

Fontes de energia e poluição

- ▶ Antecedentes
- ▶ Revolução Industrial até a 1ª Guerra Mundial
- ▶ Período entre Guerras até o Século XX
- ▶ A partir do século XX
- ▶ O futuro
- ▶ [Extras]

Disciplina: Física da Poluição do Ar
Professor Henrique Barbosa

Adolfo Forti	(NUSP: 7580140)
Ana Luísa Manciola	(NUSP: 8011553)
Evandro da Silva	(NUSP: 6800181)
Florindo Novaes	(NUSP: 6552741)
Robson Gomes Sobral	(NUSP: 6799868)
Willian Fernandes	(NUSP: 6800261)

Universidade de São Paulo - USP

Setembro/2016

Antecedentes

Os fluxos naturais de energia, que são utilizados há milênios, são conhecidos como fontes renováveis. Antes da Revolução Industrial, o Sol era uma das fontes de energia mais utilizadas. Ele fornecia energia para os músculos (do ser humano e dos animais empregados na tração de cargas e para mover moinhos e máquinas). Além disso, aproveitava-se a força do vento e da água - movidos também pela energia solar. A madeira, sob a forma de carvão, era igualmente utilizada desde a pré-história.

A utilização da força do vento, principalmente para a navegação, deve ter começado em torno do ano 2 000 a.C. O aproveitamento da água, da força hidráulica para mover moinhos, iniciou-se em torno do século II a.C. A partir do ano 1 000 d.C., ocorre a exploração mais intensa do carvão mineral (a hulha, inicialmente). A partir de 1 700 surgem importantes inovações, ligadas à Revolução Industrial: a invenção da máquina a vapor foi seu acontecimento mais importante no que se refere às fontes de energia.

Antecedentes

Na [Roma Antiga](#), a poluição era geralmente encontrada em cidades pré-industriais, onde as pessoas queimavam madeira e trabalhavam em artesanato e indústria. Já no [século V a.C.](#), [Hipócrates](#) observa o efeito dos alimentos, da ocupação e, sobretudo, do clima nas doenças, escrevendo o livro *Ar, água e lugares*, onde fala da importância do clima, as diferentes propriedades do ar em função de diferentes ventos e da [qualidade do ar](#) e da água.

Posteriormente, outra referência surge em [61 a.C.](#), através de [Sêneca](#), que afirma: "*mal deixei o ar pesado de [Roma](#) para trás e o mau cheiro do fumo das [chaminés](#) ... que derramam vapor pestilento e fuligem... senti uma alteração do meu humor*". Em 1257, a Rainha [Leonor de Provença](#) é forçada a deixar o [Castelo de Nottingham](#) devido a faltas de ar causadas pelos intensos fumos de [carvão](#).

Antecedentes

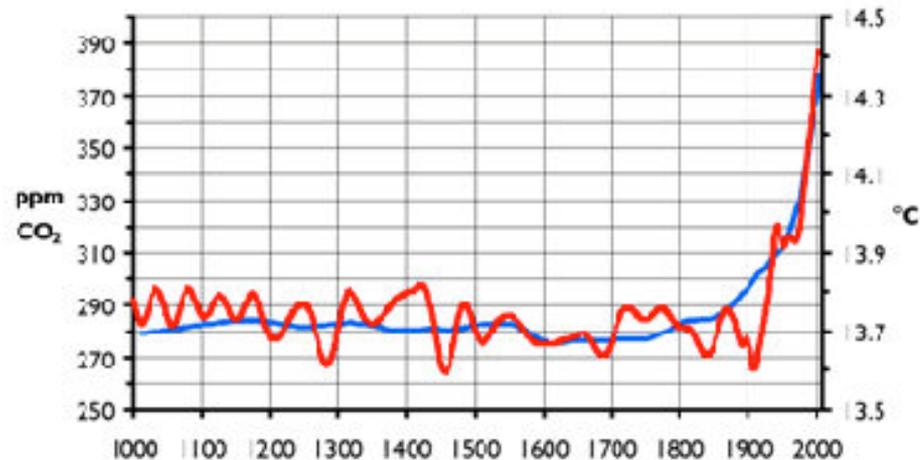
Mais tarde, em 1558 A [Rainha Isabel I de Inglaterra e Escócia](#) proibiu a queima de [carvão](#) durante as Sessões do Parlamento por ser alérgica aos fumos libertados.

No século seguinte, em 1661, [John Evelyn](#) escreve "*Fumifugium, or the Inconveniencie of the Aer and the Smoake of London Dissipated*", onde retrata o nível de poluição que afetava a [capital inglesa](#), e propunha medidas mitigadoras, como limitar o uso de [carvão](#), realocar as indústrias, desenvolver novos combustíveis ou mesmo plantar corredores verdes ao longo da cidade

Contudo, os problemas persistiram e com a [revolução industrial](#) um novo fôlego ocorreu no campo da poluição atmosférica. De facto, a combustão de [carvão](#) aumentou mais de 100 vezes no século XIX na [Grã-Bretanha](#), tendo sido tentado por inúmeras vezes estabelecer critérios de emissões poluentes.

Antecedentes

- Já no [século XVIII](#), nos [Estados Unidos](#) surgem as primeiras leis municipais que visam reduzir a poluição atmosférica de fábricas, [ferrovias](#) e [navios](#).
- Em 1896, o químico [Sueco Svante August Arrhenius](#) desenvolve um estudo sobre os efeitos do [dióxido de carbono](#) na [atmosfera](#), prevendo um aumento da [temperatura global](#) na ordem dos 12 [°C](#) caso se duplique a concentração de CO₂ no trabalho "*On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.*"



Revolução Industrial até Primeira Guerra

Cessa primazia da energia biológica, instaura-se o domínio das energias fósseis.

1769 - James Watt patenteia sua máquina mais eficiente (**Máquina a vapor**)

1859 - Primeiro poço de **petróleo** na Pensilvânia-EUA

1898 - Início da comercialização de motores **diesel** (rendimento ~30%)

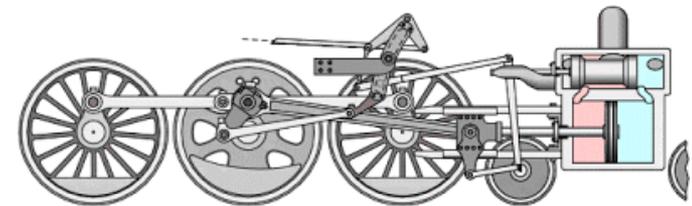
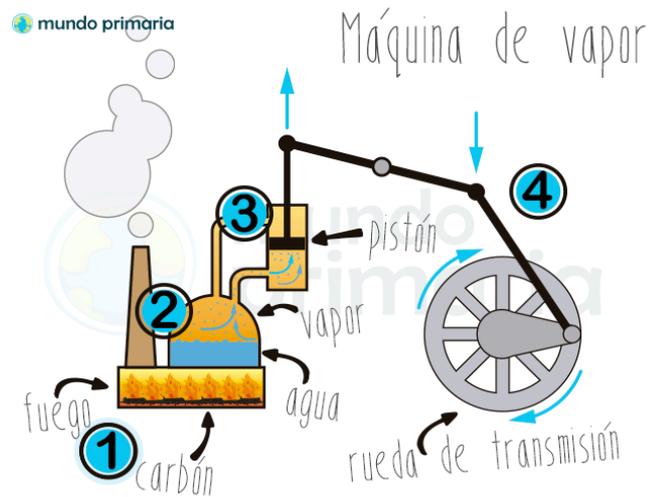
1962 - Petróleo ultrapassou o uso do carvão mineral

