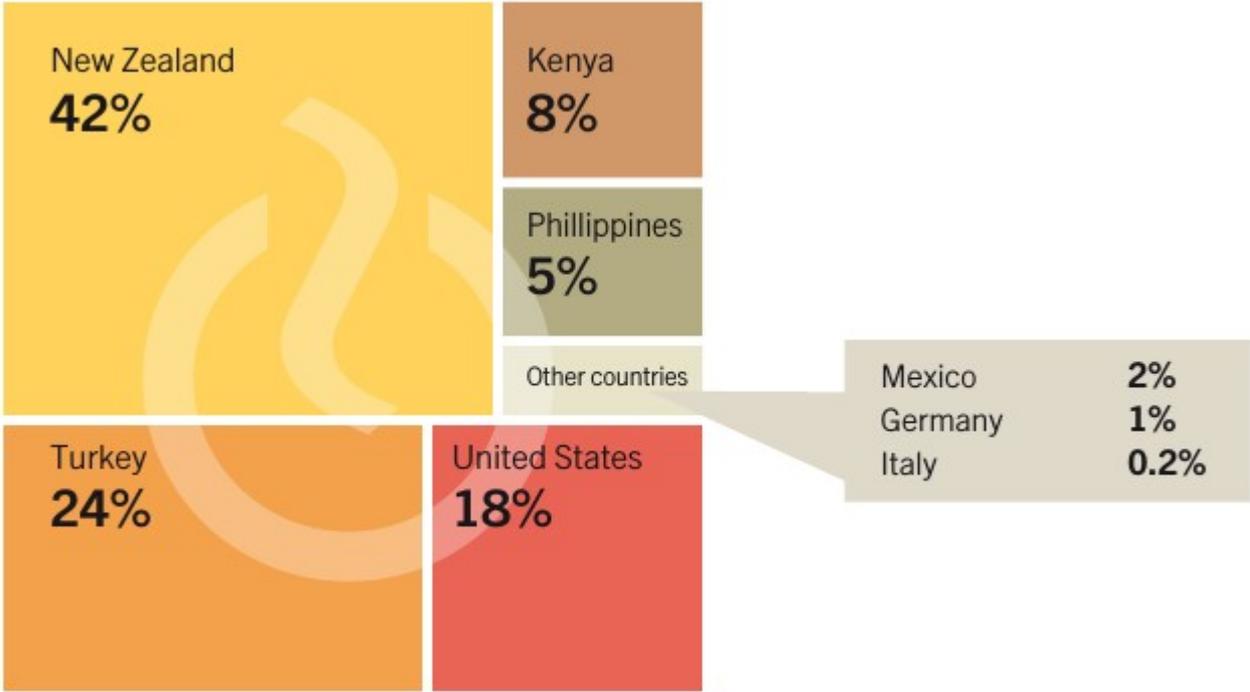
- Alta entalpia
 - Temperaturas maiores que 150°C
 - Geração de energia elétrica
- Média entalpia
 - Temperaturas entre 100°C e 150°C
 - Uso direto para aquecimento
- Baixa entalpia
 - Temperaturas abaixo de 100°C
 - Uso direto para aquecimento

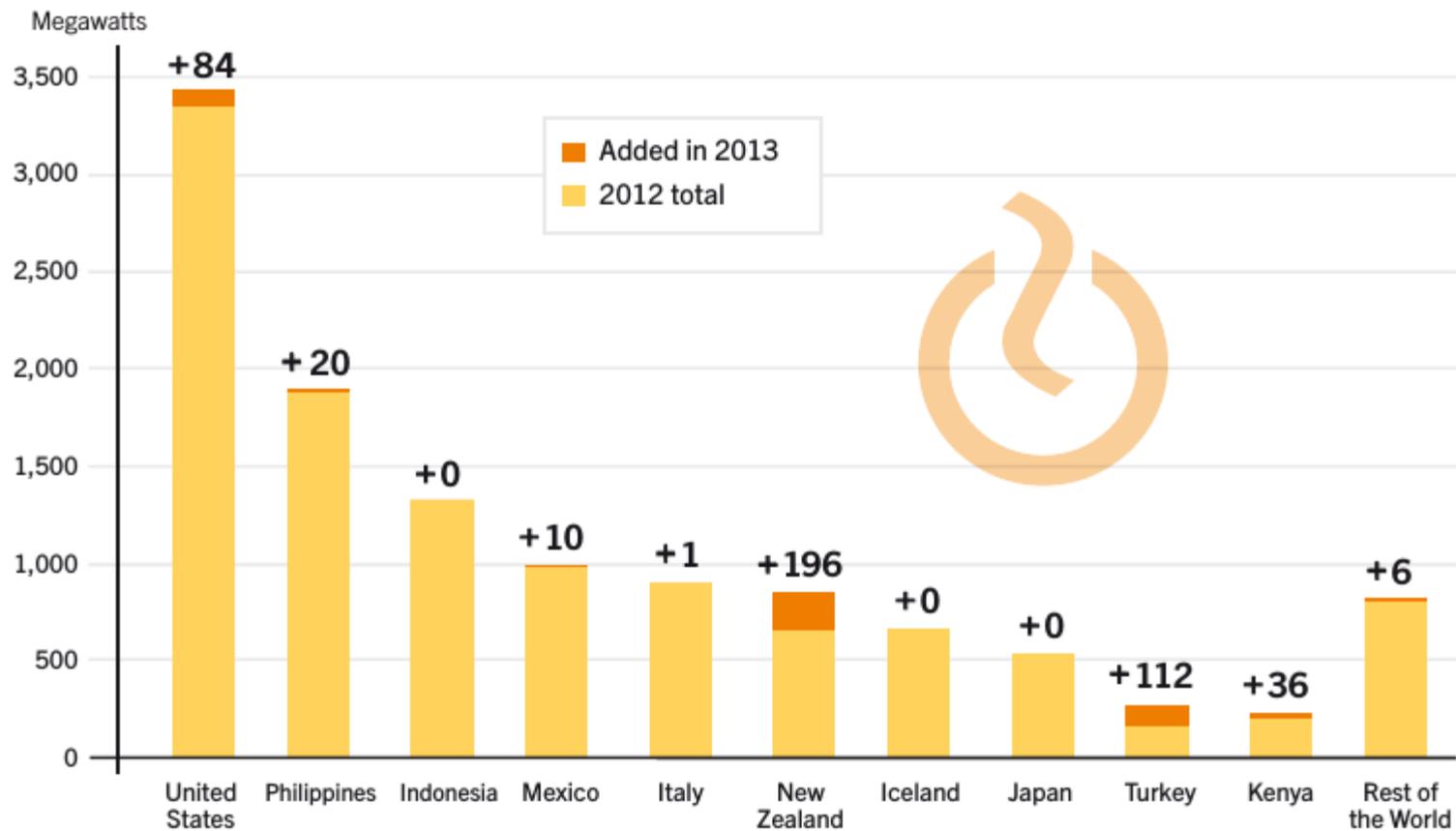
Histórico (aproveitamento energia elétrica)

- 1904 na Itália: primeira tentativa mal sucedida (vapores com química corrosiva)
- 1913 Itália (Toscana): uso de cerca de 200 kW até 100 MW na década de 1940
- A partir da década 1950/1960: aproveitamento intensivo na Islândia, Nova Zelândia, Itália e Estados Unidos

Atualmente (até 2013)

	NET ADDED 2013	TOTAL END-2013
	MW	GW
TOP COUNTRIES BY TOTAL CAPACITY		
United States	84	3.4
Philippines	20	1.9
Indonesia	0	1.3
Mexico	10	1.0
Italy	1	0.9
New Zealand	196	0.9
TOP COUNTRIES BY NET ADDITIONS		
New Zealand	196	0.9
Turkey	112	0.3
United States	84	3.4
Kenya	36	0.2
Philippines	20	1.9
Mexico	10	1.0
World Total	465	12





Fonte: GSR 2014

Principais fontes

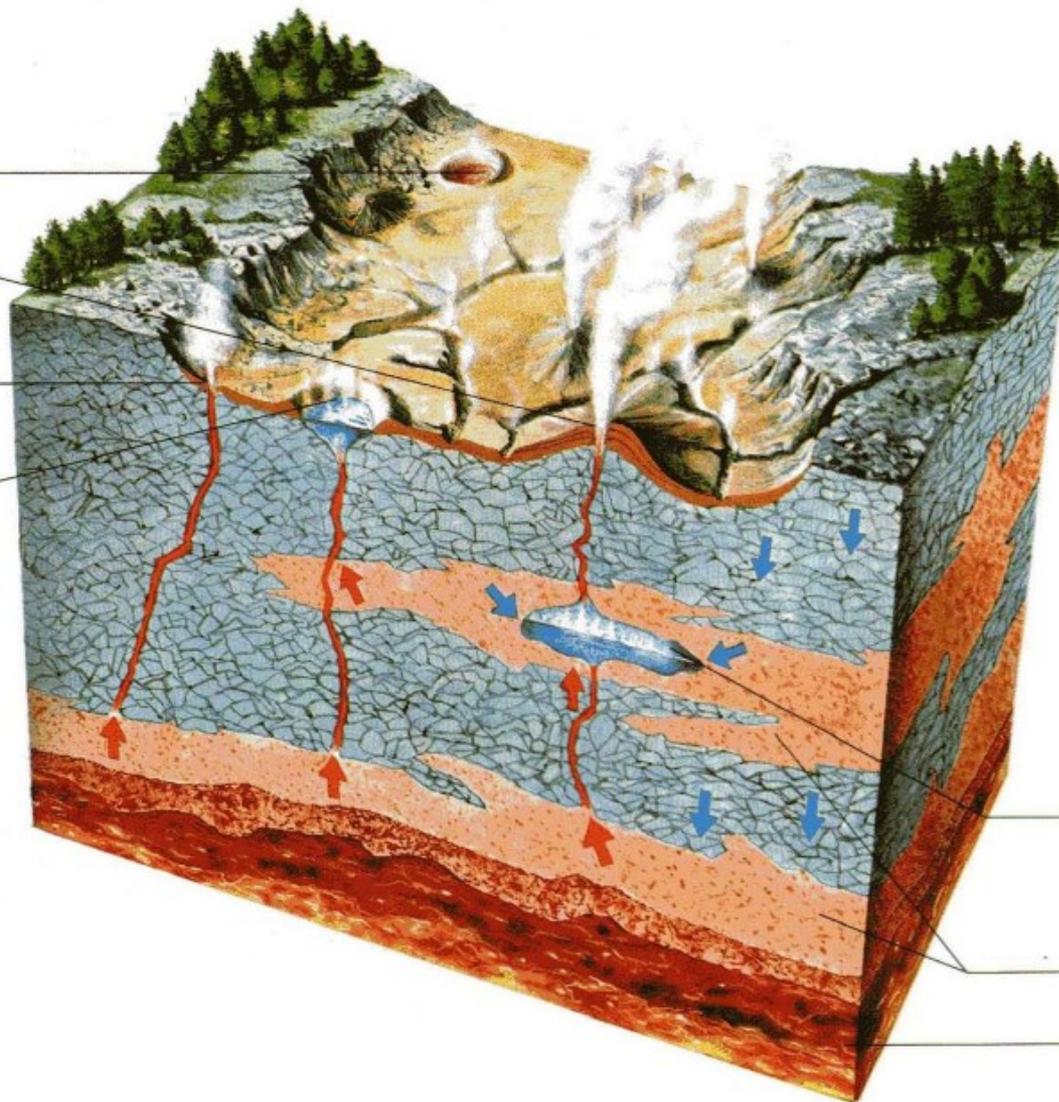
- Sistemas vulcânicos
 - Hidrotermais de vapor ou água quente
- Hidrotermais convectivas
 - Aquecimento por convecção devido ao contato com falhas tectônicas ativas
- Hidrotermais condutivas
 - Bacias sedimentares
- Sistemas artificiais

