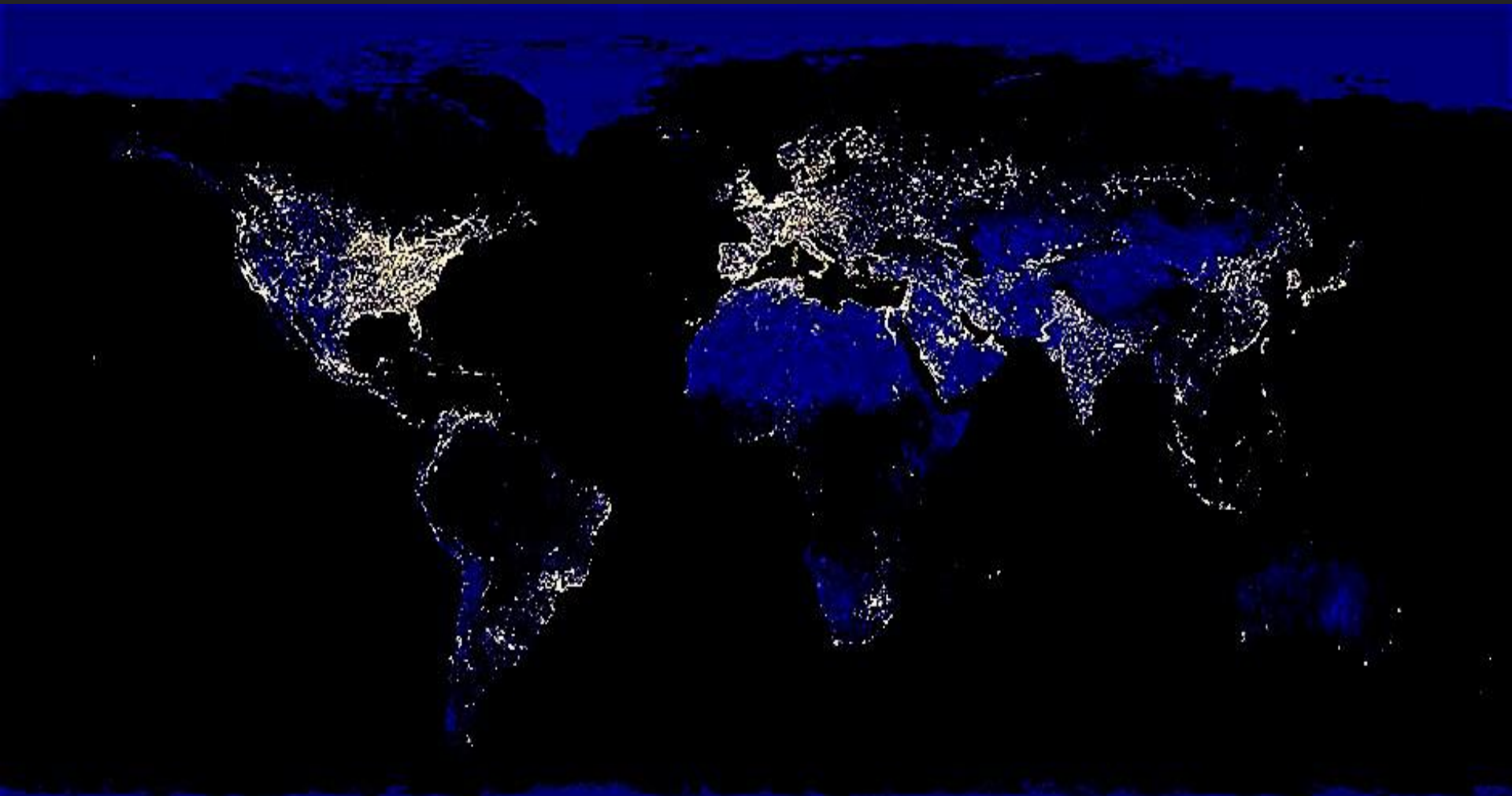


Energia Nuclear e Sustentabilidade: Cenários e Desafios para o Século XXI



Celso Marcelo Franklin Lapa

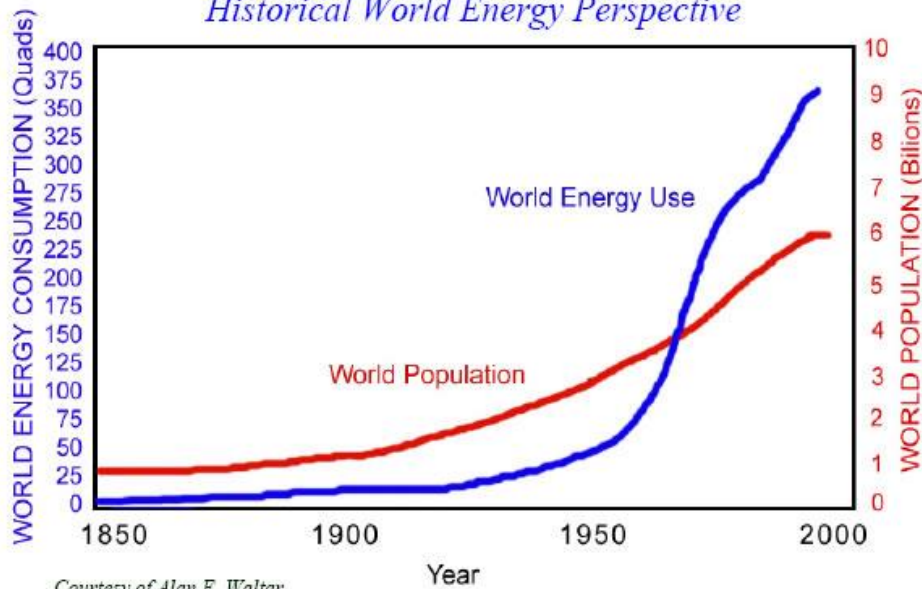
Professor PPGIEN e PEN/COPPE

Conselho Assessor Engenharias II CAPES/MEC

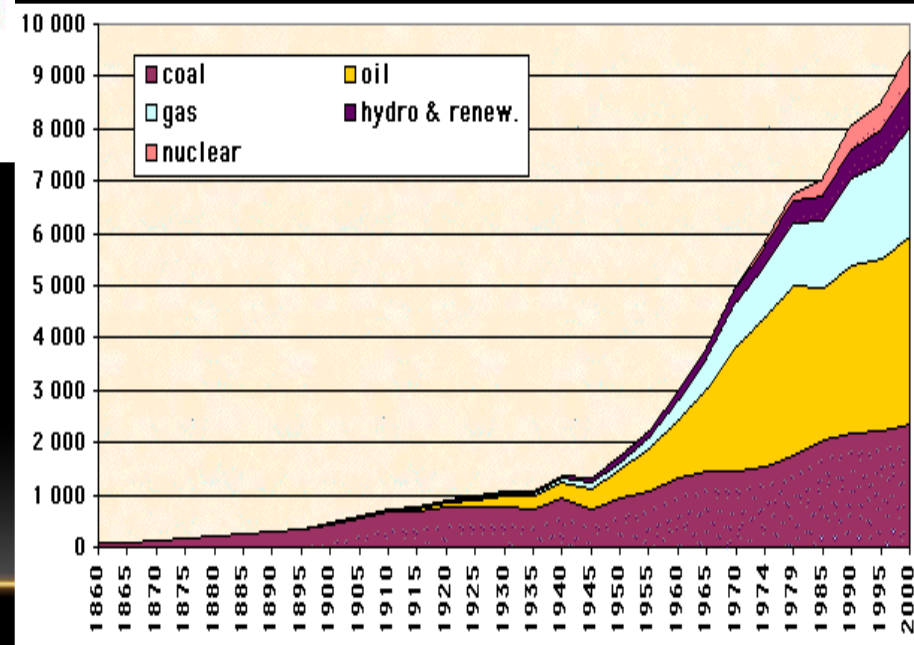