1802 - Inglaterra passa a instalar iluminação a **gás**

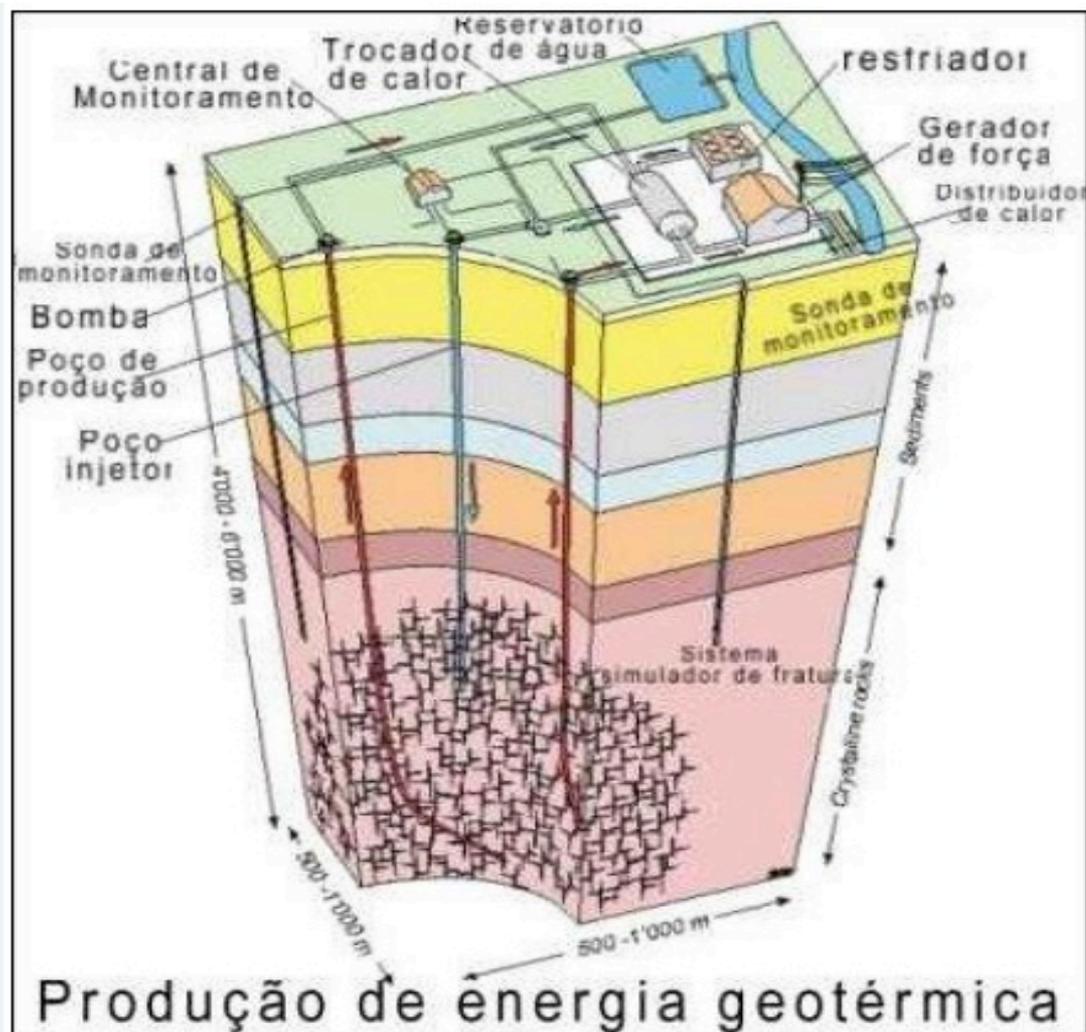
1878 - Thomas Edison inventa a lâmpada; Primeira ferrovia eletrificada

1894 - Tesla inventa alternadores polifásicos, desenvolvendo em seguida os motores a corrente alternada

mundo primaria



Energia Geotérmica



Nas camadas profundas da crosta terrestre existe um alto nível de calor. Em algumas regiões, a temperatura pode superar 5.000°C . As usinas podem utilizar este calor para acionar turbinas elétricas e gerar energia. Ainda é pouco utilizada.

- 70% dos gases recondensam ao passar por um condensador, mas gases como CO_2 , NO , SO_2 e H_2S não se condensam na presença de água, então eles vão para a atmosfera.
- Sistemas binários: utilizam também compostos orgânicos

Revolução Industrial até Primeira Guerra

Energia Geotérmica

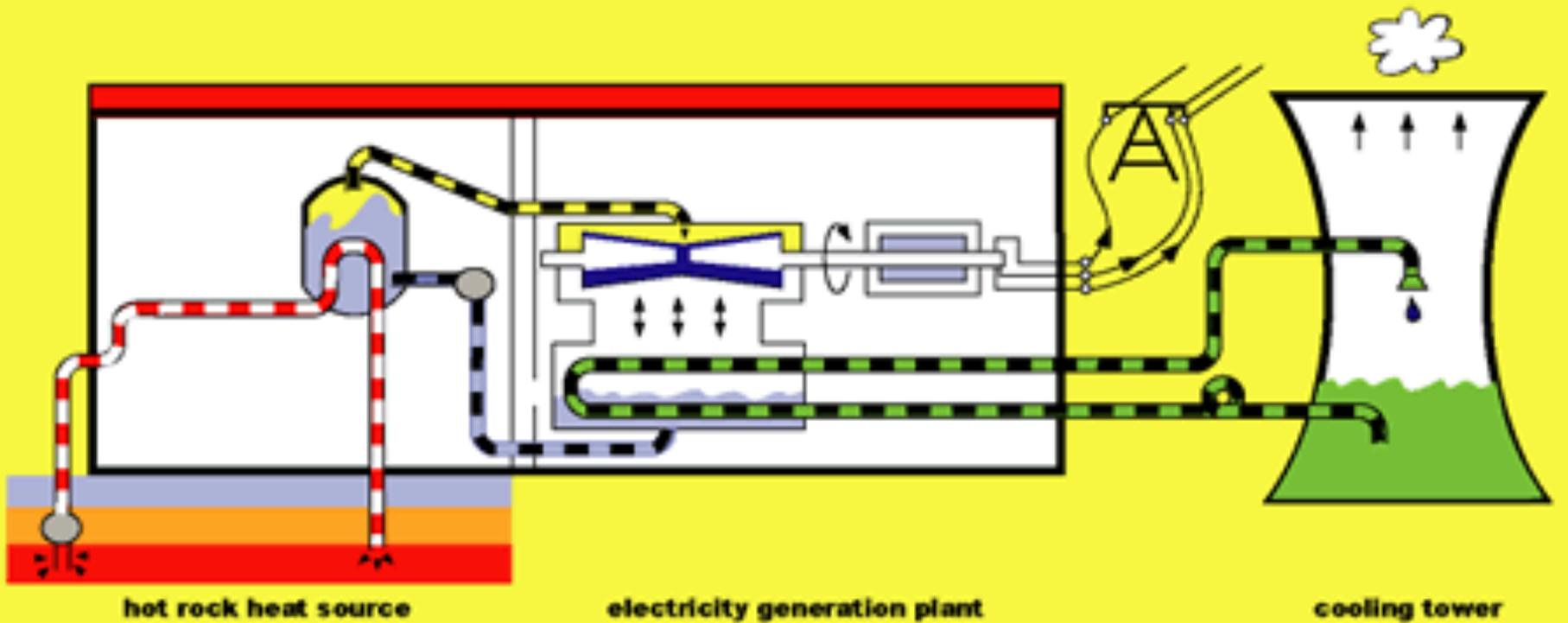
A primeira produção de energia geotérmica ocorreu em 1904 me Lardarello na Itália.

Em 1950 começou a exploração no campo de gases de Wairakei, Nova Zelândia.

Divisão do uso direto da energia geotérmica

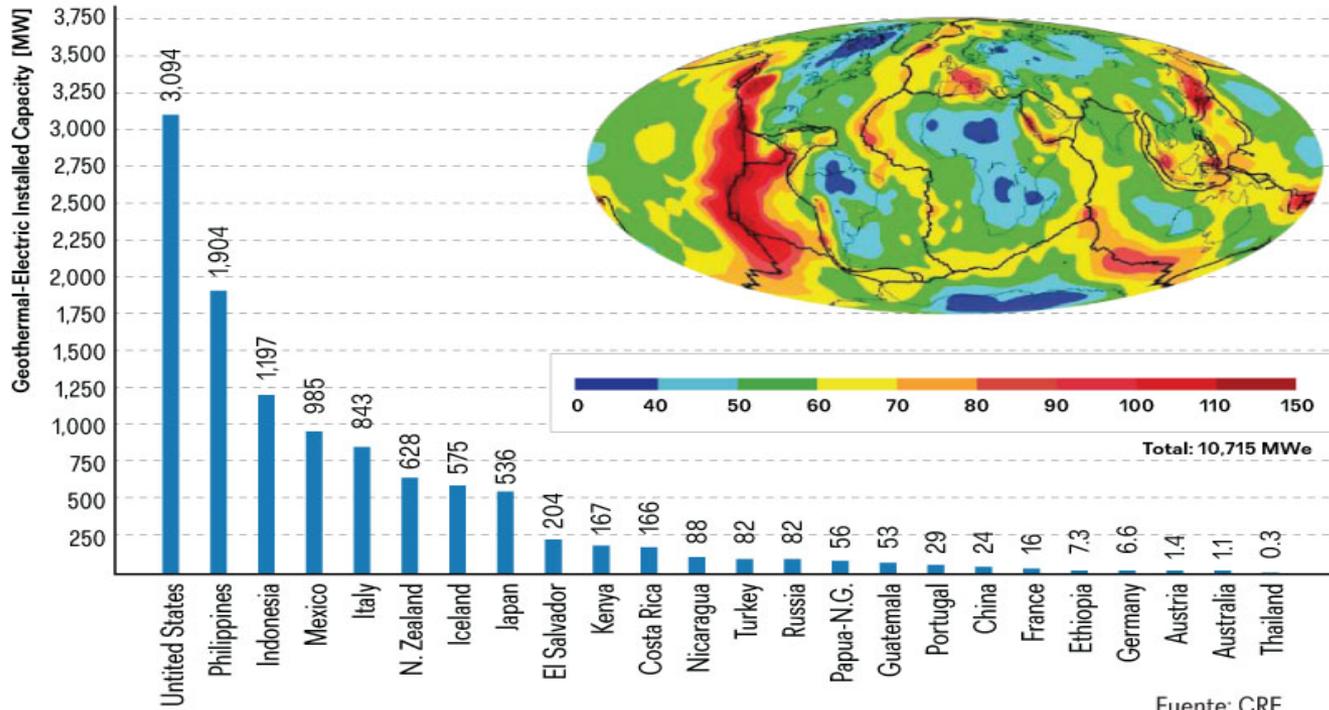
Calefação ambiental	33%
Banhos termais	15%
Aquicultura	13%
Estufas	12%
Ar condicionado	12%
Indústria	11%
Secagem	1%
Outros	3%