charco de lama

gêiser

jato de vapor

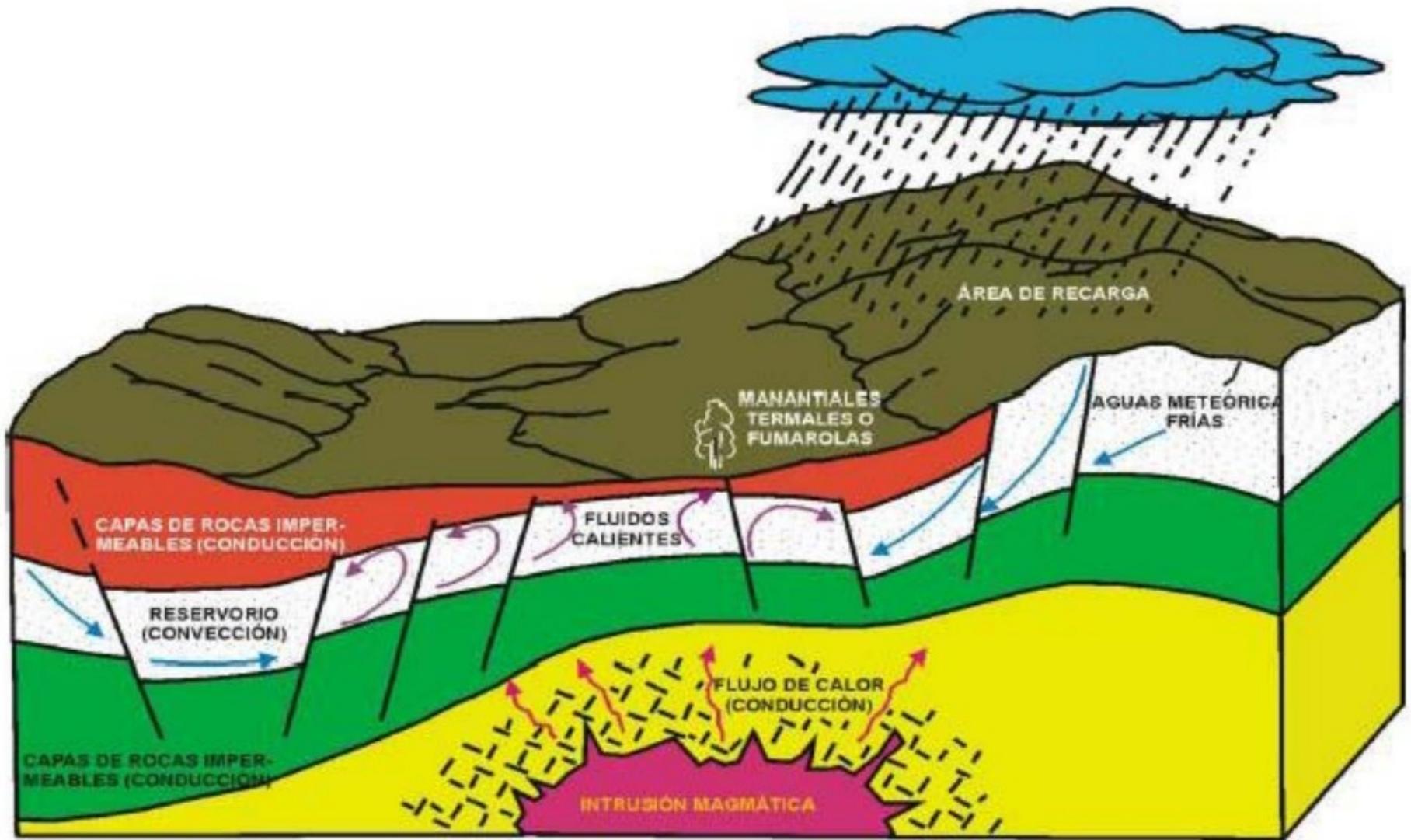
fonte quente



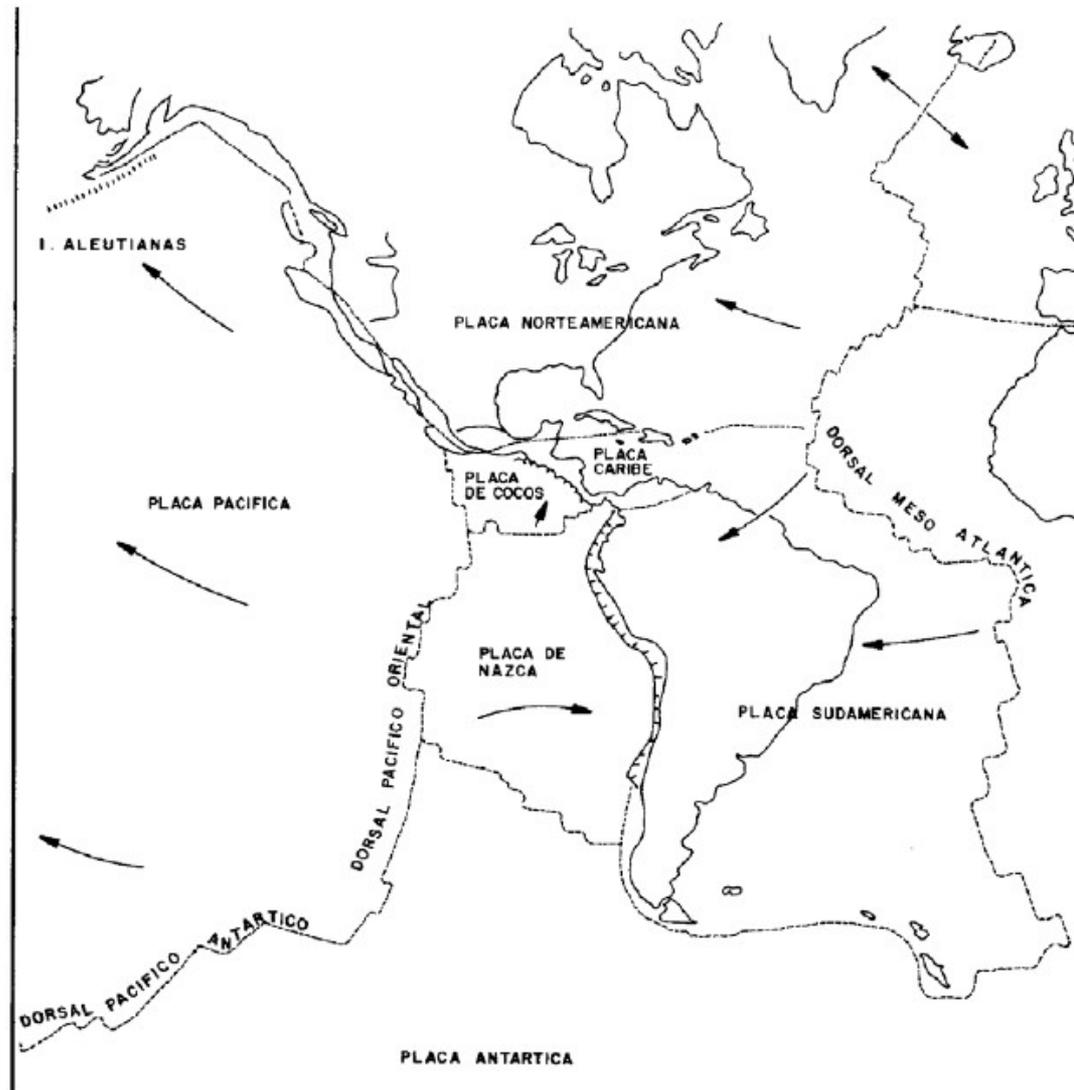
câmara
do gêiser

rocha porosa

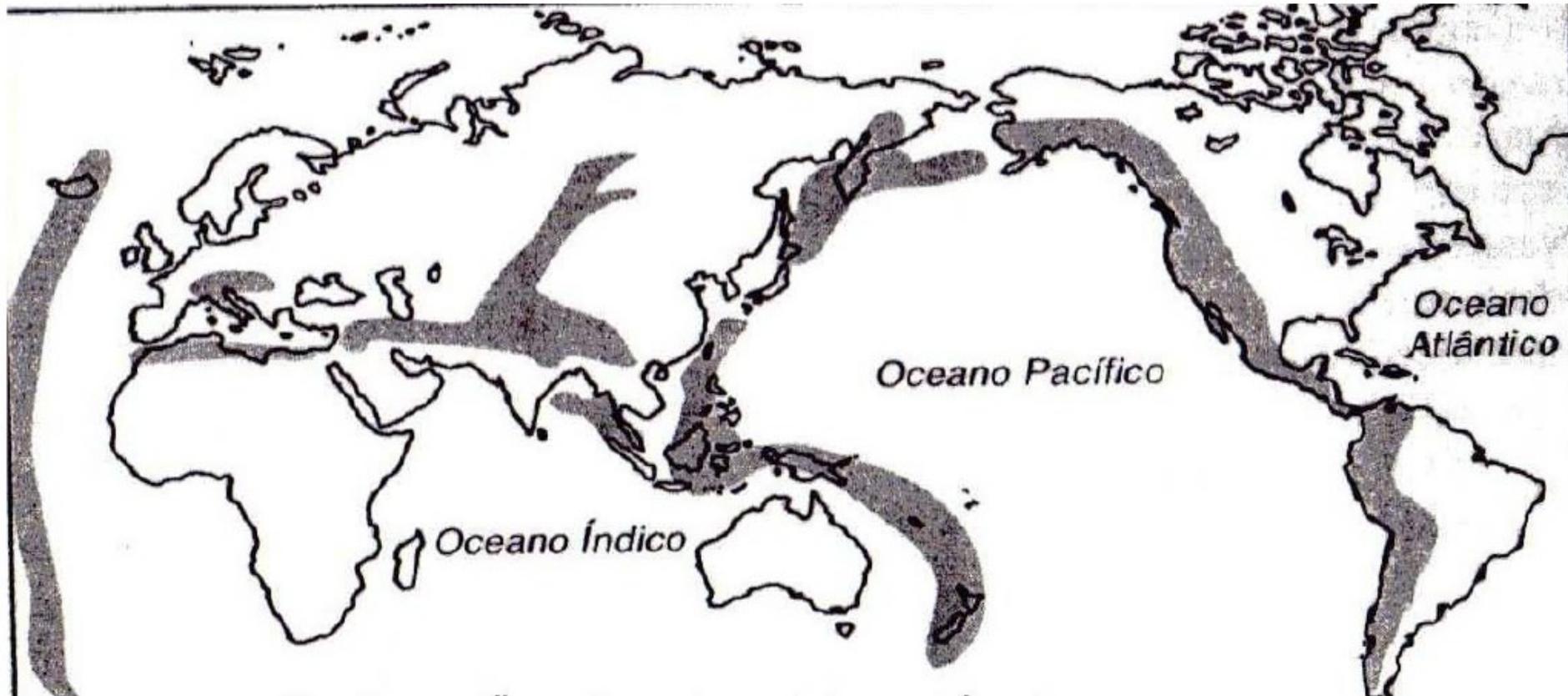
magma



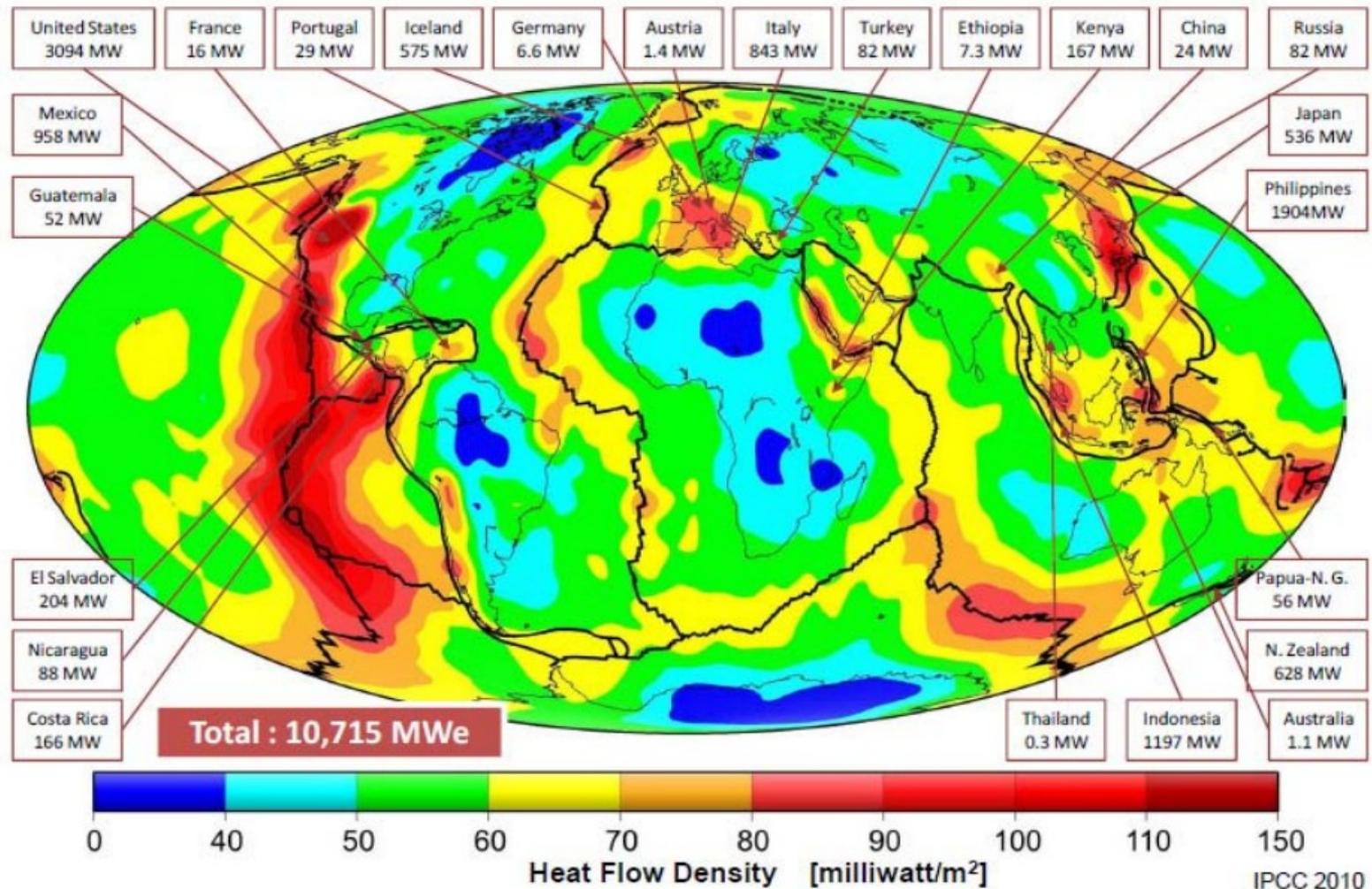
Placas tectônicas



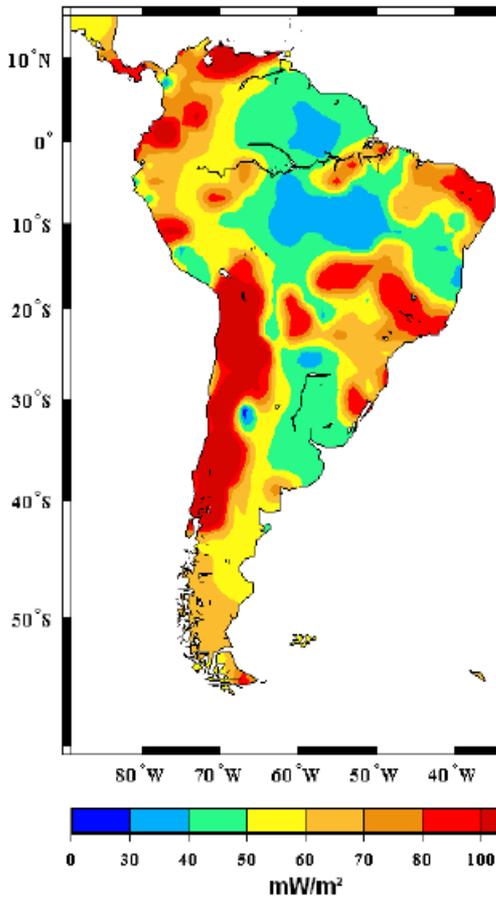
Principais faixas geotermiais



Capacidade geotermal instalada nas principais faixas

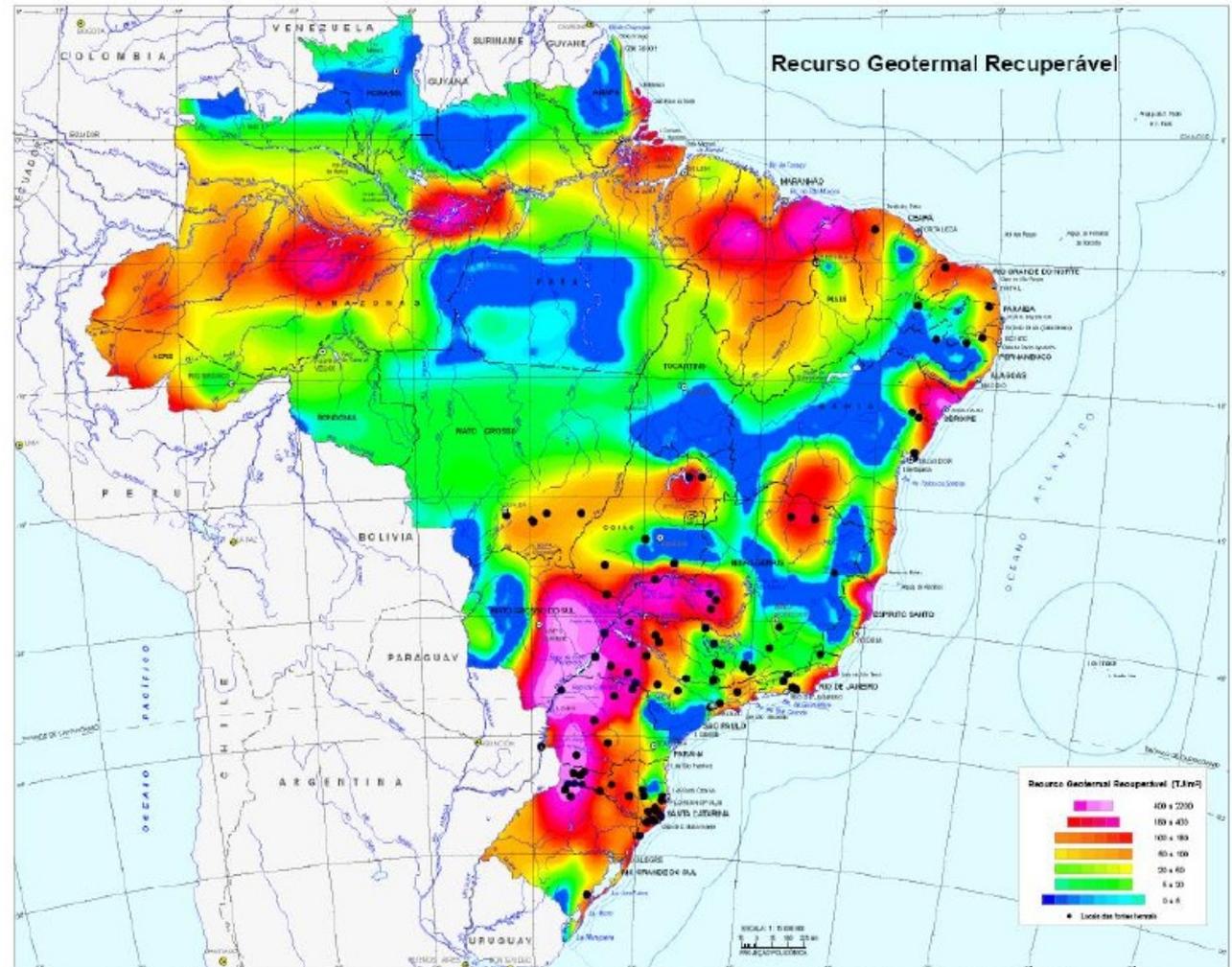


No Brasil

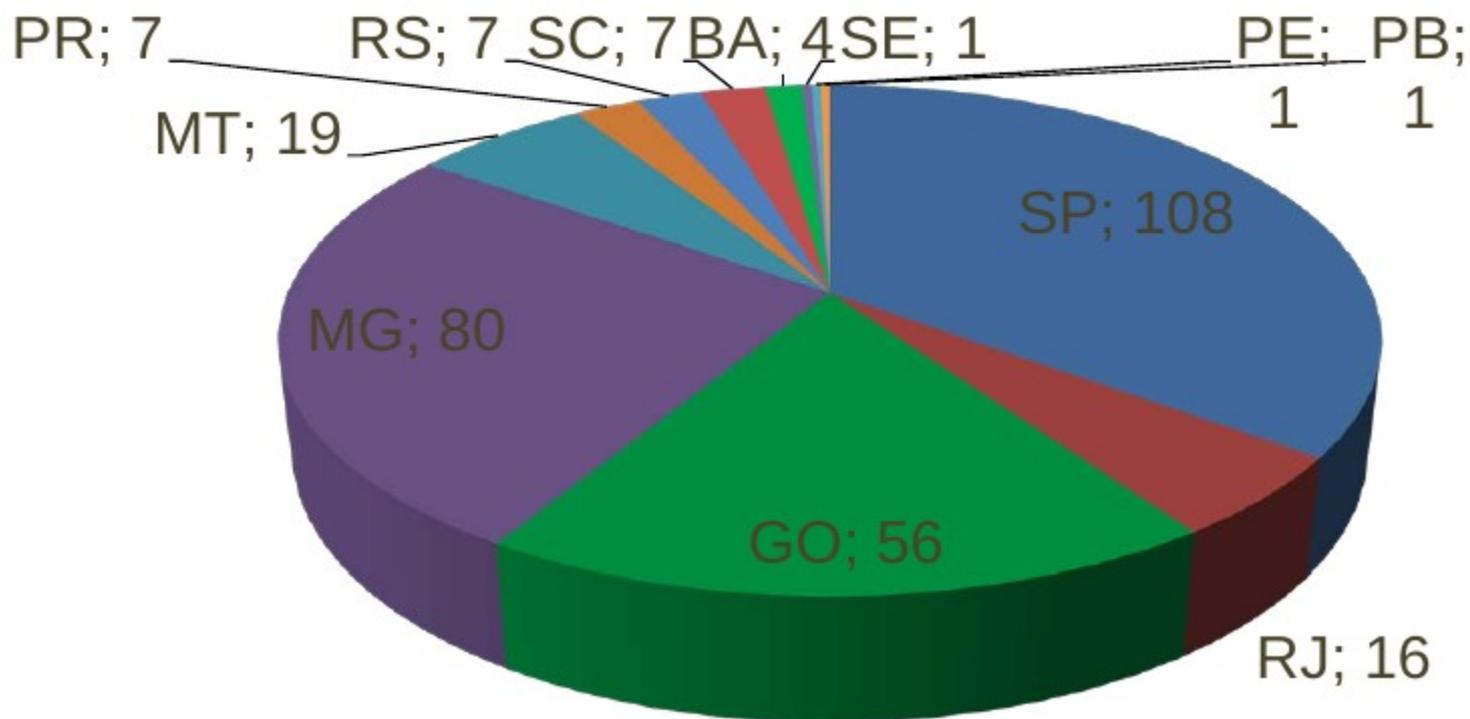


- Mapa de fluxo de calor geotérmico para Fonte: Hamza *et al.* (2008)

Atlas Nacional 2010 - IBGE - Observatório Nacional - ON/MCT



Número de fontes no Brasil



Aproveitamento: indústria

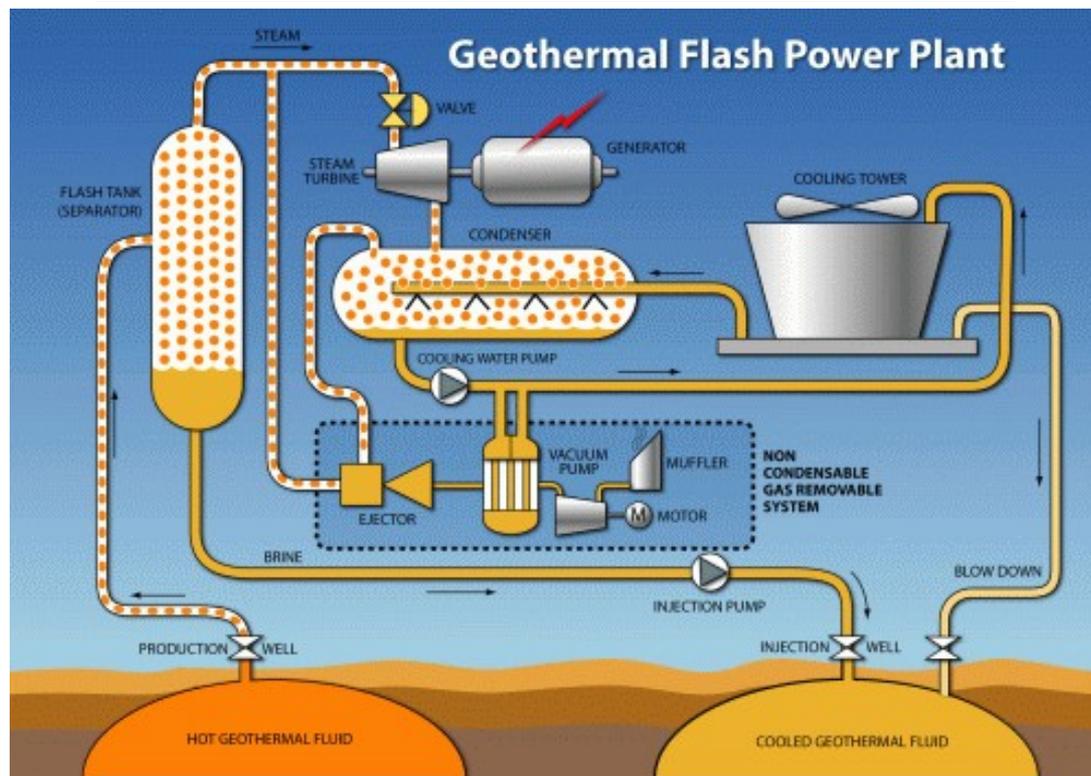
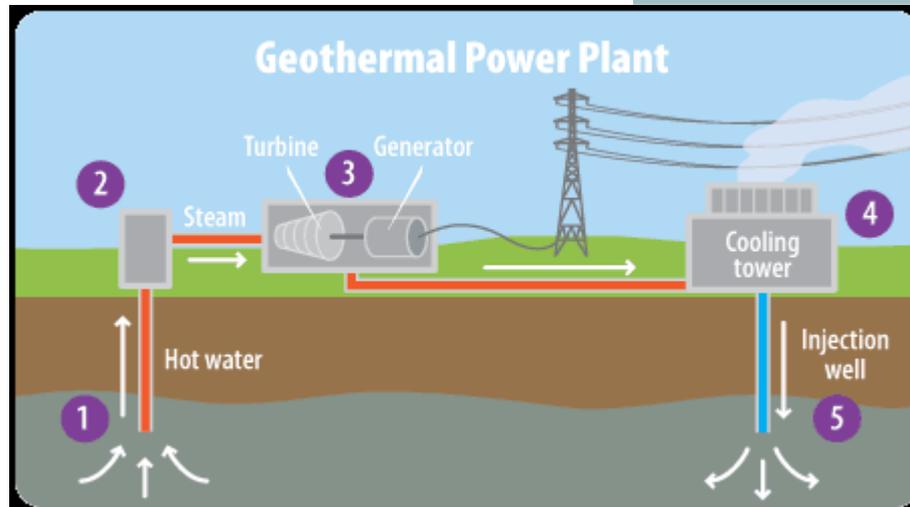
Setor	Discriminação/Processos	Temperatura de Utilização
Combustível	Etanol/Álcool	
	Fermentação	27-32
	Sacarificação	50-60
	Liquefação	93
	Destilação	100
	Biogás-Produção	35-48
	Petróleo-Refinação	40-100
Agro-Indústria	Café – Diversos	40-100
	Crescimento de Cogumelos	48-62
	Açúcar – Extração	62-90
	Secagem	112-135
	Evaporação	20-38
Dessalinização		120

Aproveitamento: aquecimento

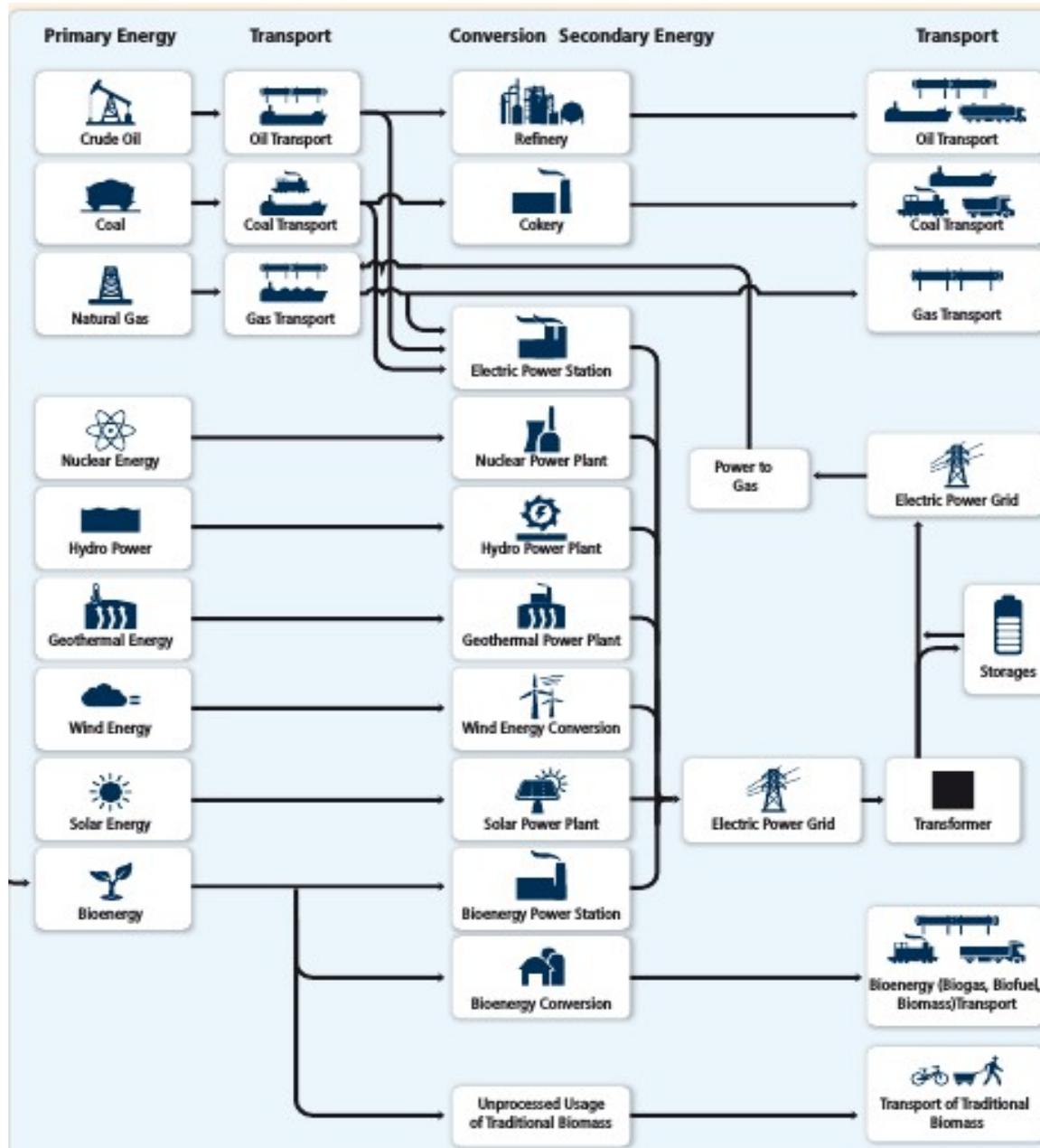
- Aquecimento doméstico e comercial
- Agroindústria: aquecimento aviário
- Fontes termais → turismo
- Piscinas

Aproveitamento: usinas

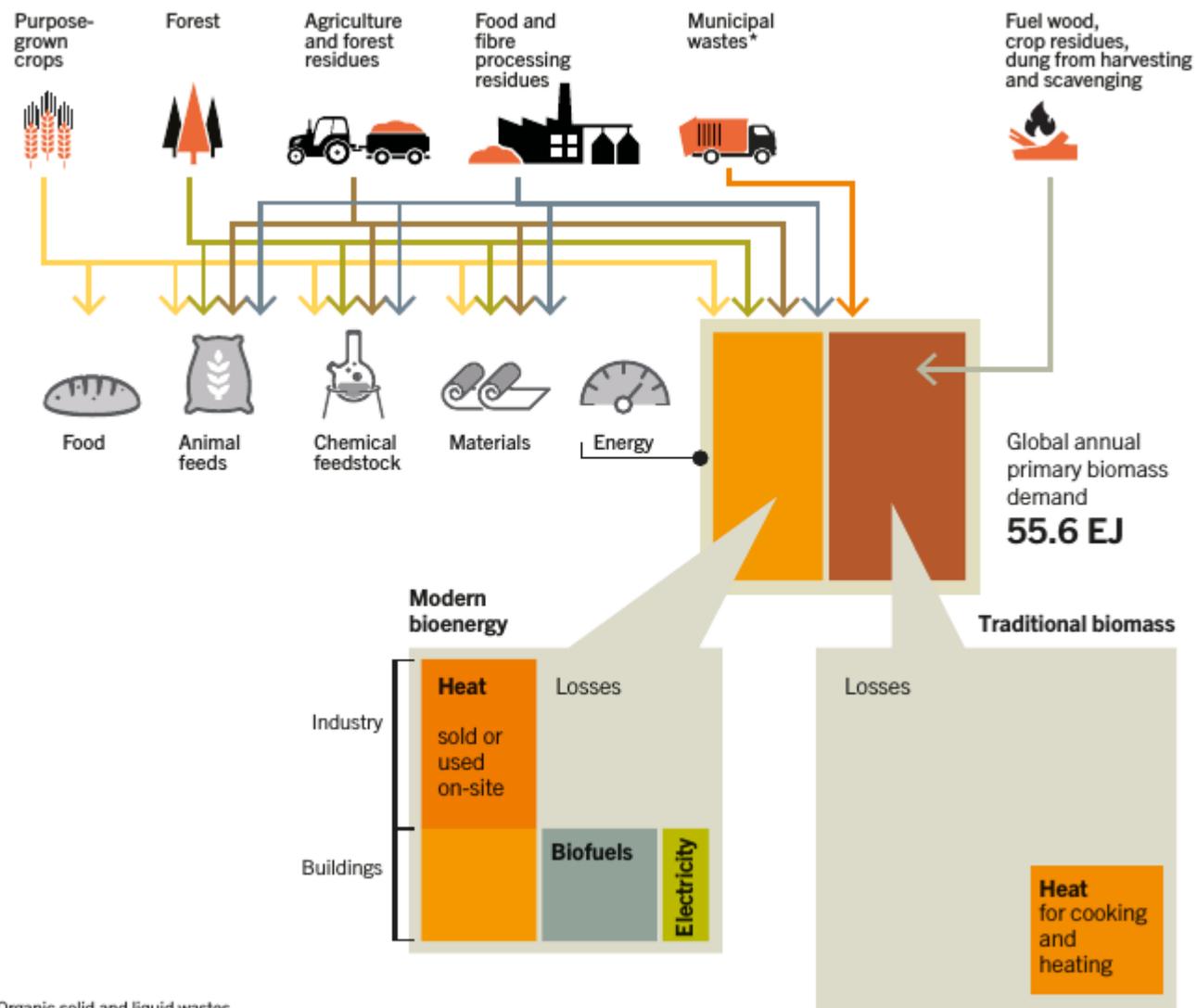
- Geração de eletricidade
 - Plantas termoelétricas
 - Países modelo
 - Islândia (matriz elétrica 100% geo+hidro)
 - Estados Unidos
 - Obs.: Segundo a Aneel o Brasil não tem recursos suficientes para aproveitamento



Energia da Biomassa

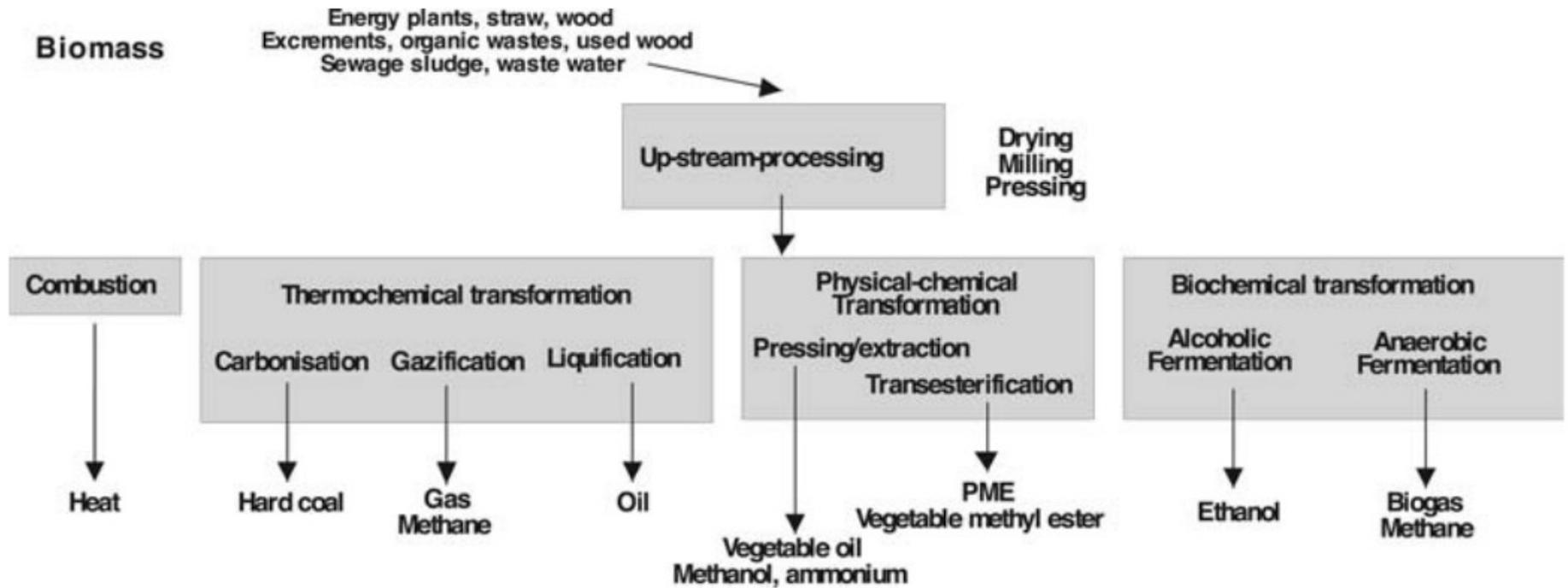


Usos da biomassa como fonte de bioenergia



Fonte REN21, 2014

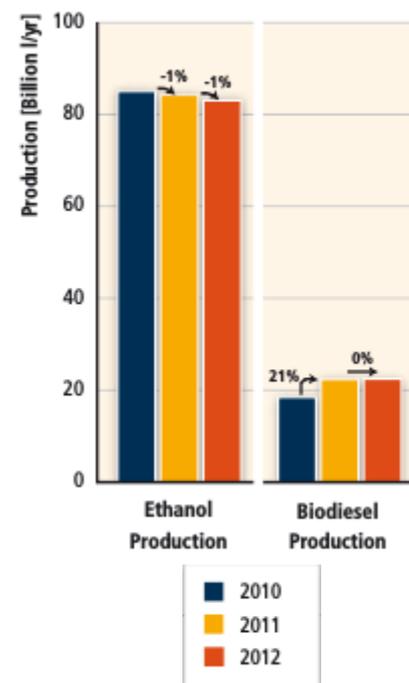
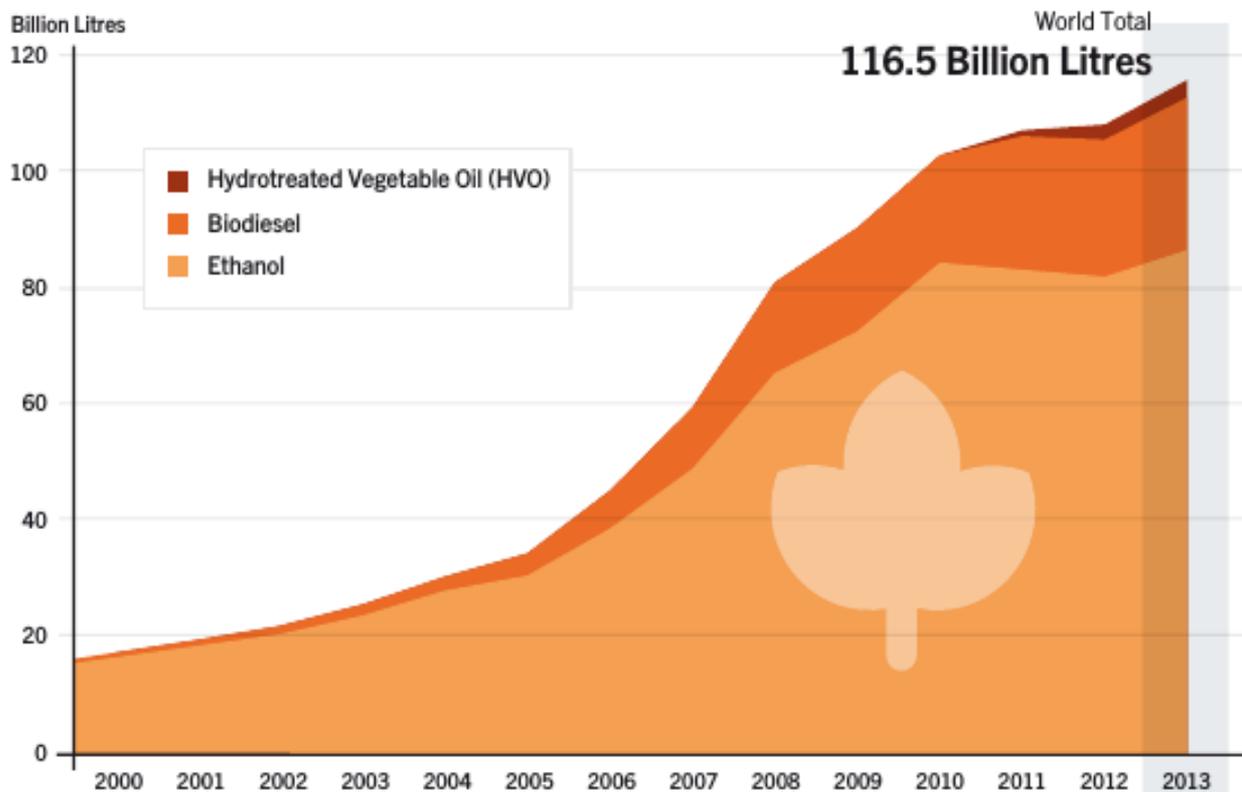
Destino específico das biomassas e processos