Sistema Geotérmico



Utilização da Energia Geotérmica no Mundo

Potencia geotérmica mundial instalada, enero 2011



Fuente: CRE

Impacto ambiental

Impacto	Probabilidade de ocorrência	Gravidade das consequências
Poluição do ar	Baixa	Moderada
Poluição das águas superficiais	Moderada	Moderada
Poluição subterrânea	Baixa	Moderada
Aluimento de terras	Baixa	Baixa a Moderada
Altos níveis de ruído	Alta	Baixa a Moderada
Explosão	Baixa	Baixa a Moderada
Conflitos com características culturais e arqueológicas	Baixa a Moderada	Moderada a Alta
Problemas sócio-econômicos	Baixa	Baixa
Poluição química ou térmica	Baixa	Moderada a Alta
Disposição de resíduos sólidos	Moderada	Moderada a Alta

Custos para produção de energia

Sistema	Custo atual da energia (U\$¢ / kWh)	Custo potencial futuro da energia (U\$¢ / kWh)	Custo de investimento turnkey (U\$ / kW)
Biomassa	5 – 15	4 – 10	900 – 3000
Geotérmica	2 – 10	1 – 8	800 – 3000
Eólica	5 – 13	3 – 10	1100 – 1700
Solar (fotovoltaica)	25 – 125	5 – 25	5000 – 10000
Solar (eletricidade térmica)	12 – 18	4 – 10	3000 – 4000
Marés	8 – 15	8 - 15	1700 – 2500

Energia Nuclear

USINA	CARVÃO	NUCLEAR
Capacidade Instalada	2 x 650 MWe	1300 MWe
Combustível	antracita	Urânio Enriquecido
Consumo Anual de Combustível	2,8 milhões de toneladas	32t U Enriquecido ou (170t U Natural)
Utilização de terra para mineração e rejeitos	415 ha	5 ha
Espaço para estocagem de combustível	25 ha (reserva de 2 meses)	alguns m2 somente
Necessidade de transporte de combustível	33.000 vagões por ano	5 caminhões por ano
Emissão de CO2, de SO2 e de NOX	8.500.000t CO2/a 12.000t SO2/a 6.000t NOx/a	0
Rejeitos anuais	220.000t cinzas/a 120.000t cinzas volantes	rejeito de alta radioatividade contido
	70.000t enxofre/a 130.000t gesso/a	em um cubo de 1,5m de lado





Chernobyl Antes





Chernobyl – após o acidente

Energia Eólica

Rendimento

Limites teóricos:

O aproveitamento máximo teórico é de aproximadamente 59%. Para uma aplicação real, este coeficiente é da ordem de 30% a 40% no máximo.

$$D_p = \frac{P_{dis}}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Dens. de potência, proporcional à área das pás

$$P_{betz} = 0,5 \rho A v^3 \frac{16}{27}$$

Potência de Betz

- Para uma velocidade entre $7-8,5 \text{ms}^{-1}$, com uma turbina de 5MW, 126m de diâmetro e tempo de vida de 30 anos, tem-se uma taxa de emissões de $2.8-7.4 \text{ g CO}_2 \text{e kWh}^{-1}$. Para menos de 20 anos: $4.2-11.1 \text{ g CO}_2 \text{e kWh}^{-1}$. [30 anos é mais realista: turbinas de 1970 ainda operam hoje]
- OBS: precisam evitar rotas de migração dos pássaros.