<i>Energy source</i>	<i>Energy balance Output/ Input [MJ/MJ]</i>	<i>Remarks</i>
Rape oil	5.7	Energy recovery of the colza cake and green waste included
Ethanol	2.7	From wheat
Ethanol	1.6	From sugar beet
Ethanol	5.0	From sorghum
Electricity and heat	8.5	Energy recovery of the bagasse included Combustion of the whole plant From cereals
Electricity and heat	19.7	Combustion of miscanthus plants (not dried)
Electricity and heat	14.2	Combustion of energy plants
Electricity and heat	20.4	Combustion of residual straw
Electricity and heat	19.0	Combustion of forest residual wood
Biogas	28.8	From excrement (CHP cycle)

Fonte: Deublein & Steinhauser, 2008

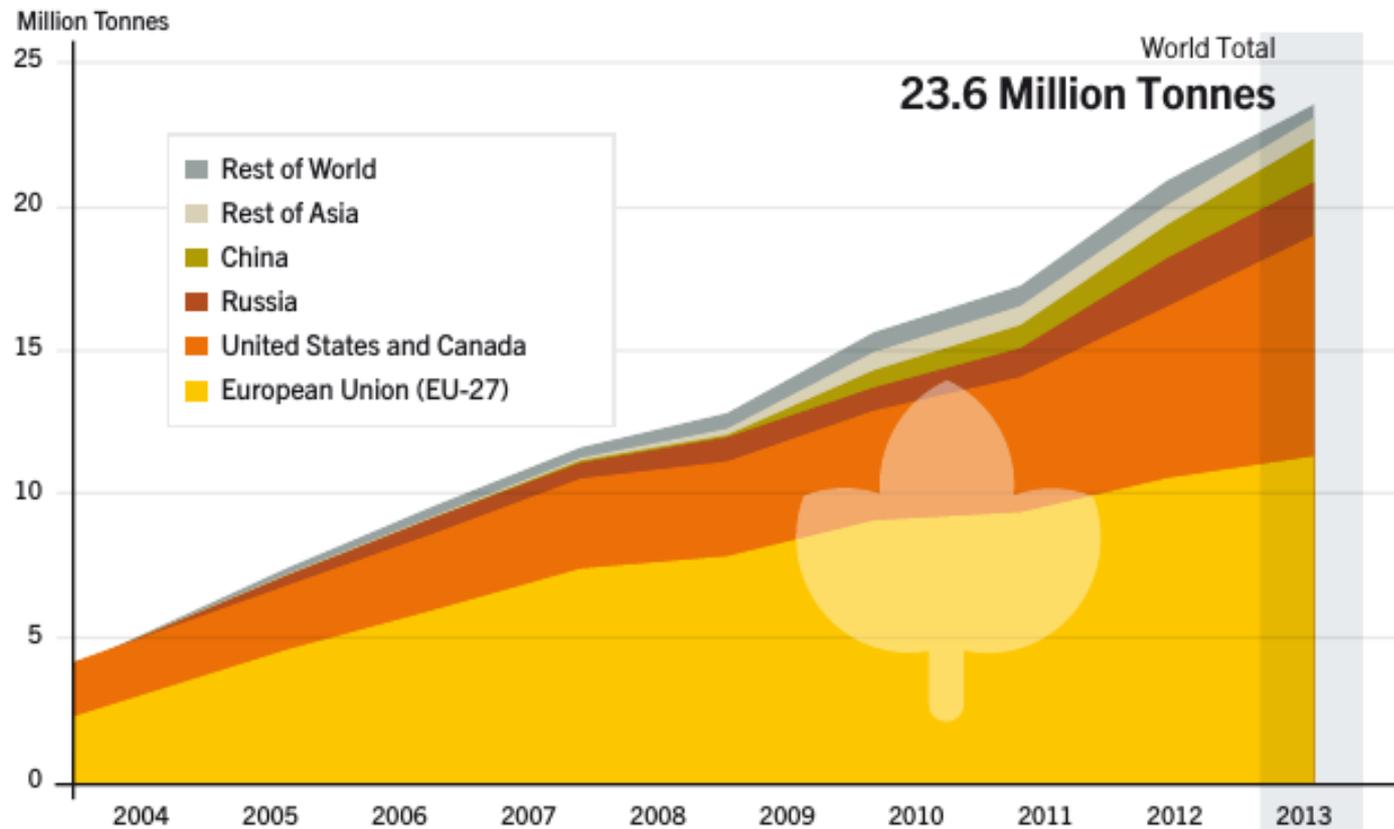
Biomassa: Bioetanolo e Biodiesel



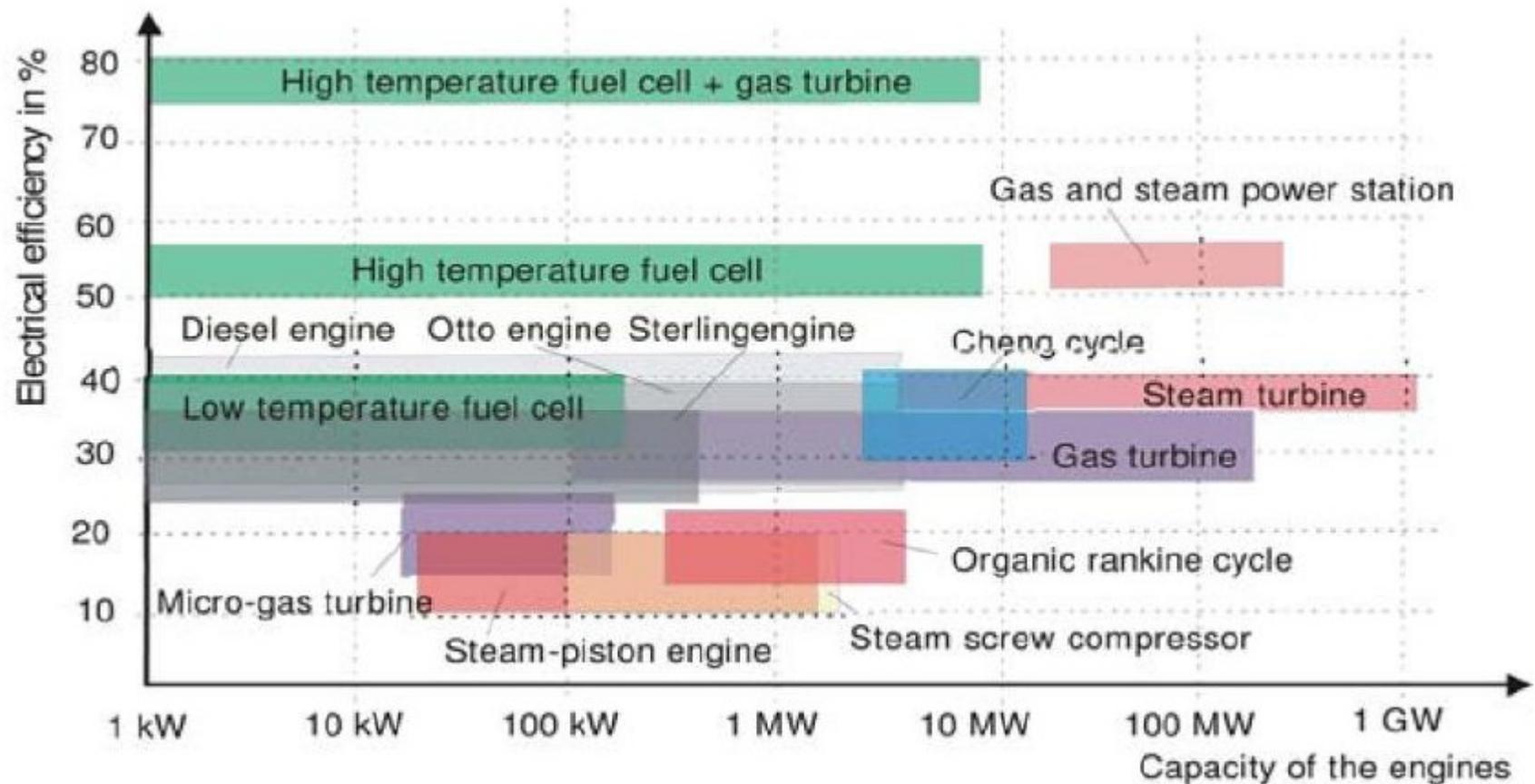
🔥 Biodiesel production	United States	Germany	Brazil
🔥 Fuel ethanol production	United States	Brazil	China

Fonte:
REN21 2014
IPCC 2014

Biomassa: pelets (madeira)



Biocombustíveis e produção de eletricidade



Biogás

	<i>Number of biogas plants</i>	<i>Mg of digested waste per year</i>
Austria	10	90 000
Belgium	2	47 000
Denmark	22	1 396 000
Finland	1	15 000
France	1	85 000
Germany	39	1 081 700
Italy	6	772 000
Netherlands	4	122 000
Poland	1	50 000
Spain	1	113 500
Sweden	9	341 000
Switzerland	10	76 500
England	1	40 000
Ukraine	1	12 000
Total	108	4 241 700

Até 1997

Fonte:
Deublein &
Stockhauser
2008

Obs: Brasil: plantas no PR (ex: Ajuricaba), em SP (ex.: Sabesp), RG (GNVerde)

PLANTA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E GNVERDE

PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO

CONSÓRCIO

VERDEBRASIL



gnverde
TRANSFORMANDO RESÍDUO EM COMODOS

SULGAS

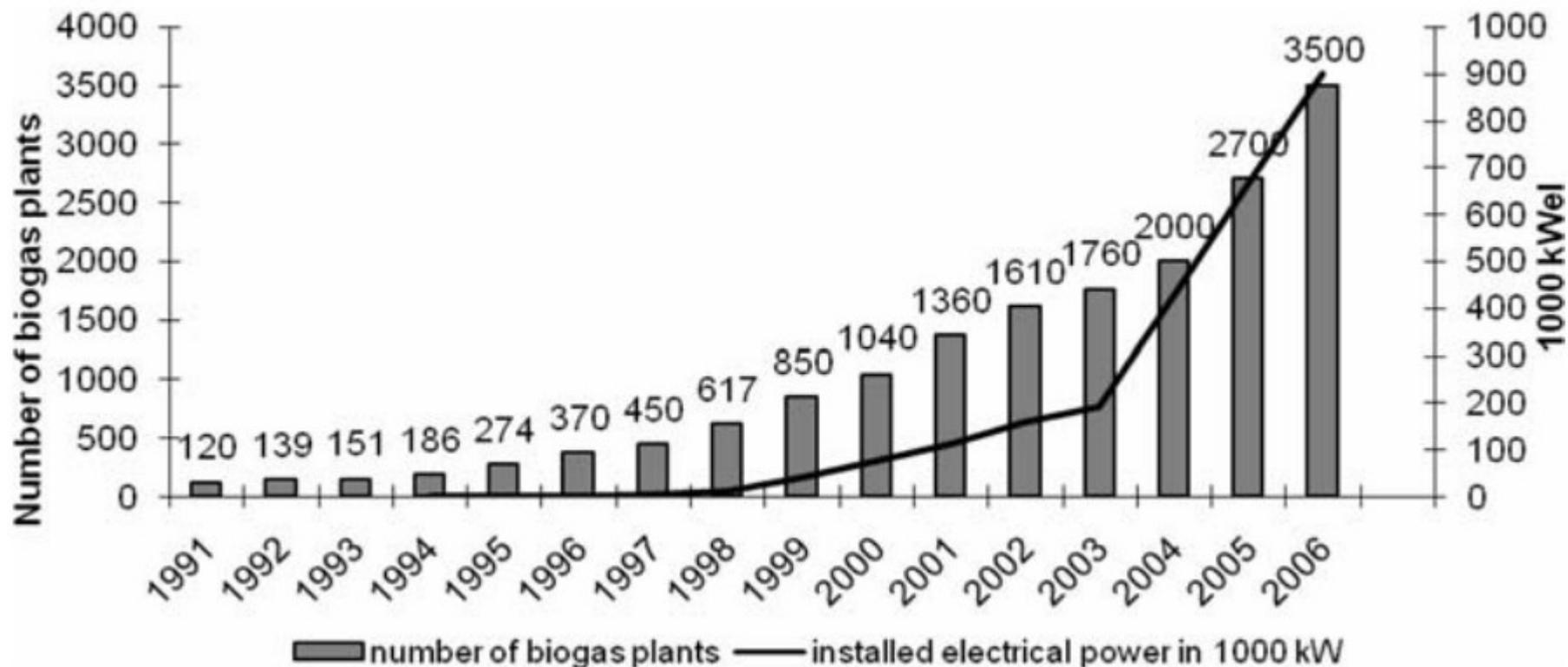


Ajuricaba, PR

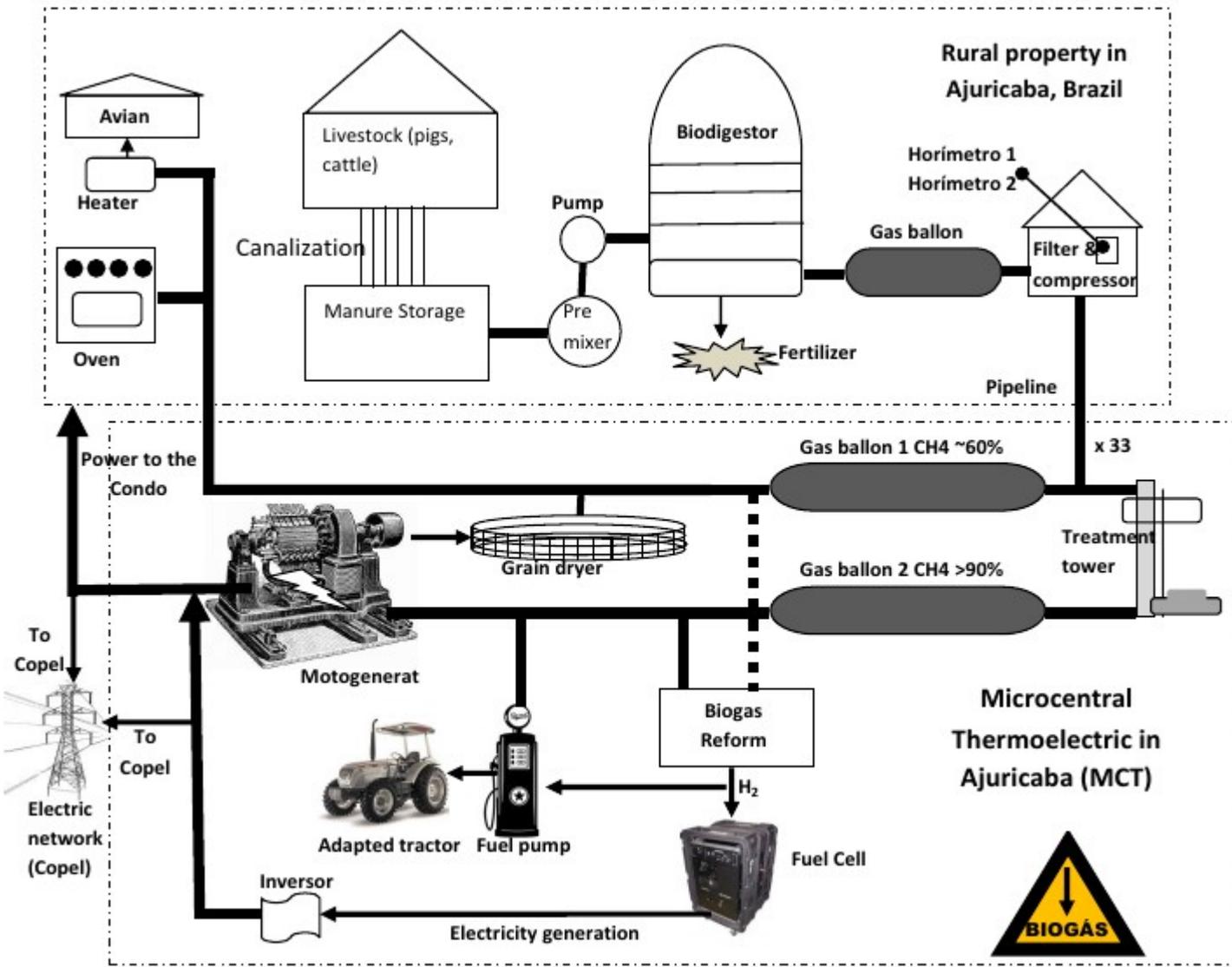
Sabesp/Probiogás



Biogás (Alemanha)

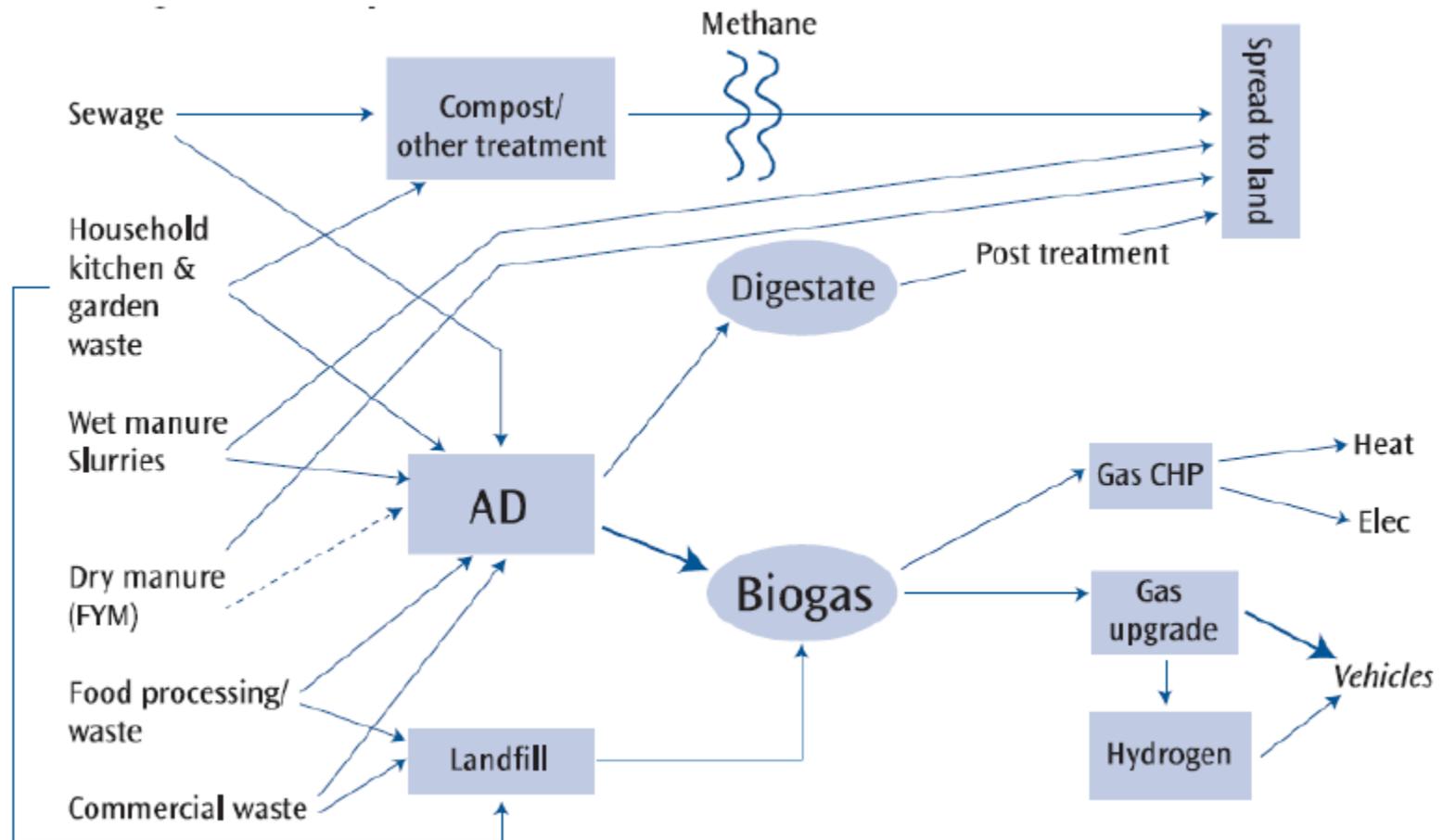


Produção biogás em pequenas propriedades rurais



Fonte:
Coimbra-Araujo
et al. 2014

Rotas do biogás



Algumas características do biogás

Composition	55–70% methane (CH₄) 30–45% carbon dioxide (CO₂) Traces of other gases
Energy content	6.0–6.5 kWh m ⁻³
Fuel equivalent	0.60–0.65 L oil/m ³ biogas
Explosion limits	6–12% biogas in air
Ignition temperature	650–750 °C (with the above-mentioned methane content)
Critical pressure	75–89 bar
Critical temperature	–82.5 °C
Normal density	1.2 kg m ⁻³

CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
SF ₄	23 900
PFC	6 500–9 200
HFC	140–11 700



$$x = 1/8 \cdot (4c + h - 2o - 3n - 2s)$$

$$y = 1/4 \cdot (4c - h - 2o + 3n + 3s)$$



Vantagens

- Pode ser obtido de diversas fontes (fósseis ou renováveis)
- Sua conversão produz apenas água (menor poluição local)
- Torna vários processos mais eficientes (dependendo das etapas)
- Alta densidade de energia por massa (vantagem no uso aeroespacial)

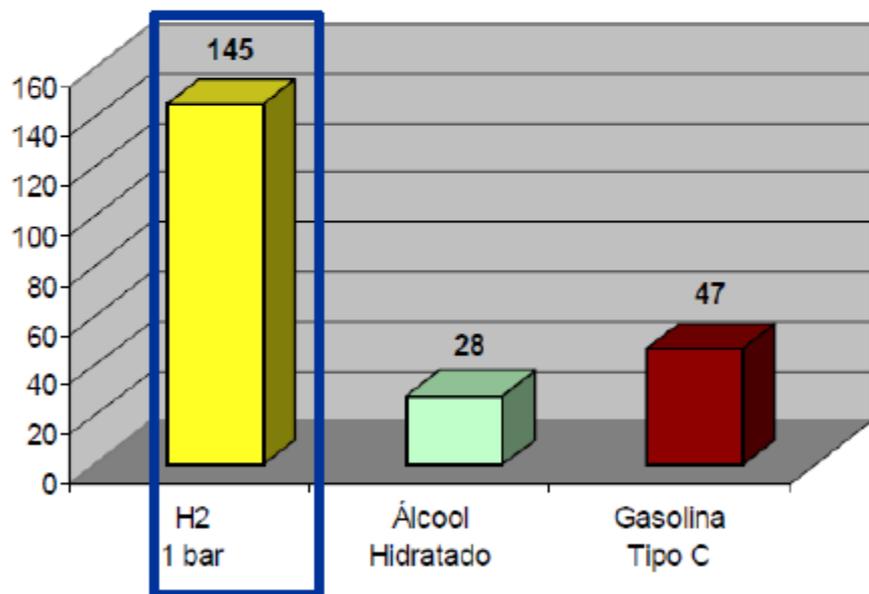




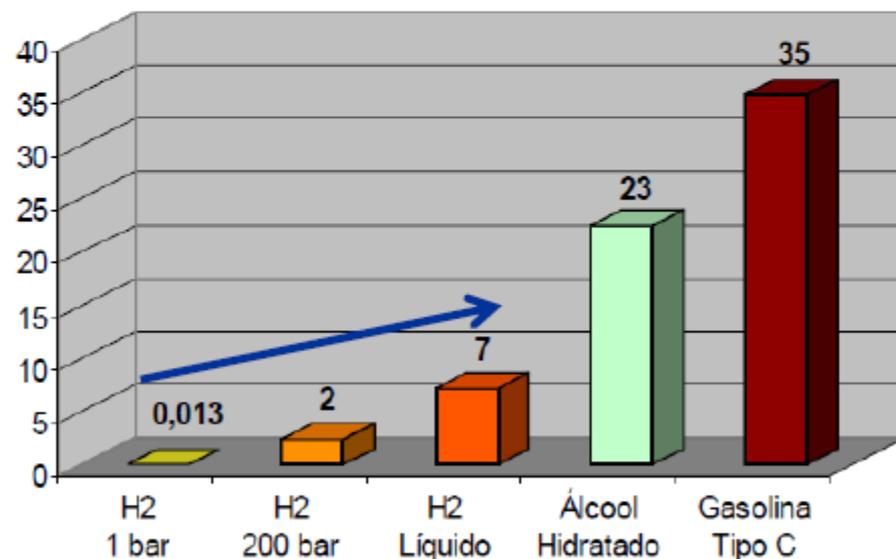
Hidrogênio: Prós e Contras

H₂ necessita ser armazenado a altas pressões ou liquefeito.

Densidade energética por massa (MJ kg⁻¹)



Densidade energética por volume (10³ MJ m⁻³)



PODER CALORÍFICO MAIOR DO QUE QUALQUER OUTRO TIPO DE COMBUSTÍVEL: **145 MJ/kg**

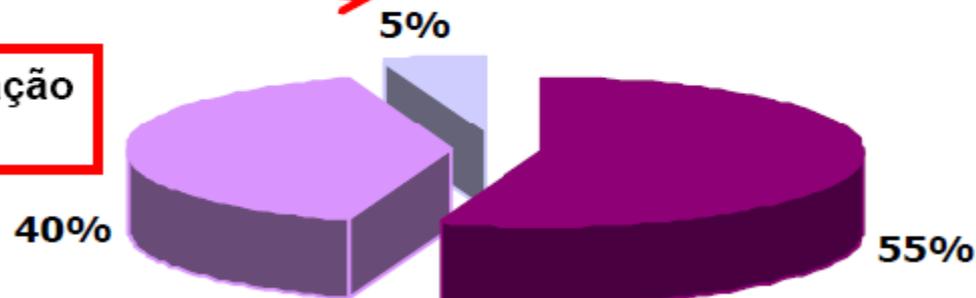
USOS DO HIDROGÊNIO



- Síntese da amônia ou metanol;
- Produção de ferro e aço (agente redutor);
- Tratamento de óleos (hidrogenação) e gorduras (saturação);
- Indústria do vidro e componentes eletrônicos.

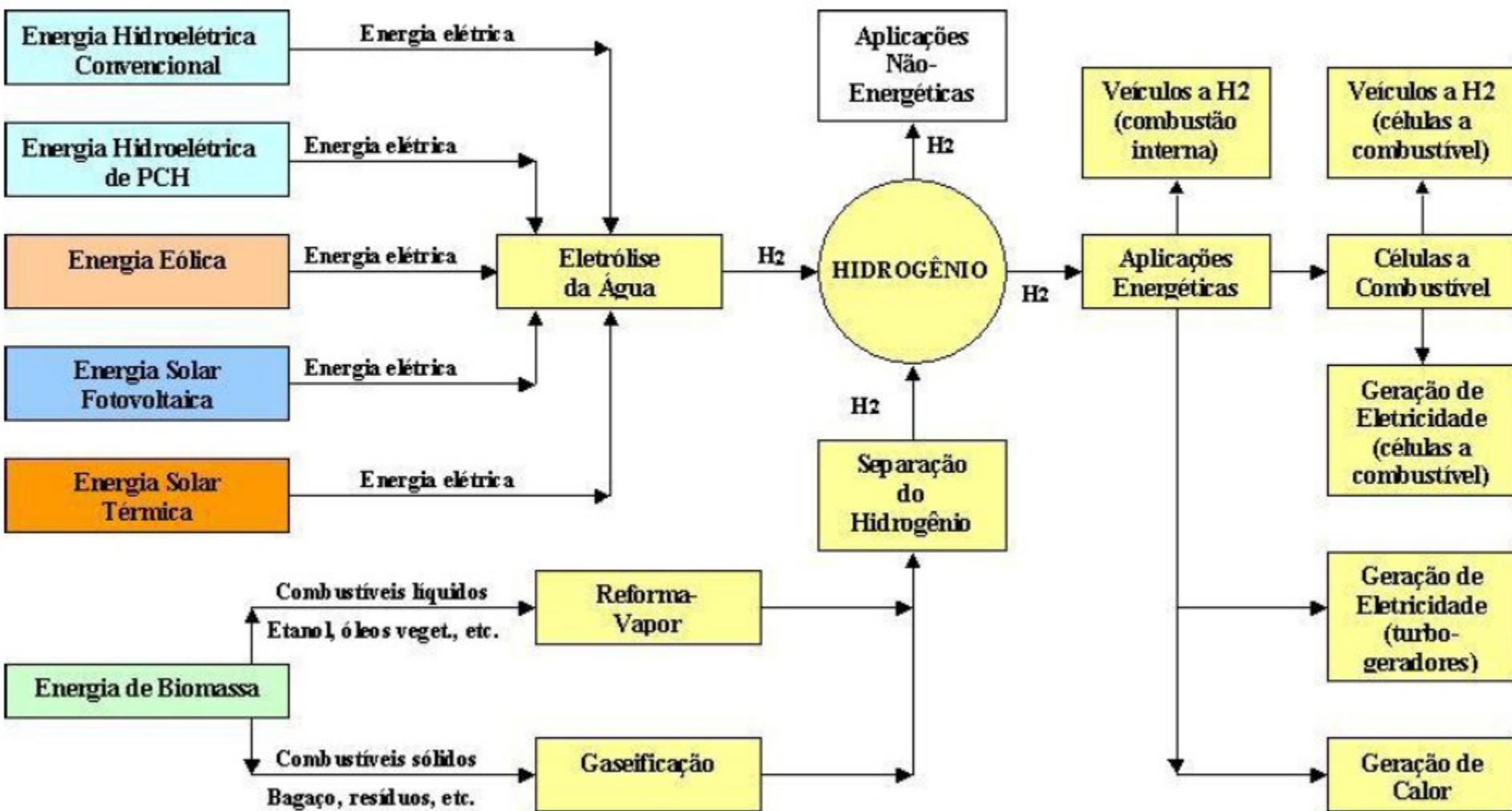
- Aplicação direta em energia (energia térmica ou CaC)

- Refinarias (dessulfurização de diesel e gasolina)

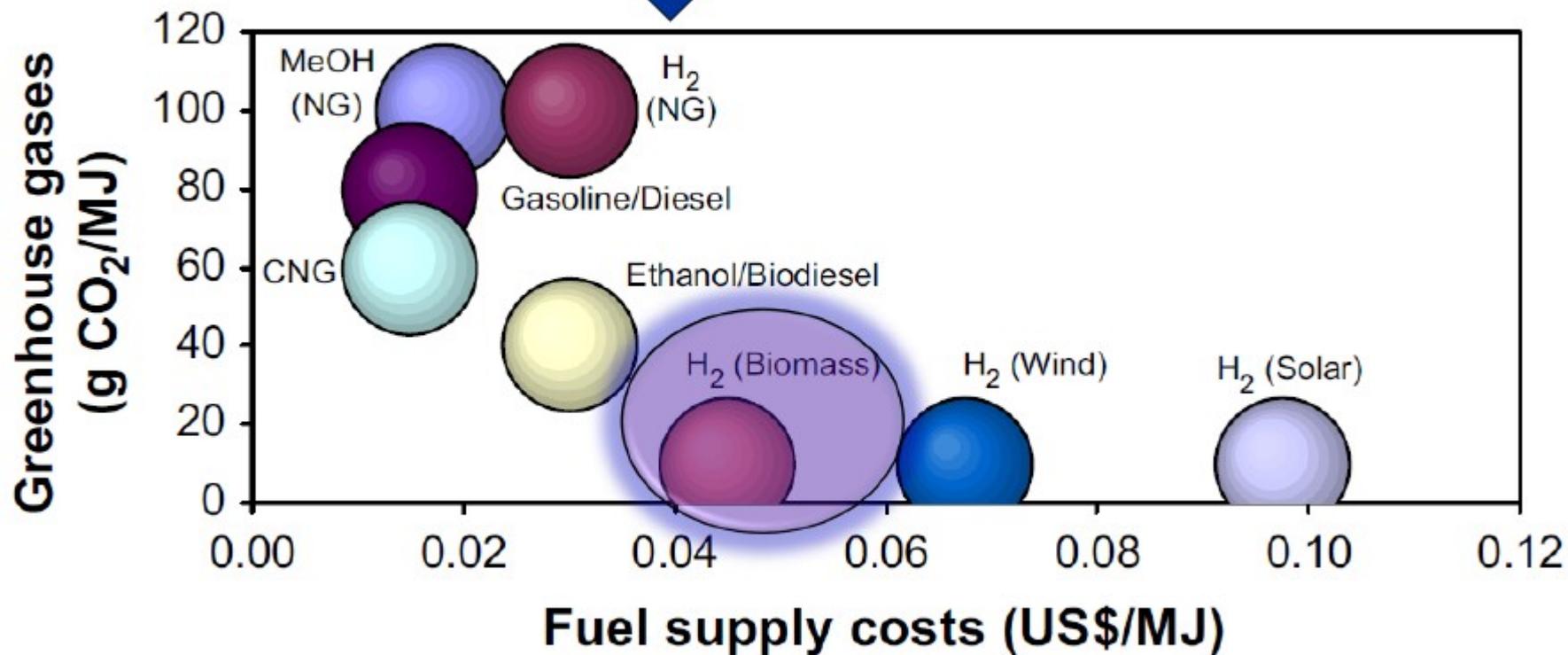


■ Não energéticos ■ Indirectos ■ Directos

GERAÇÃO DE H₂ VIA FONTES RENOVÁVEIS



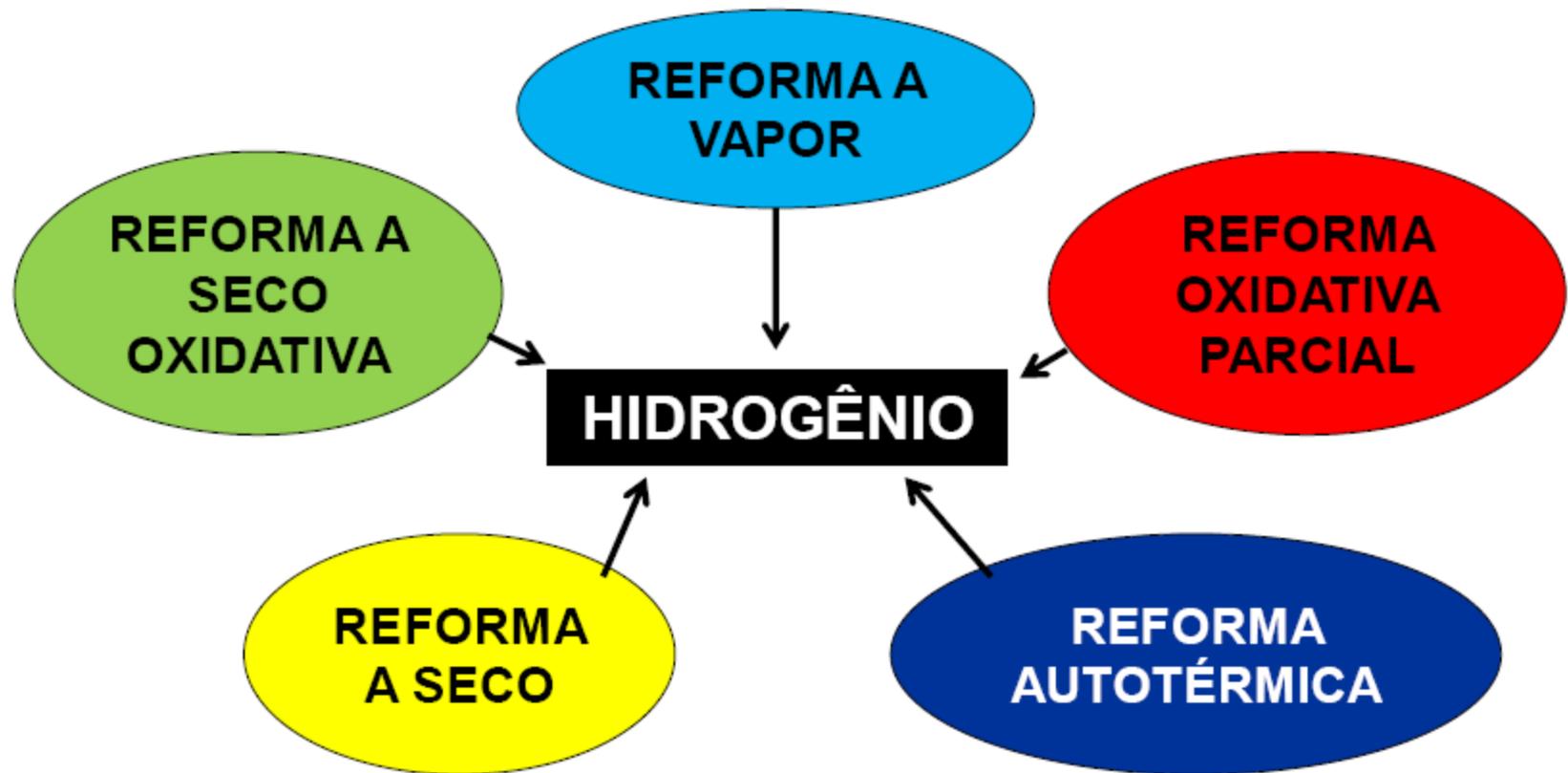
CUSTOS DOS COMBUSTÍVEIS X EMISSÃO CO₂





DEFINIÇÃO DE REFORMA

Processo endotérmico ou exotérmico de conversão catalítica, de um combustível líquido, sólido ou gasoso para um gás que pode ser utilizado como combustível (Sordi *et al*, 2006).