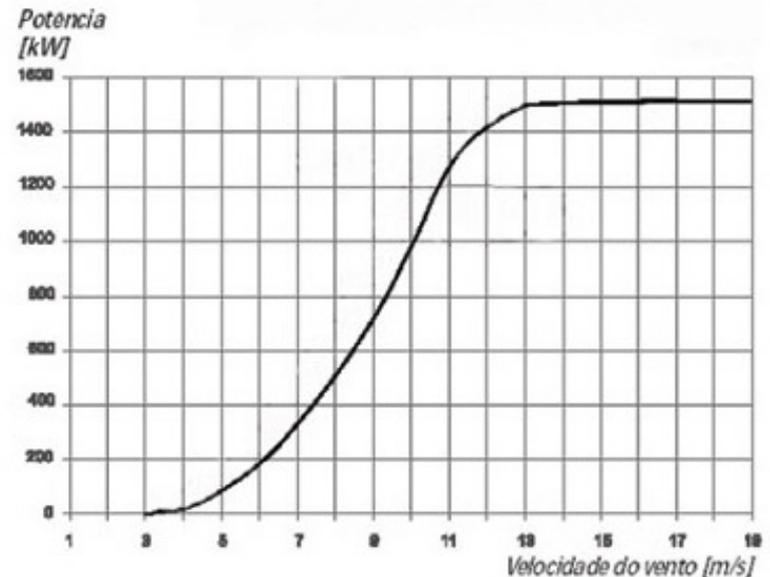
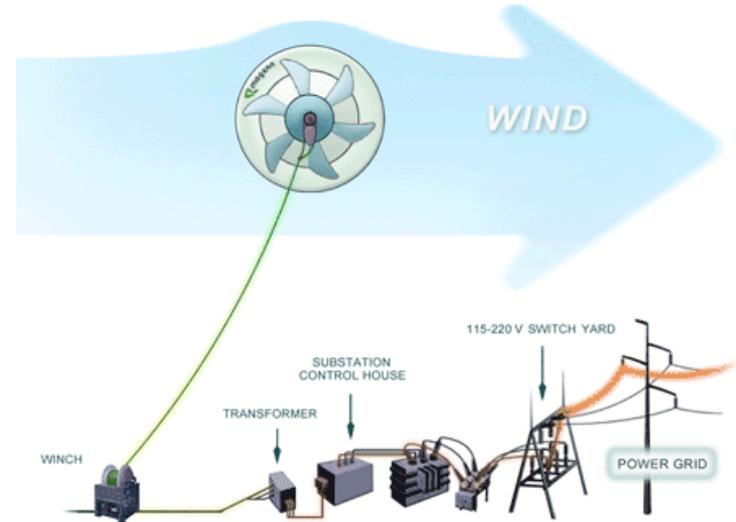
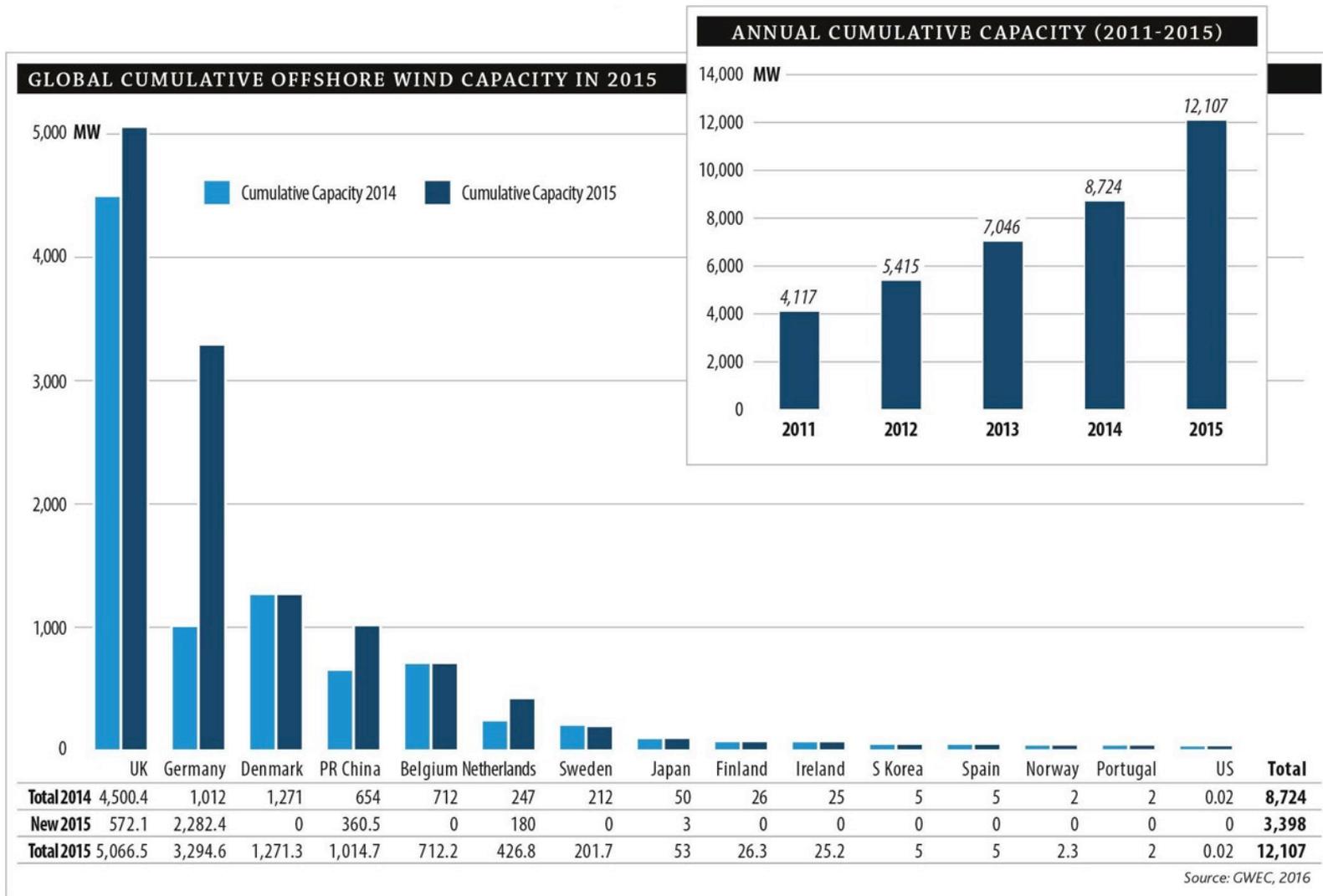
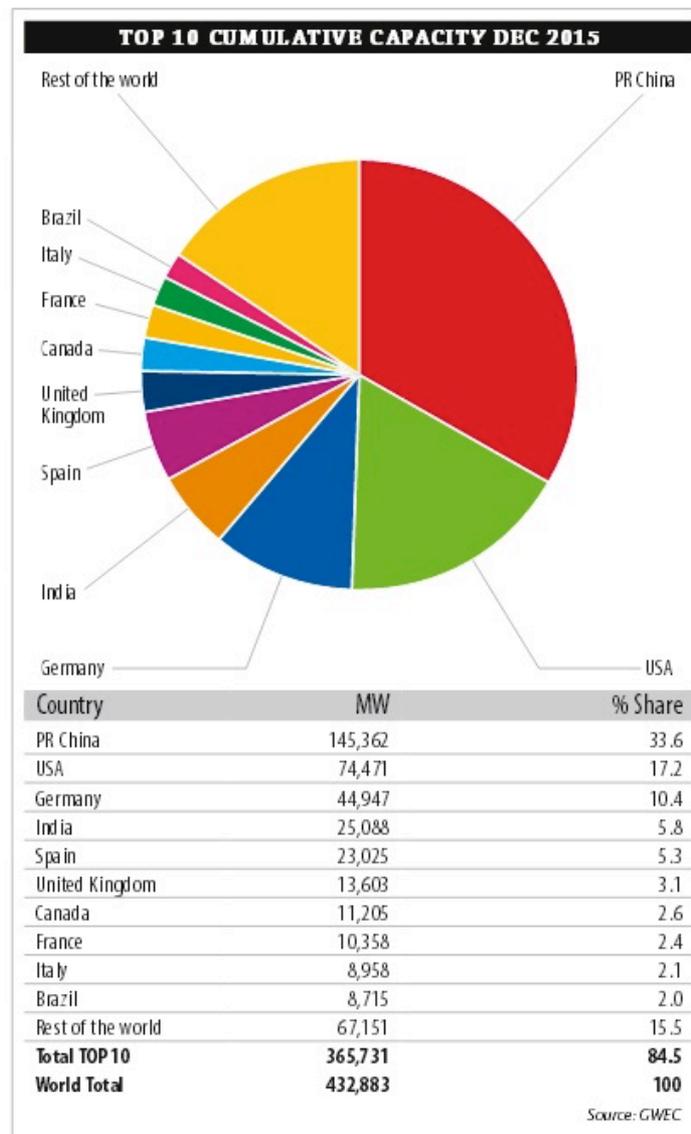
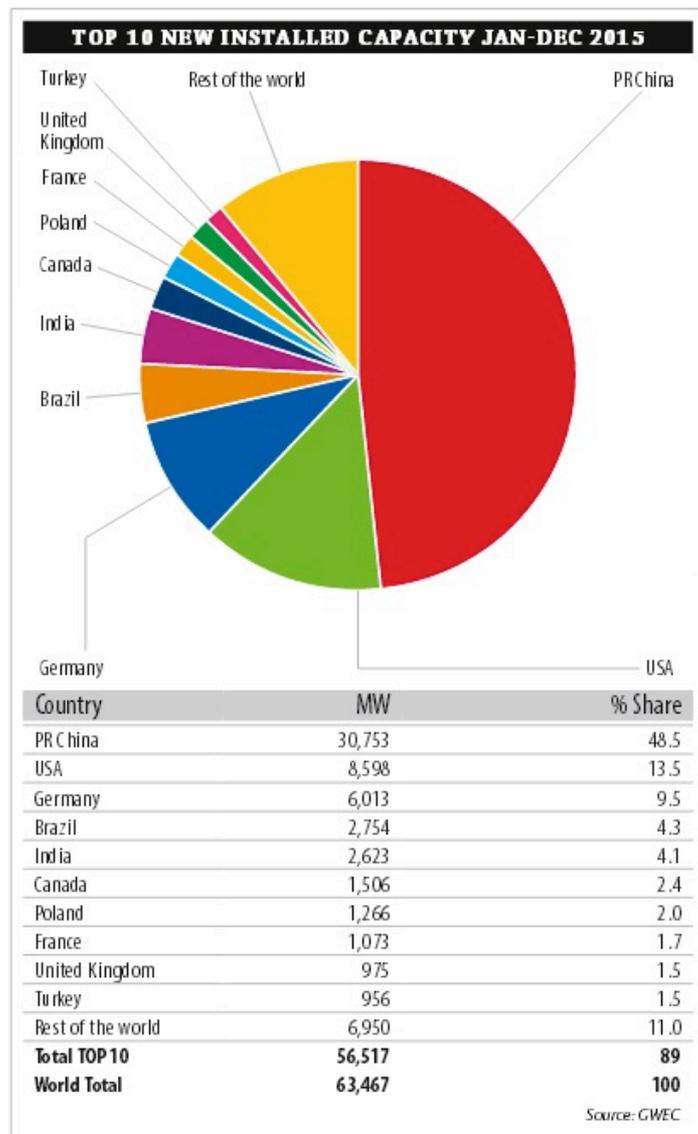


Figura 1 - Curva de rendimento de uma turbina eólica de potência 1,5MW e 70m de altura.