FLUXOGRAMA: BIOGÁS - HIDROGÊNIO - CaC

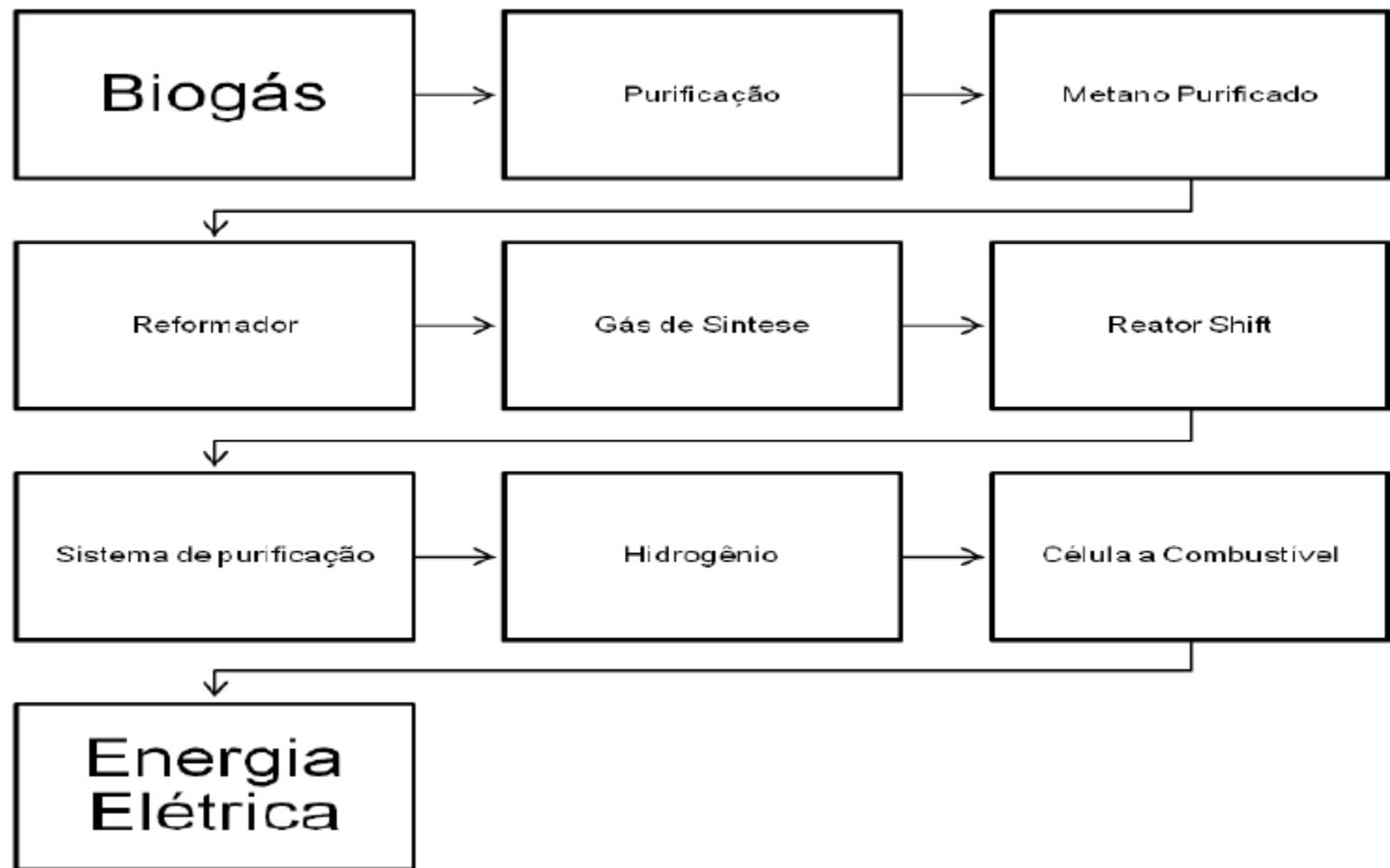
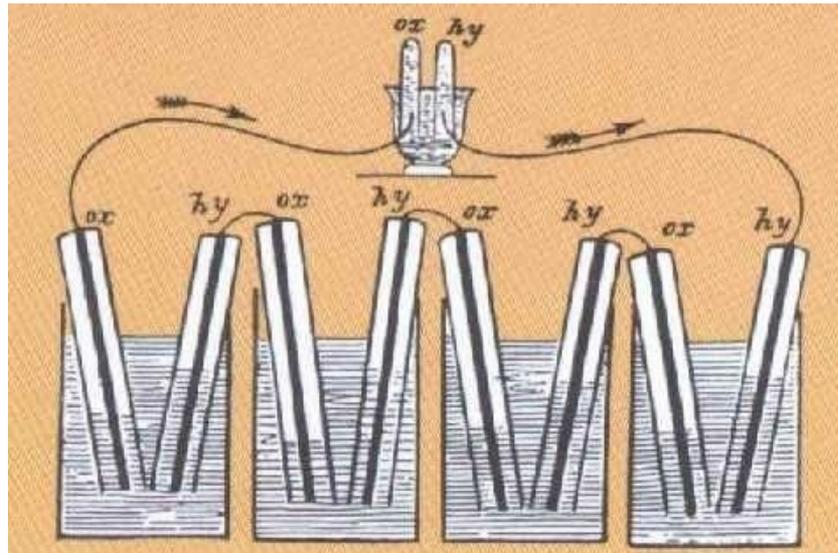


FIGURA 3. Fluxograma da produção de energia do hidrogênio por reforma de biogás
Fonte: Adaptado SORDI *et al.* (2006)

Aplicações energéticas de Células a Hidrogênio

- Aproveitamento do hidrogênio para geração de energia elétrica (máquina elétrica)
- Primeiro trabalho publicado sobre o assunto:
 - Alternating H_2 and O_2 electrodes in a 'gas battery' – W. Grove, *Philos. Mag., Ser. 3, 1839, 14, 127*

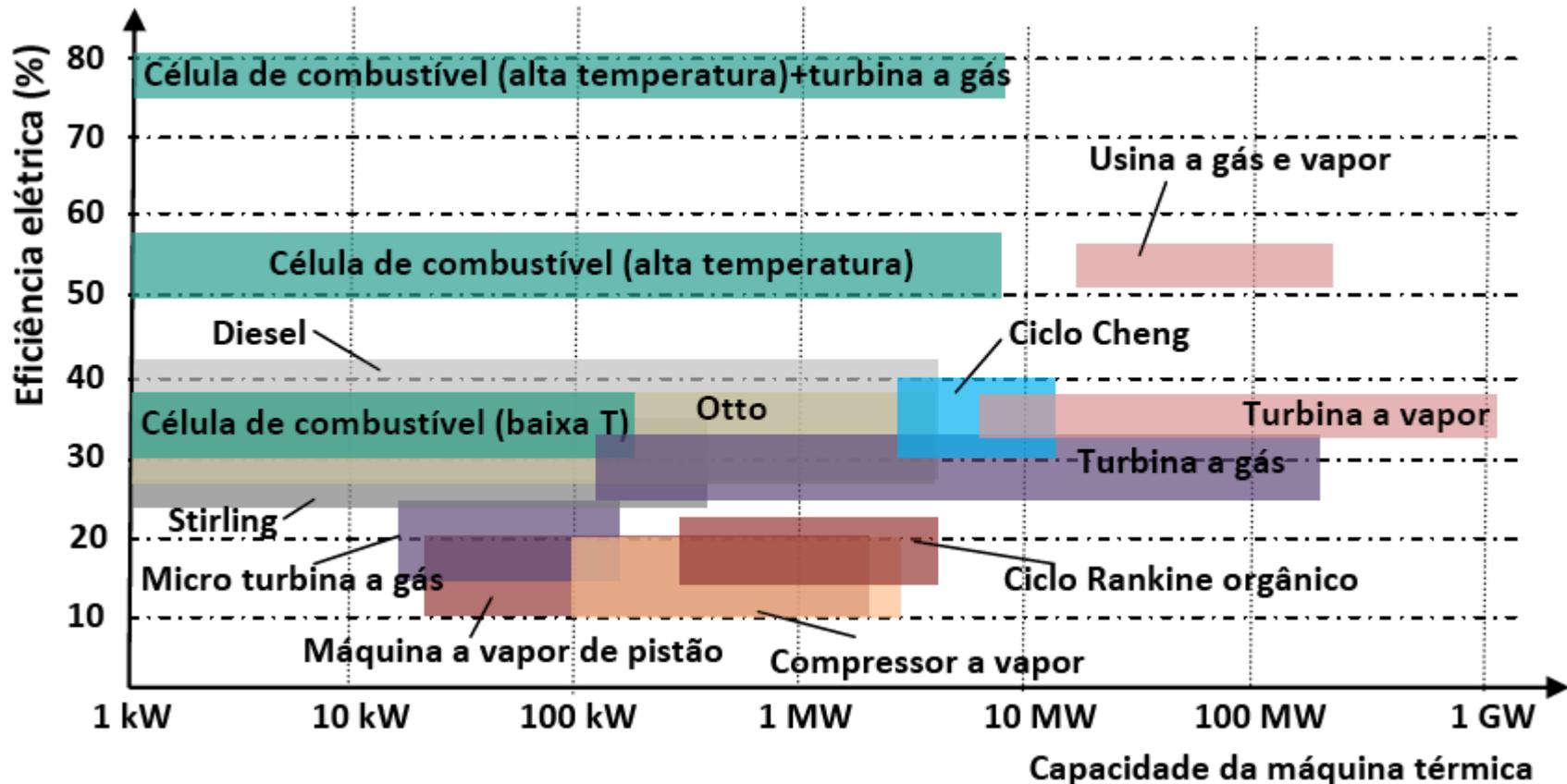


Histórico das aplicações

- 1955-1959: Células de H₂ alcalinas de alta temperatura (Grubb, Niedrach e Bacon)
 - Usadas pela NASA no Programa Apollo para alimentar eletricamente as cápsulas espaciais
 - Potência instalada: ~ 5 kW
- Veículos e outros:
 - D12 – Trator 15 kW (1958)
 - Mini submarino (1964)
 - Golf carts a célula de H₂ (1965)
 - GM EletroVan (1966)
 - Década de 1990: Mazda usa células em seus carros (os mesmos HR-X a H₂) para o sistema de ar condicionado
 - Décadas de 2000 e 2010: uso crescente em veículos, indústria e geração de energia

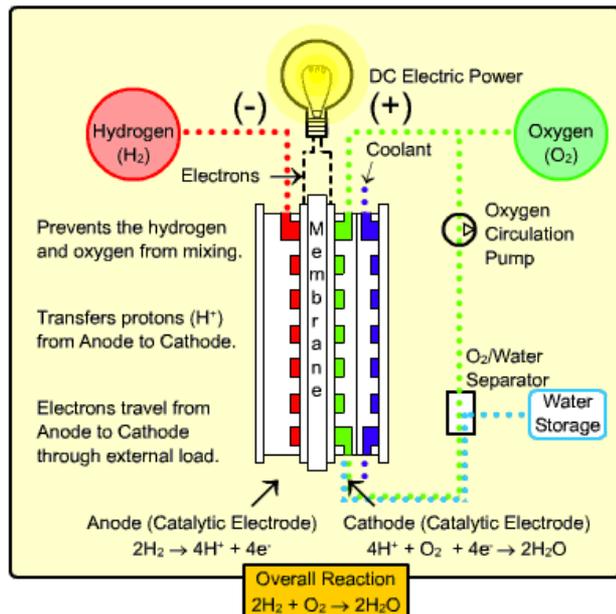


Comparando eficiências de máquinas térmicas vs máquinas elétricas



Física das células de combustível

- Conversão química da energia do H₂ em eletricidade através de uma reação oxidativa

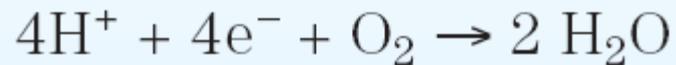


$$W^{\text{rev}} = \left(\sum n_s \bar{g}_s - \sum n_e \bar{g}_e \right) = -\Delta G$$

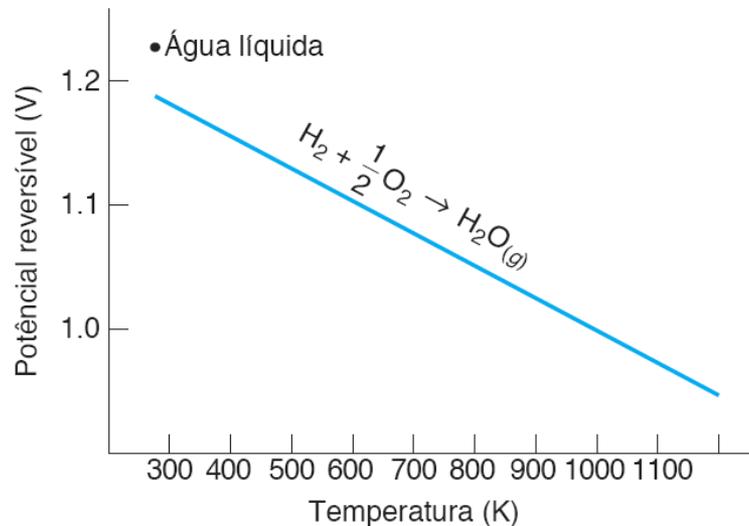
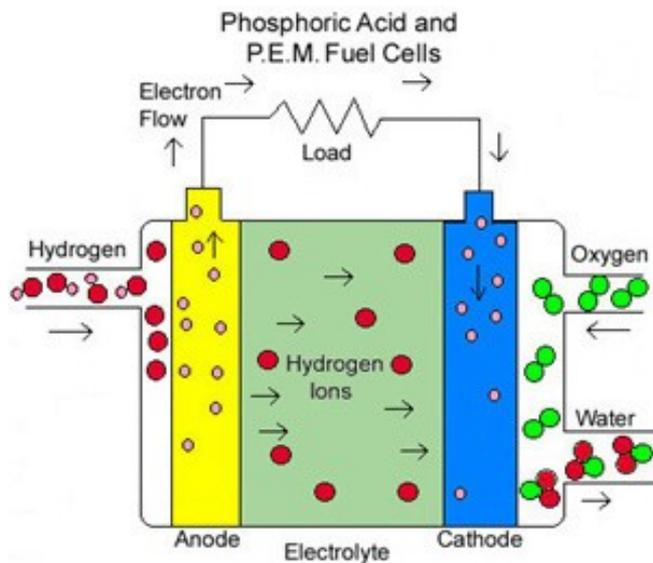
$$W = \mathcal{E} n_e N_0 e$$

$$\mathcal{E}^0 = \frac{-\Delta G}{96\,485 n_e}$$





$$\mathcal{E}^0 = \frac{-(-474\,283)}{96\,485 \times 4} = 1,229 \text{ V}$$

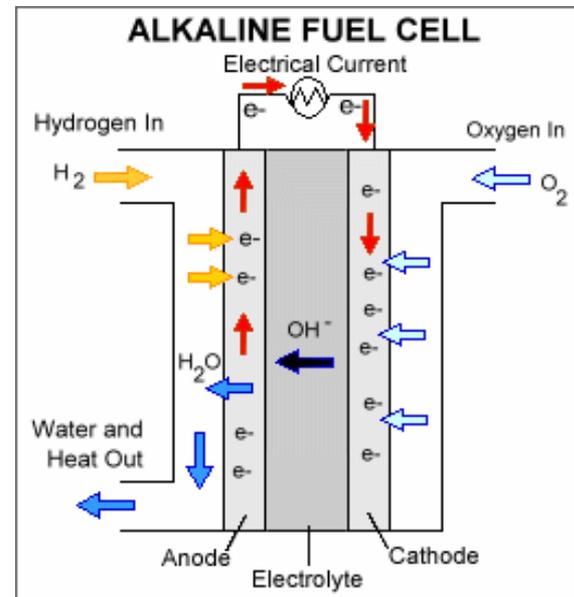
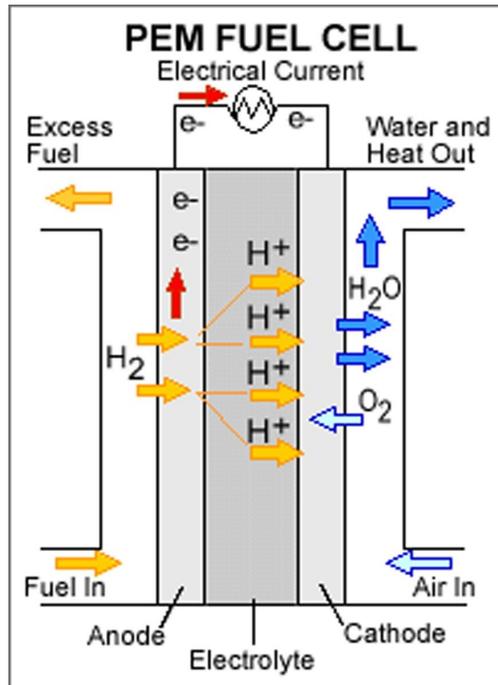


Tipos de células e características

Fuel Cell Type	Common Electrolyte	Operating Temperature	Typical Stack Size	Efficiency	Applications
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)	Perfluoro sulfonic acid	50-100°C 122-212° typically 80°C	< 1kW-100kW	60% transportation 35% stationary	<ul style="list-style-type: none"> • Backup power • Portable power • Distributed generation • Transportation • Specialty vehicles
Alkaline (AFC)	Aqueous solution of potassium hydroxide soaked in a matrix	90-100°C 194-212°F	10-100 kW	60%	<ul style="list-style-type: none"> • Military • Space
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid soaked in a matrix	150-200°C 302-392°F	400 kW 100 kW module	40%	<ul style="list-style-type: none"> • Distributed generation
Molten Carbonate (MCFC)	Solution of lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a matrix	600-700°C 1112-1292°F	300 kW-3 MW 300 kW module	45-50%	<ul style="list-style-type: none"> • Electric utility • Distributed generation
Solid Oxide (SOFC)	Yttria stabilized zirconia	700-1000°C 1202-1832°F	1 kW-2 MW	60%	<ul style="list-style-type: none"> • Auxiliary power • Electric utility • Distributed generation

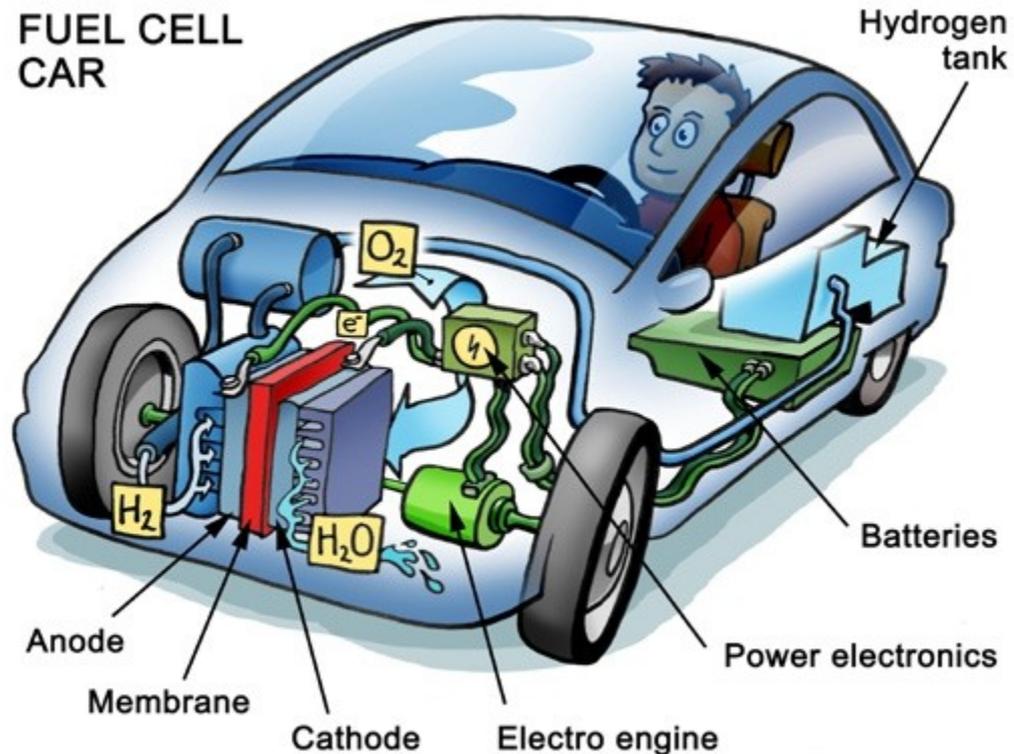


Tipos



Exemplos atuais de utilização

- Geração de energia (60% eficiência)
- Co-geração (até 85% eficiência)
- Veículos elétricos





BNFS FC Lokomotiv
(protótipo)

VW Space Up! Blue
(protótipo)



VOLKSWAGEN SPACE UP! BLUE

www.vortex.com



Toyota FCHV
(protótipo, lançamento 2015)





Honda FCX Clarity
(à venda no Japão e EUA)
134 HP, ~ 115 km/kg, tanque
comporta 4 kg de H₂
Venda sob encomenda

Mercedes Classe B F-Cell
(primeiro automóvel da história
movido a F-Cell produzido em
série, a partir de 2010)
134 HP, autonomia de 402 km
Comercialização em
concessionárias a partir de 2014



Fiat Phylla (protótipo) -- características

O Phylla, desenvolvido pela Fiat em parceria com diversas outras empresas, como o IED (Istituto Europeo di Design), da Itália, tem exatos 2,995 m de comprimento, quatro lugares (2+2, na verdade, com os lugares atrás menores que os da frente) e tração nas quatro rodas. Com potência máxima de 73 cv (54 kW), o Phylla chega a uma velocidade máxima de 130 km/h. Isso porque seu peso é de apenas 750 kg e a relação peso/potência é de 10,2 kg/cv. A recarga total leva no máximo quatro horas, mas meia hora de carga pode garantir uma autonomia de até 80% da máxima.

Como se poderia esperar de um carro que se pretende limpo, o Phylla é inteiramente reciclável e conta com células fotoelétricas espalhadas pela carroceria.

Com baterias de íons de lítio, ele percorre até 145 km; com baterias de polímeros de lítio, a autonomia bate em 220 km, distância suficiente até para pequenas viagens.

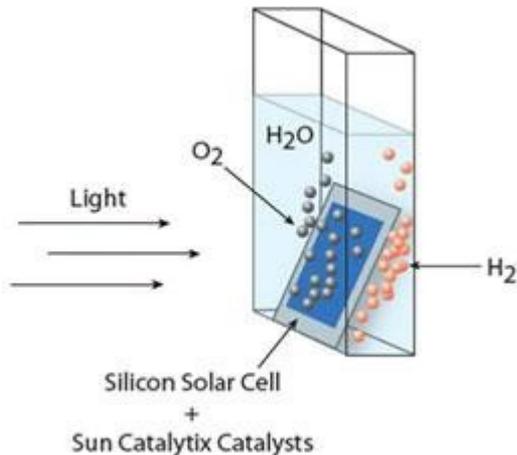
Três tipos de fonte de energia: carregamento externo via rede elétrica + células de hidrogênio + energia solar.



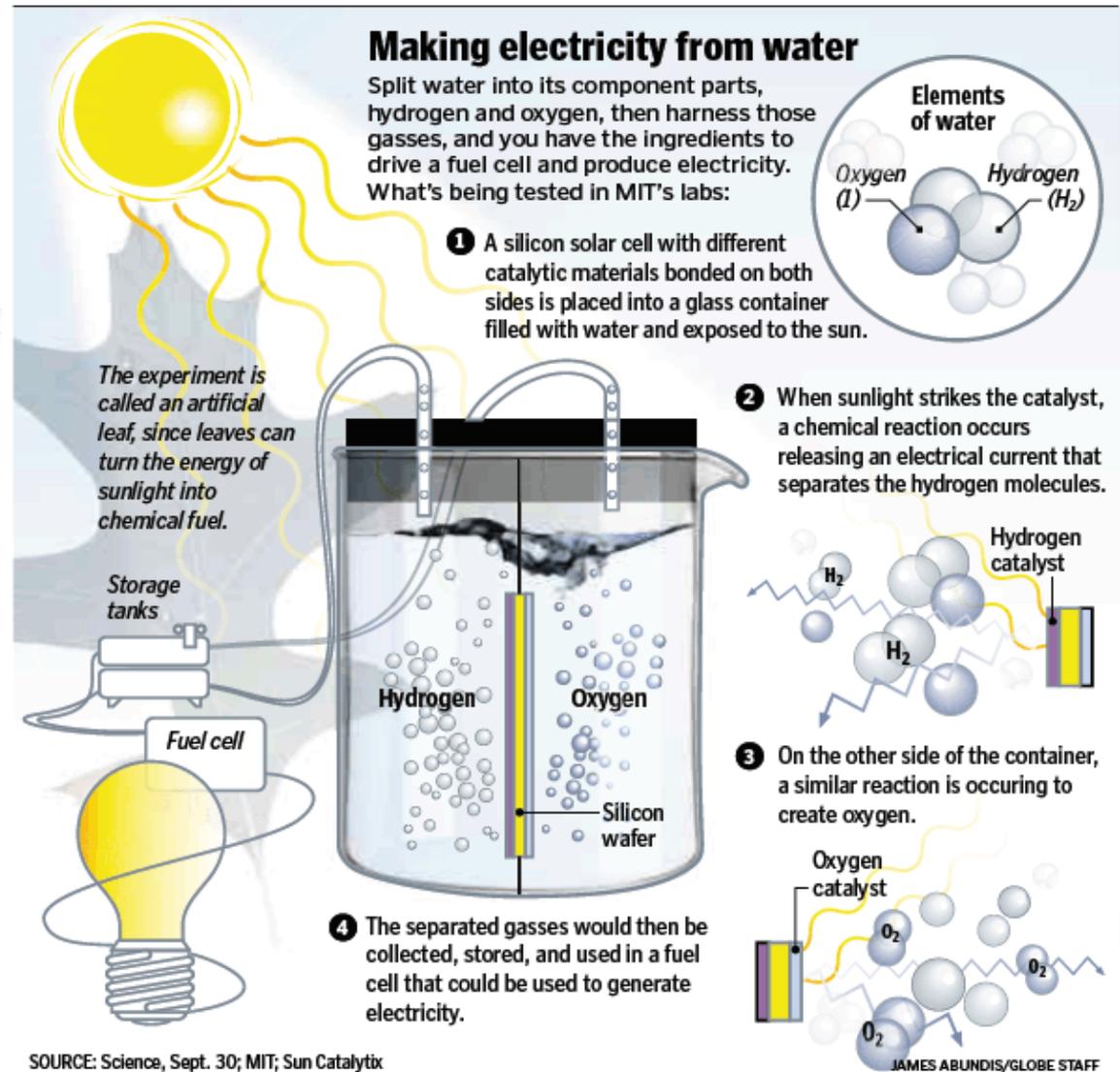
Aproveitamento de energia alternativa →
o que o futuro nos reserva?



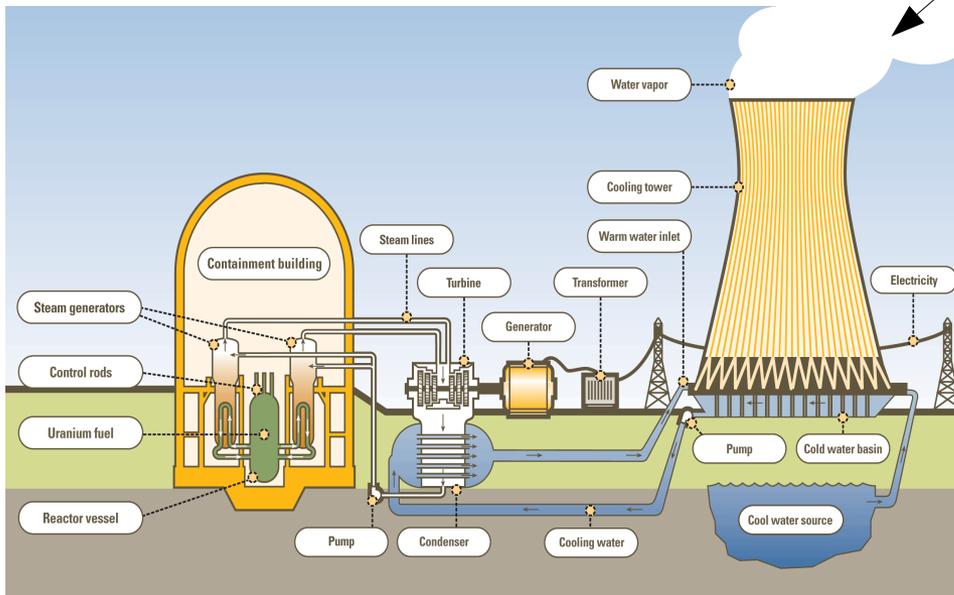
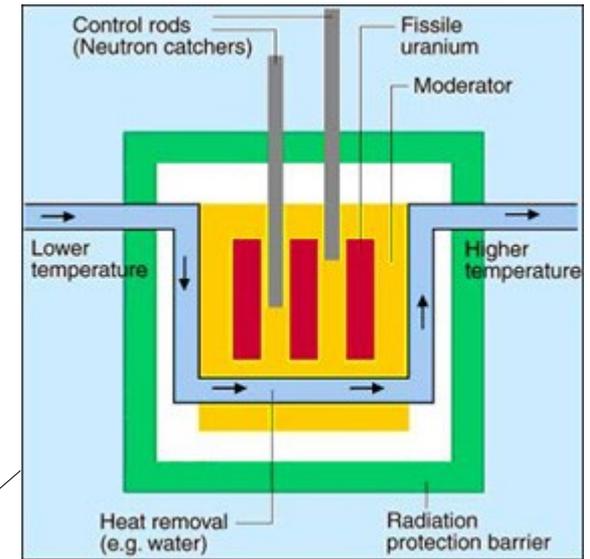
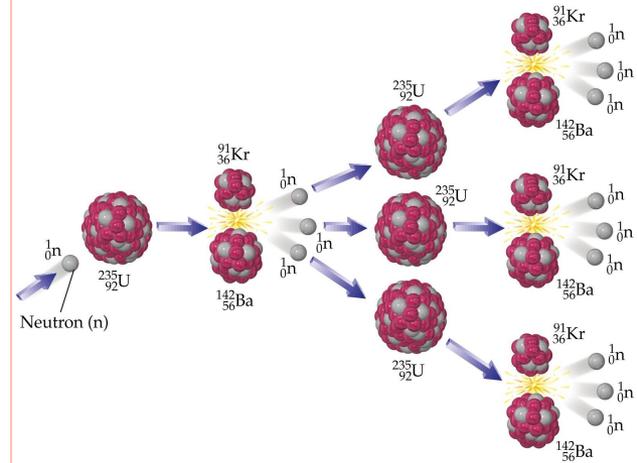
Fotossíntese artificial ?



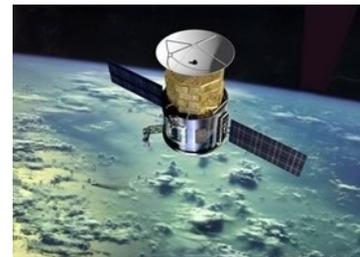
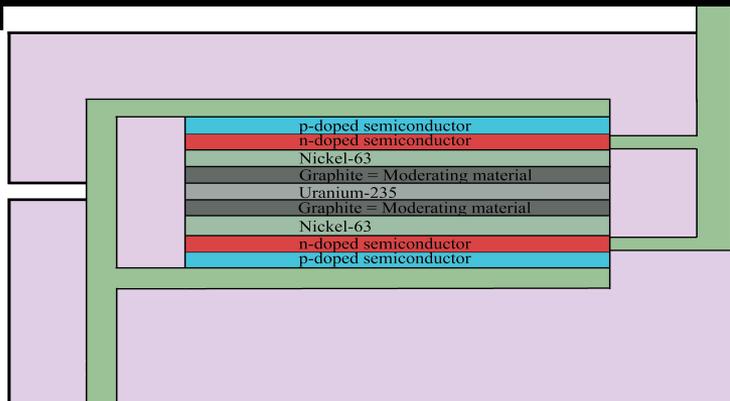
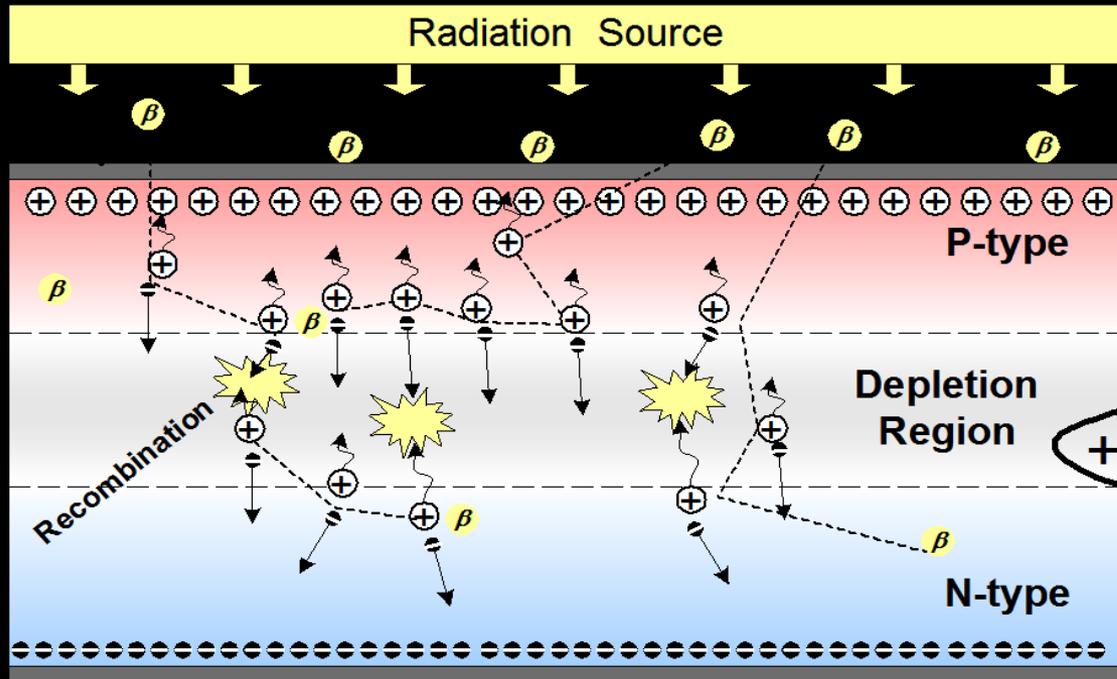
Daniel Nocera
MIT