Energia Eólica

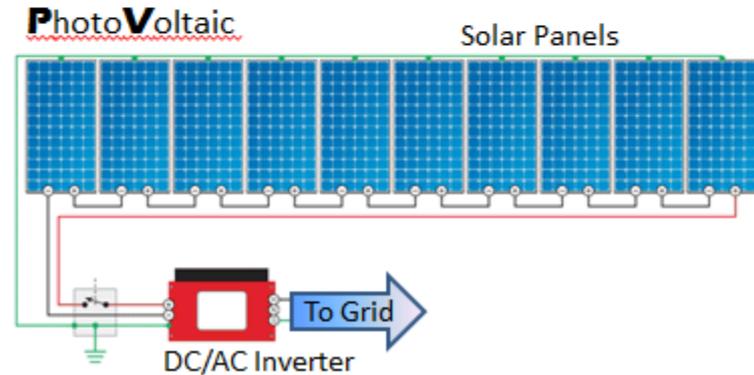
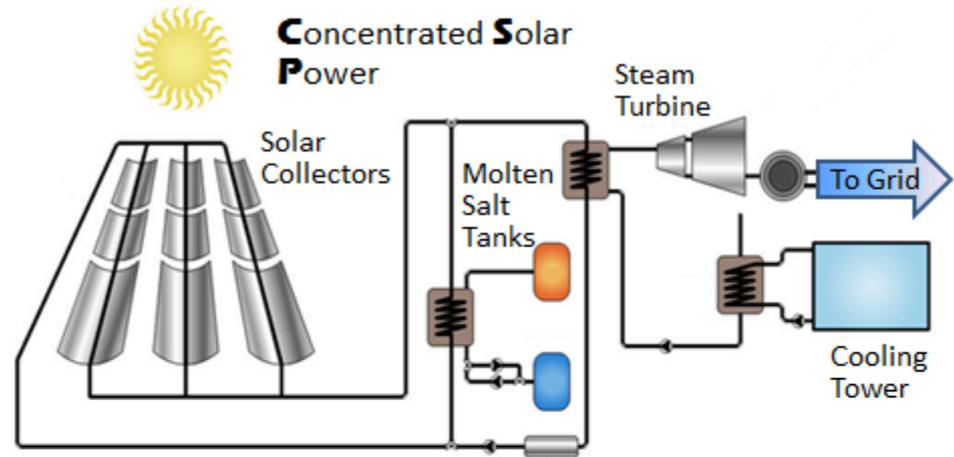


Energía Eólica



Energia Solar

- 1) Placas solares fotovoltaicas (PV)
 - 2) Energia solar concentrada (CSP)
- Globalmente (available): SPV 1700 TW (14 900 PWh yr⁻¹) e CSP 9250–11 800 PWh yr⁻¹
 - O CSP é o segundo menor emissor de gases estufa entre as energias: 8.5–11.3 g CO₂e kWh⁻¹
 - Enquanto a PV: 19-59 g CO₂e kWh⁻¹ (entre 1 e 3,5 anos)
 - Há uma grande diferença entre produção industrial e residencial
 - Maior parte das emissões de poluentes estão na produção do equipamento.
 - Alto custo para a eficiência dos equipamentos



Energia Hidrelétrica

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis – que envolvem tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório – são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados. Por isso, ao contrário do que ocorre com as usinas termelétricas (cujas instalações são mais simples), para a construção de uma hidrelétrica é imprescindível a contratação da chamada indústria da construção pesada.

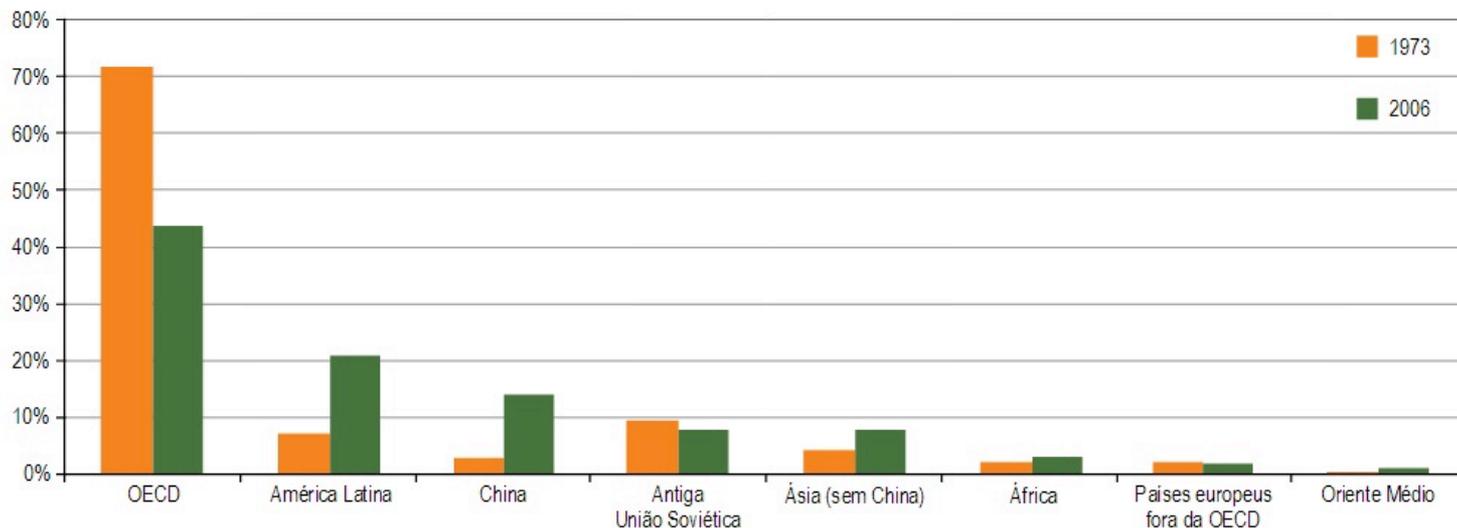


Gráfico 3.3 - Participação relativa da hidreletricidade no mundo.

Fonte: IEA, 2008.

OCDE significa Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico. É uma organização internacional, composta por 34 países e com sede em Paris, França. A OCDE tem por objetivo promover políticas que visem o desenvolvimento econômico e o bem-estar social de pessoas por todo o mundo.

Energia Hidrelétrica

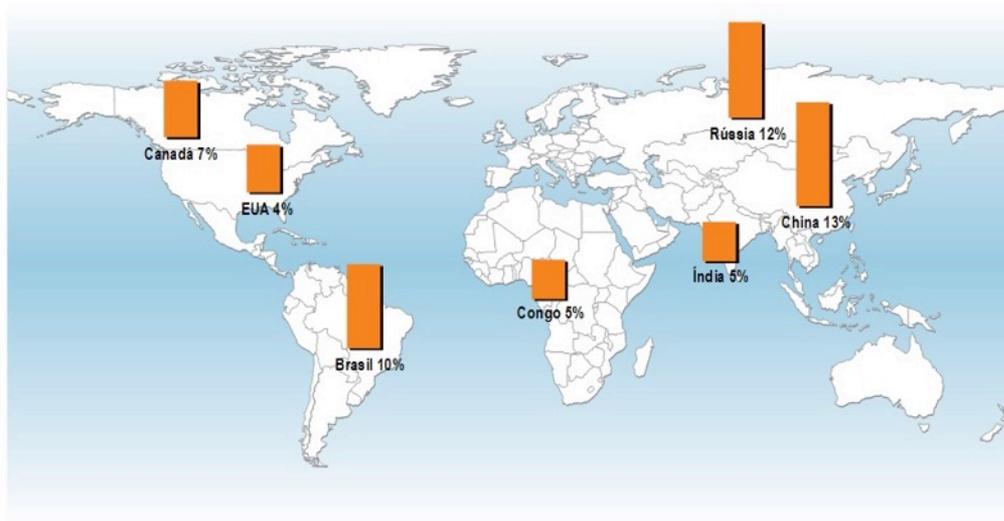


Figura 3.1 - Principais potenciais hidrelétricos tecnicamente aproveitáveis no mundo.

Fonte: EPE, 2007.

17,4% da energia produzida atualmente no mundo

A maior parte da poluição causada pelas hidrelétricas está na construção: sendo que elas têm vida útil de 50-100 anos, elas produzem uma taxa de 17–22 g CO₂e kWh⁻¹. A produção de CO₂ e CH₄ é maior na decomposição da matéria orgânica (Varia de acordo com a latitude e região)

Tabela 3.3 - Participação da hidreletricidade na produção total de energia elétrica em 2006

	País	%
1º	Noruega	98,5
2º	Brasil	83,2
3º	Venezuela	72,0
4º	Canadá	58,0
5º	Suécia	43,1
6º	Rússia	17,6
7º	Índia	15,3
8º	China	15,2
9º	Japão	8,7
10º	Estados Unidos	7,4
	Outros países	14,3
	Mundo	16,4

Fonte: IEA, 2008.

Energia Hidrelétrica

Outros Impactos Ambientais



- **Alagamento de uma grande região**
- **Danos a fauna e flora**
- **Realocamento de populações locais**
- **Produzem quantidades consideráveis de metano, gás carbônico e óxido nítrico, gases que provocam o chamado efeito estufa.**

Energia Hidrelétrica

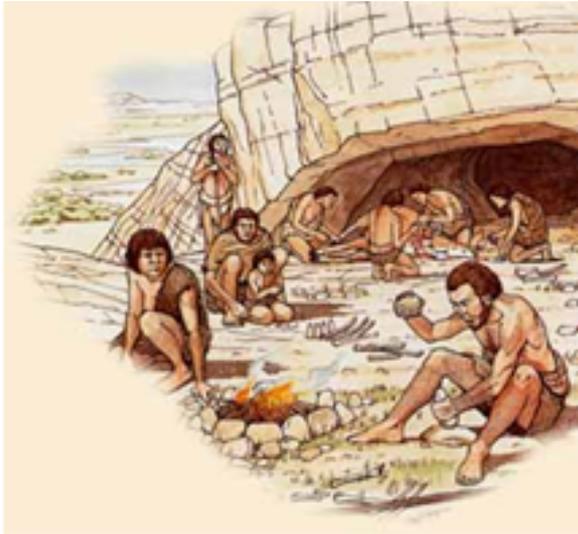
Fonte			Capacidade Instalada			Total		
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	(KW)	%	Nº de Usinas	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	396	10.771.760	6,9054	414	10.884.615	6,9777
		Biogás-AGR	3	1.822	0,0011			
		Capim Elefante	3	65.700	0,0421			
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0290			
	Biocombustíveis líquidos	Óleos vegetais	2	4.350	0,0027	2	4.350	0,0027
	Floresta	Carvão Vegetal	8	54.097	0,0346	88	2.833.673	1,8165
		Gás de Alto Forno - Biomassa	10	114.265	0,0732			
		Lenha	2	14.650	0,0093			
		Licor Negro	17	2.261.136	1,4495			
		Resíduos Florestais	51	389.525	0,2497			
	Resíduos animais	Biogás - RA	10	1.924	0,0012	10	1.924	0,0012
Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	15	113.246	0,0725	15	113.246	0,0725	
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	385	9.393.830	6,0220	385	9.393.830	6,0220
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	1	24.400	0,0156	23	3.612.995	2,3161
		Carvão Mineral	13	3.389.465	2,1728			
		Gás de Alto Forno - CM	9	199.130	0,1276			
	Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0256	152	13.032.038	8,3543
		Gás Natural	151	12.992.038	8,3287			
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0944	1	147.300	0,0944
	Petróleo	Gás de Refinaria	7	339.960	0,2179	2217	10.036.211	6,4338
		Óleo Combustível	40	4.055.973	2,6001			
		Óleo Diesel	2153	4.684.350	3,0029			
		Outros Energéticos de Petróleo	17	955.928	0,6128			
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	1228	95.747.039	61,380	1228	95.747.039	61,380
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,2757	2	1.990.000	1,2757
Solar	Radiação solar	Radiação solar	40	22.962	0,0147	40	22.962	0,0147
Importação	Paraguai			5.650.000	3,6220			5,2375
	Argentina			2.250.000	1,4423			
	Venezuela			200.000	0,1282			
	Uruguai			70.000	0,0448			
Total			4577	155.990.183	100	4577	155.990.183	100

Dados referentes a 2016

Potência(%)

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

Carvão Mineral



Período da Pedra Lascada



Revolução Industrial

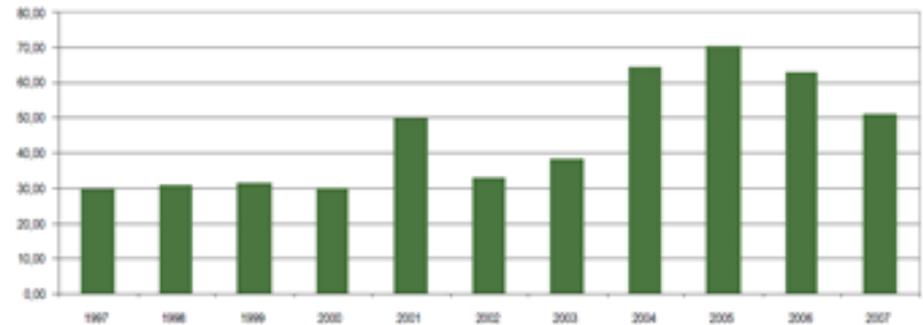
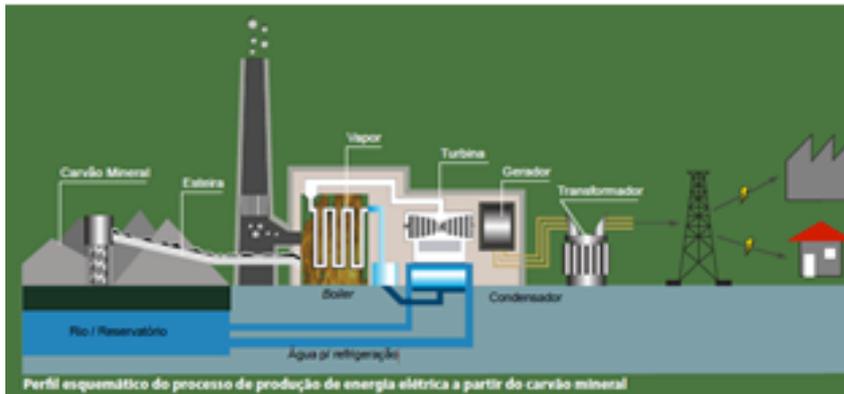


Gráfico 9.1 Preço da tonelada de carvão nos Estados Unidos em US\$ nos últimos anos.

Fonte: BP 2008

Custo de compra da Matéria Prima

Carvão Mineral

Quando o carvão é queimado, os elementos contidos nele são volatilizados e emitidos para a atmosfera juntamente com a parte inorgânica que é liberada sob a forma de partículas de pó (cinzas)

Principais Partículas:

- CO, CO₂, CH₄, NO, gases com enxofre.

40% do CO₂ gerado no mundo tem como origem a queima do carvão mineral



Recuperação de área degradada

Eficiência energética:

Processo Simples: 30 a 45%

Processo Combinado: 42 a 58%

Processo Co-geração: 42 a 80%

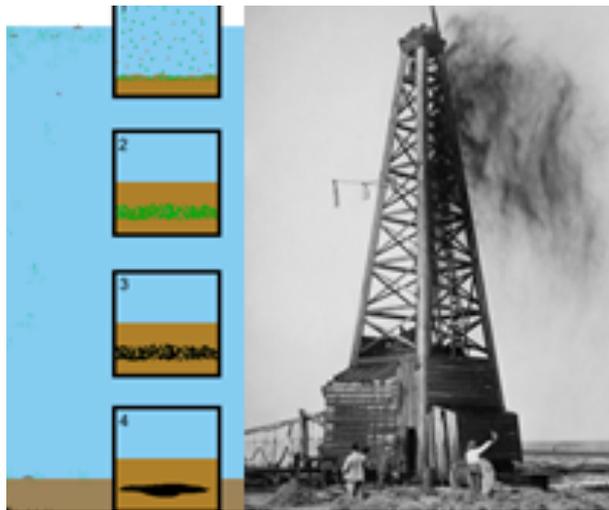
Carvão Mineral

Pais	Mtep	%
China	1289,6	41,1
Estados Unidos	587,2	18,7
Austrália	215,4	6,9
Índia	181,0	5,8
África do Sul	151,8	4,8
Rússia	148,2	4,7
Indonésia	107,5	3,4
Polónia	62,3	2,0
Alemanha	51,5	1,6

Pais	Mtep	%
1ª China	1311,4	41,3
2ª Estados Unidos	573,7	18,1
3ª Índia	208,0	6,5
4ª Japão	125,3	3,9
5ª África do Sul	97,7	3,1
6ª Rússia	94,5	3,0
7ª Alemanha	86,0	2,7
8ª Coreia do Sul	59,7	1,9
9ª Polónia	57,1	1,8

Petróleo

O petróleo é um combustível fóssil, originado de restos de vida aquática animal (fitoplâncton) acumulados no fundo de oceanos primitivos e cobertos por sedimentos.



Os egípcios utilizavam o petróleo como um dos elementos para o embalsamento de seus mortos, além de empregarem o betume na união dos gigantescos blocos de rochas das pirâmides

Petróleo



A humanidade conhece o petróleo desde a antiguidade, mas foi somente depois da Segunda Revolução Industrial, quando se inventou o motor a explosão, que o petróleo começou a ser utilizado em grande escala.