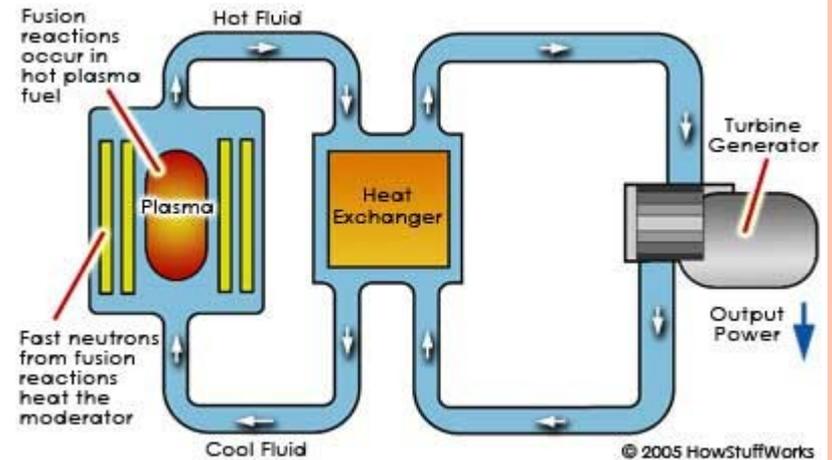
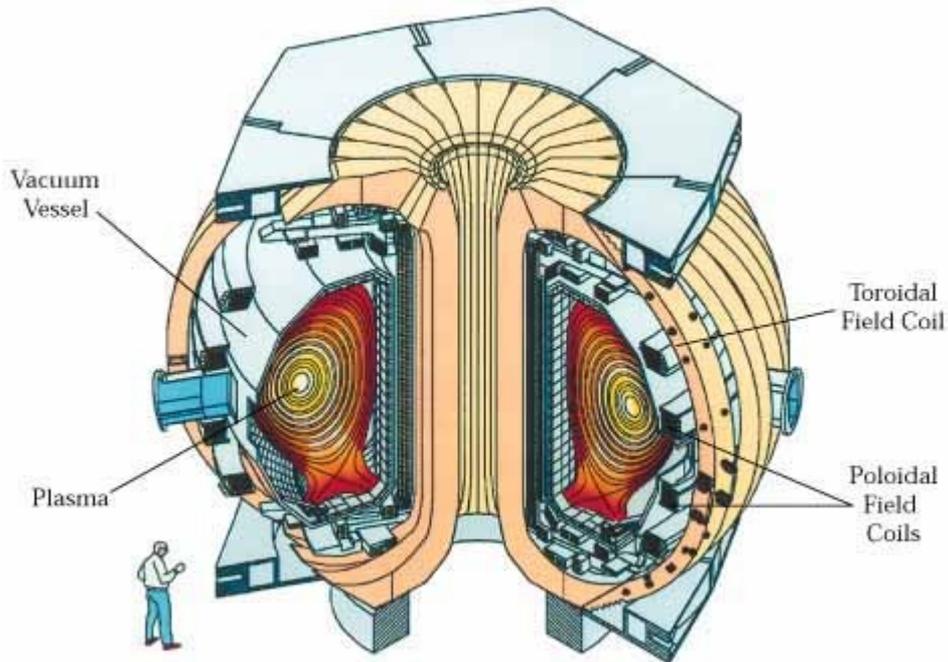
Fissão Nuclear ?



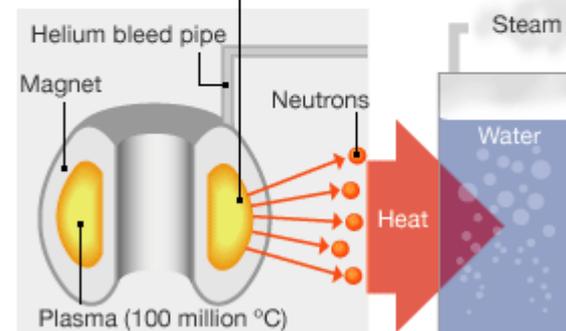
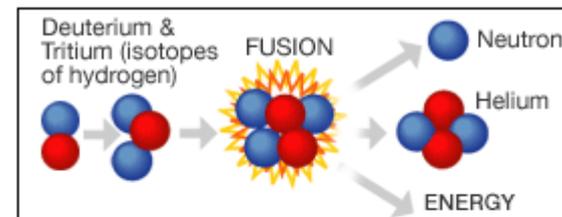
Baterias Nucleares ?



Fusão Nuclear (Tokamak) ?



Nuclear Fusion

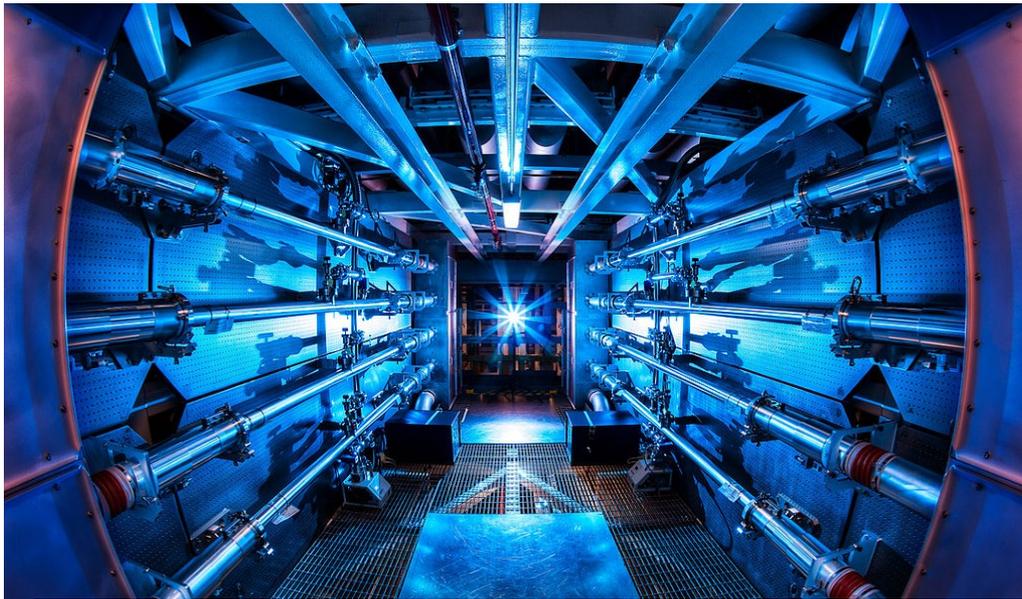


Thermonuclear reactor

Saldo negativo de energia!
Sem contar as perdas,
eficiências de 30 a 40%



Fusão Nuclear (Ignição a Laser) ?



2013 → produção com saldo positivo de energia!

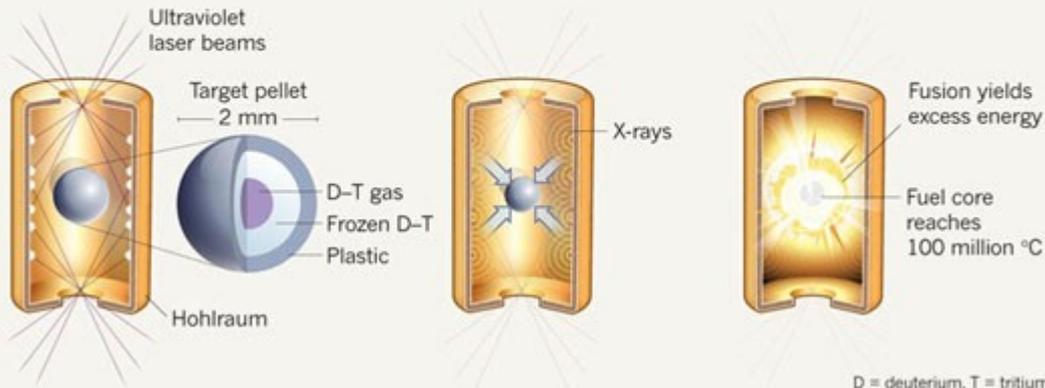
THE NIF'S FUSION STRATEGY

As the NIF's laser beams hit the gold hohlraum capsule (1), they generate X-rays that blast the outer layer of the pellet (2), compressing the hydrogen isotopes until they fuse (3).

1 LASER BEAMS HEAT HOHLRAUM

2 X-RAYS BLAST PELLETT

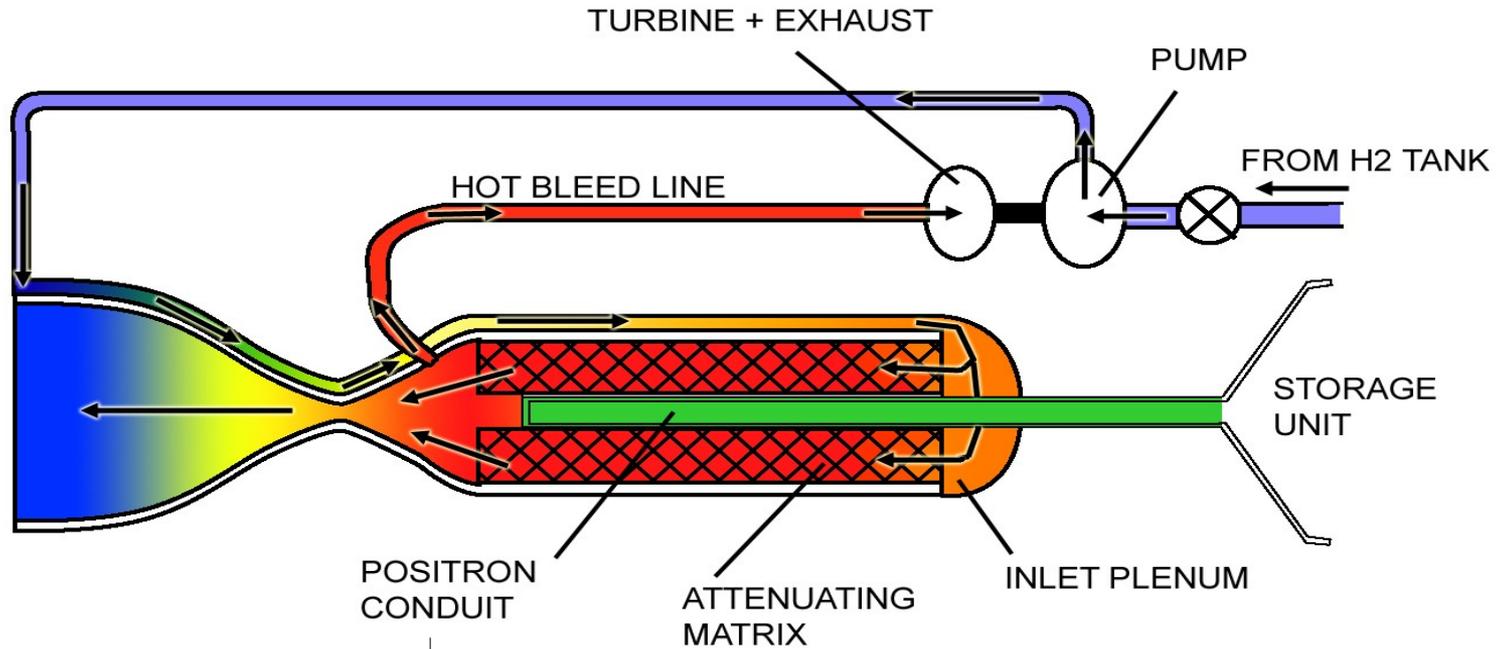
3 IGNITION!



Planta experimental:
2017
200 MW



Divagações Teóricas: Motor a Antimatéria ?

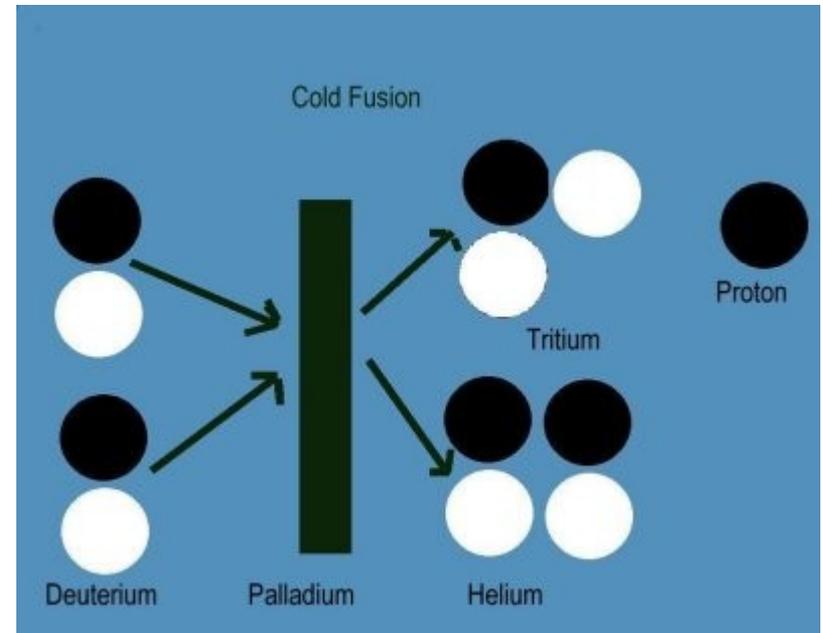
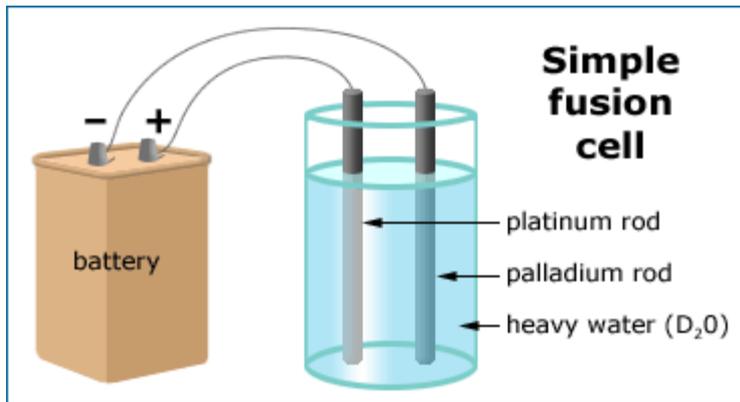


Nasa, 2010

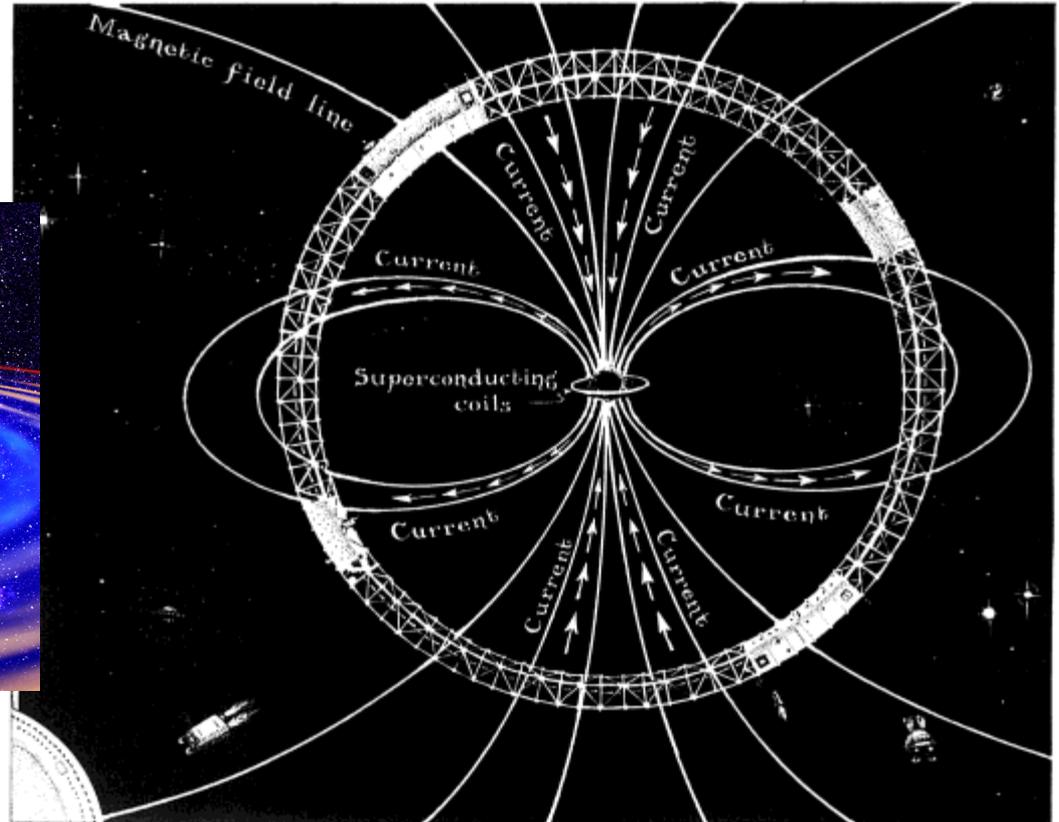
~ 1 g seria capaz de levar
um foguete a Júpiter



Divagações Teóricas: Fusão Nuclear a Frio ?



Divagações Teóricas: Buracos Negros ?



P.6 A city on a girder-work ring around a spinning black hole, and the electromagnetic system by which the city extracts power from the hole's spin.