Além de predominante no setor de transportes, o petróleo ainda é o principal responsável pela geração de energia elétrica em diversos países do mundo. Apesar da expansão recente da hidroeletricidade e da diversificação das fontes de geração de energia elétrica verificadas nas últimas décadas, o petróleo ainda é responsável por aproximadamente 7,2% de toda a eletricidade gerada no mundo.



Poluentes gerados:

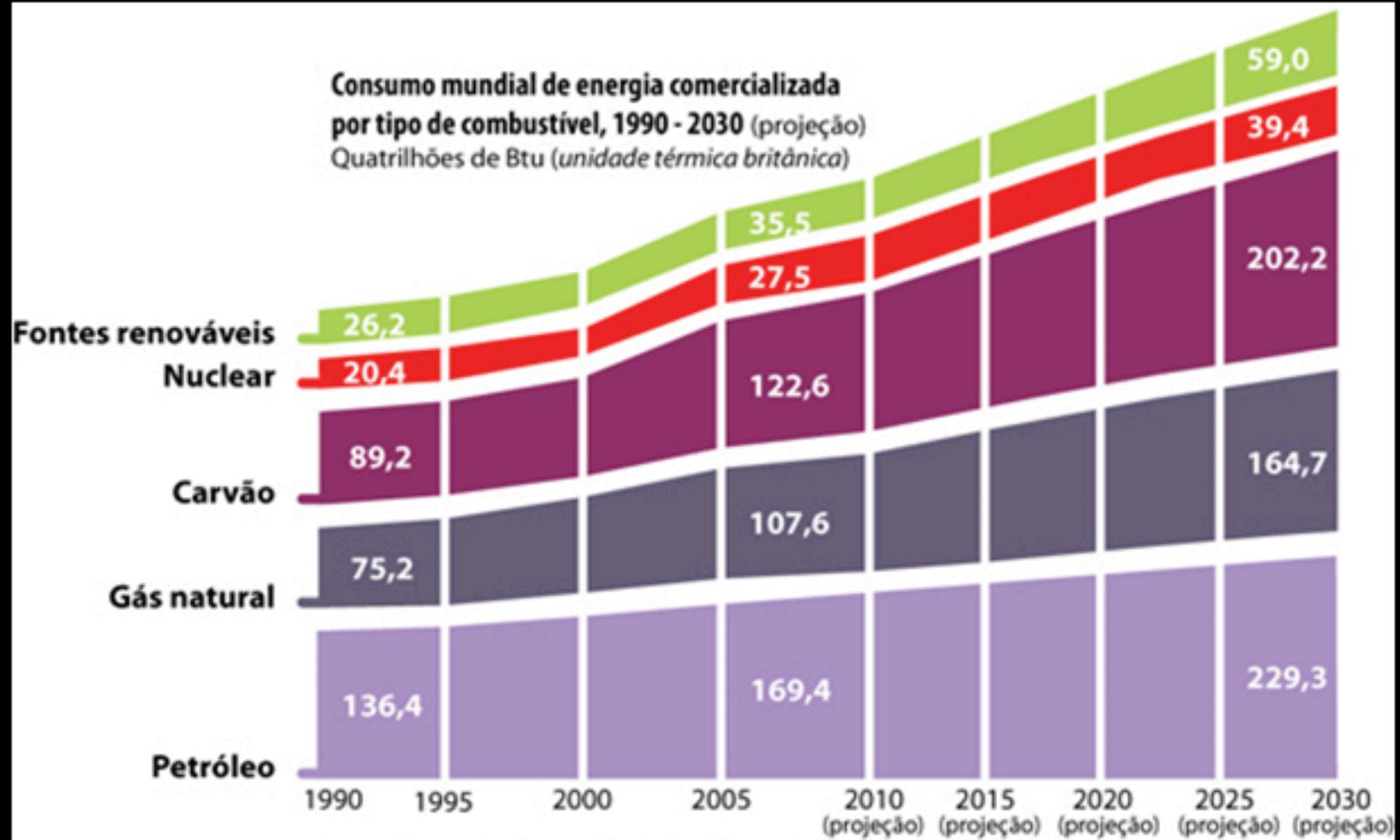
- Apesar de sua eficácia para a geração de energia, o petróleo é extremamente prejudicial ao meio ambiente, pois durante sua combustão ocorre a liberação de gases poluentes, com destaque para óxido nitroso (N₂), dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). Esses gases provocam a poluição atmosférica e intensificam o efeito estufa. Além desses problemas, a exploração de petróleo em plataformas marítimas também pode causar a poluição hídrica, através de vazamentos, como o que ocorreu no Golfo do México.



Porque usar petróleo ?



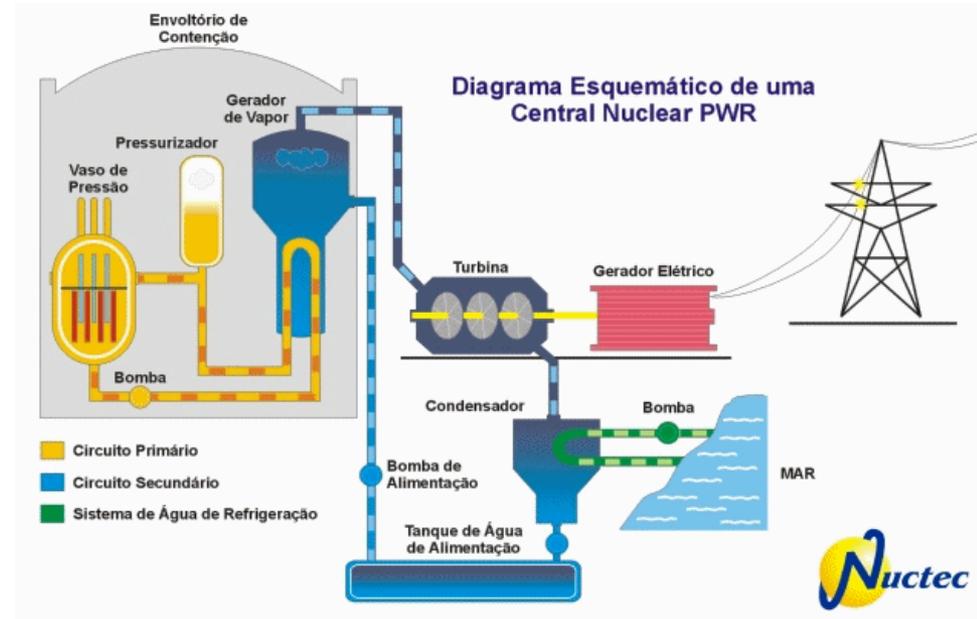
**Consumo mundial de energia comercializada
por tipo de combustível, 1990 - 2030 (projeção)**
Quatrilhões de Btu (*unidade térmica britânica*)



Fonte: Energy Information Administration. ____ Dossiê Terra, 2009, p. 84-85.

Energia Nuclear

- 439 usinas em 31 países diferentes
- Produção atual comporta a disponibilidade de jazidas (90~300 anos)
- Há poluentes nas etapas de:
 - Construção e manutenção das usinas
 - Mineração do urânio
 - Enriquecimento do urânio
 - Transporte entre a mineração e o enriquecimento
 - We estimate the lifecycle emissions of new nuclear power plants as 9–70 g CO₂e kW/h , with the lower number from an industry estimate and the upper number slightly above the average of 66 g CO₂e kW/h. [6]
 - Terrorismo - “0 to 4.1 g CO₂ kW/h“



Obs: normalmente, as usinas ficam numa área litorânea por causa do refrigeração. Isso restringe a área a ser utilizada (problemas para larga escala(?))

O futuro

Ao longo do tempo, o homem modificou a qualidade de vida utilizando principalmente a tecnologia ao seu favor e isso implica num maior consumo de energia.

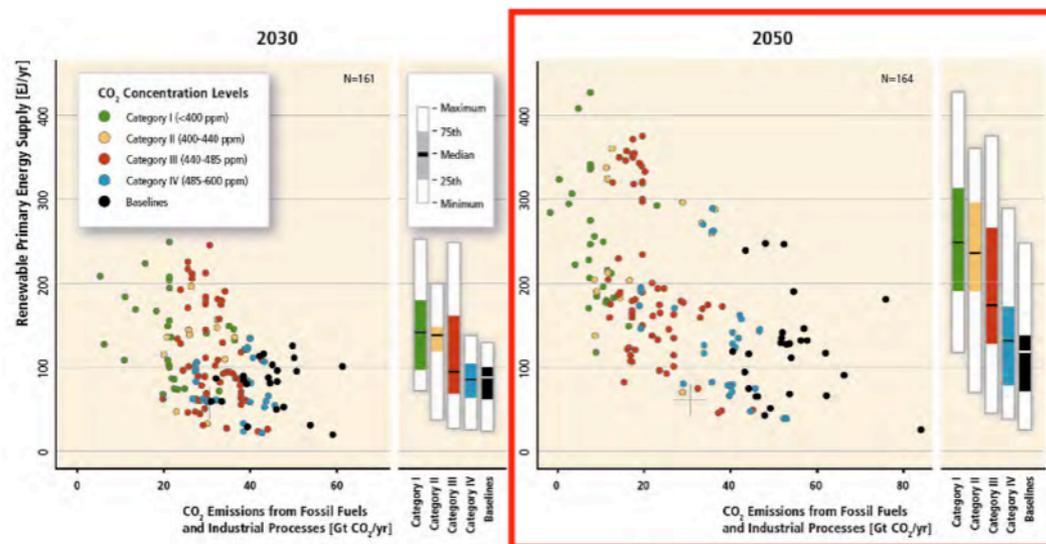
Miller (1985): relacionou desenvolvimento e consumo de energia:

- Antes do fogo: 2.000kcal/dia
- Primeiros grupos humanos a caçar: 5.000kcal/dia
- Com agricultura+cozimento+tração animal: 12.000kcal/dia
- Durante a Revolução Industrial: 60.000kcal/dia
- Atualmente: 125.000kcal/dia

“The average rich-nation citizen used 7.4 kilowatts (kW) of energy in 1990—a continuous flow of energy equivalent to that powering 74 100-watt lightbulbs. The average citizen of a poor nation, by contrast, used only 1 kW. There were 1.2 billion people in the rich nations, so their total environmental impact, as measured by energy use, was 1.2 billion x 7.4 kW, or 8.9 terawatts (TW)—8.9 trillion watts. Some 4.1 billion people lived in poor nations in 1990, hence their total impact (at 1 kW a head) was 4.1 TW.”

(INTERNATIONAL CONFERENCE ON POPULATION AND DEVELOPMENT, Cairo, 5 - 13 September 1994. “TOO MANY RICH PEOPLE :Weighing Relative Burdens on the Planet”, by Paul Ehrlich)

Global RE primary energy supply from 164 long-term scenarios versus fossil and industrial CO₂ emissions.



Source: SRREN SPM, Figure SPM.9

O futuro

Global Primary Energy Consumption Per Capita, 1984

World Bank GNP Economy Category	GNP Per Capita (1984 dollars)	Energy Consumption (kW per capita*)	Mid-1984 Population (million)	Total Consumption (TW)
Low Income	260	0.41	2,390	0.99
Sub-Saharan Africa	210	0.08	258	0.02
Lower-middle	740	0.57	691	0.39
Upper-middle	1,950	1.76	497	0.87
Sub-Saharan Africa	660	0.25	148	0.04
High-Income Oil Exporters	11,250	5.17	19	0.10
Industrial Market Economies	11,430	7.01	733	5.14
East European Non-Market Economies		6.27	389	2.44
World		2.11**	4.718	9.94

*kW per capita is kW years/year per capita.

** Population-weighted average energy consumption (kW/capita) for first three main categories is 0.654 and for industrial market and East European categories is 6.76.

Source: Based on World Bank, World Development Report 1985 (New York: Oxford University Press, 1986).

Cenário 1: 35TW (alto)

No ano de 2030 (~1960)

1,6 vezes mais petróleo;
3,4 vezes mais gás natural;
5 vezes mais carvão;
30 vezes mais capacidade nuclear;

=1 novo oleoduto do Alasca a cada 2 anos

=1GWatt em 2~4 dias (nuclear)

Cenário 2: 11.2TW (baixo)

No ano de 2020 (~1980)

Países desenvolvidos: 7.3TW

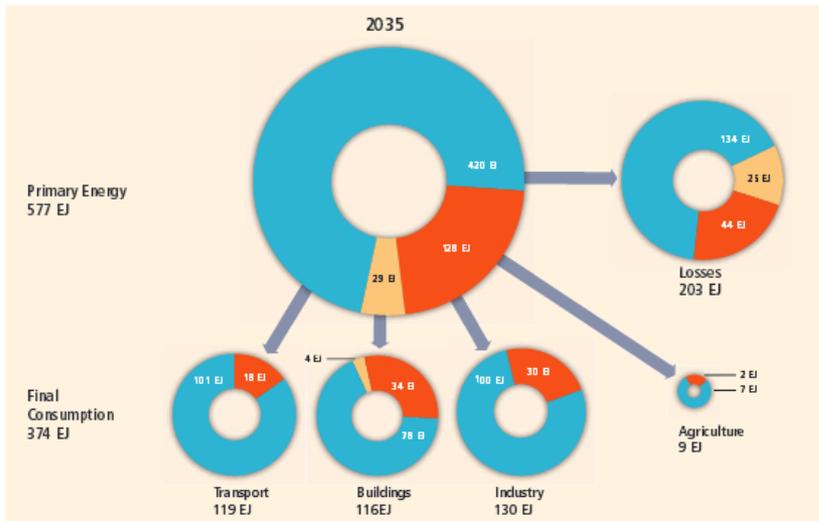
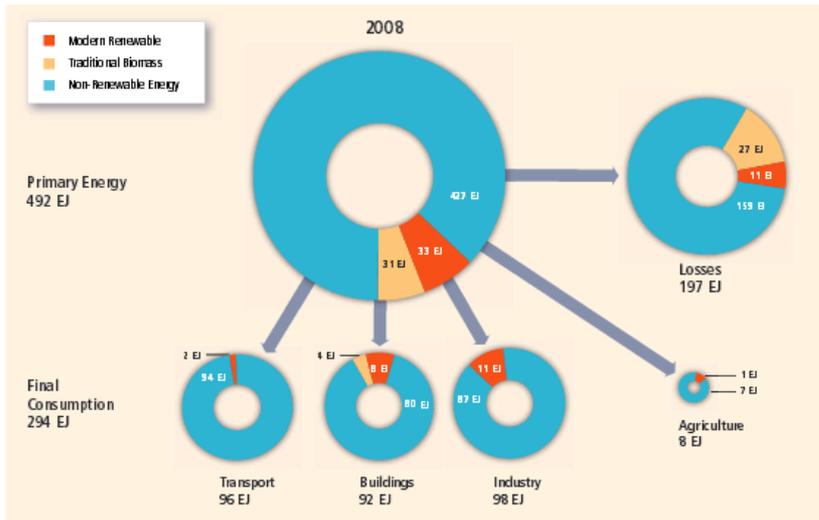
Países subdesenvolvidos: 3.9TW

=> déficit de 0.9TW na oferta primária

Seria muito pior, considerando que o crescimento não é igual (demanda energética e PIB per capita)

Cenário estimado na época: **55TW**

O futuro



- Energias emitem poluentes (ER e ENR)
- População mundial chegará a 12 bi de pessoas
- Desenvolvimento (ou não) dos países e superpopulações
- Mudar a forma de consumir ou melhorar a eficiência energética?
- Desafios e debates/acordos mundiais

Table 3 Equivalent carbon dioxide lifecycle, opportunity-cost emissions due to planning-to-operation delays relative to the technology with the least delay, and war/terrorism/leakage emissions for each electric power source considered ($\text{g CO}_2\text{e kWh}^{-1}$). All numbers are referenced or derived in ESI†

Technology	Lifecycle	Opportunity cost emissions due to delays	War/terrorism (nuclear) or 500 yr leakage (CCS)	Total
Solar PV	19–59	0	0	19–59
CSP	8.5–11.3	0	0	8.5–11.3
Wind	2.8–7.4	0	0	2.8–7.4
Geothermal	15.1–55	1–6	0	16.1–61
Hydroelectric	17–22	31–49	0	48–71
Wave	21.7	20–41	0	41.7–62.7
Tidal	14	20–41	0	34–55
Nuclear	9–70	59–106	0–4.1	68–180.1
Coal-CCS	255–442	51–87	1.8–42	307.8–571

Referências

- [1] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862011000100006
- [2] <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>
- [3] http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf
- [4] <http://www.un-documents.net/ocf-07.htm>
- [5] <http://www.kean.edu/~csmart/Observing/18.%20Energy%20and%20air%20pollution.pdf>
- [6] <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/ReviewSolGW09.pdf>
- [7] <http://www.ipcc.ch/report/srren/>
- [8] <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/Chapter%208%20Integration%20of%20Renewable%20Energy%20into%20Present%20and%20Future%20Energy%20Systems.pdf>
- [9] http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/COP18/SRREN_Ilkka.pdf
- [10] <http://tvpurga.blogspot.com.br/2012/12/cfe-com-microtauro-maquina-vapor-e.html>