Bolsista Produtividade Nível 1D CNPq

O DOMÍNIO DA ENERGIA E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Historical World Energy Perspective



Courtesy of Alan E. Waltar

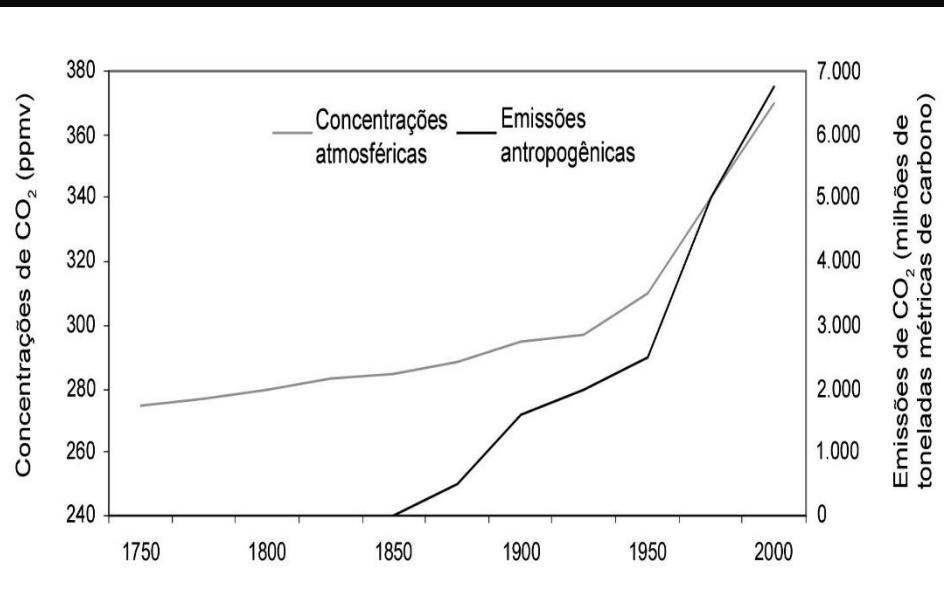


Source: http://nuclear.inl.gov/docs/papers-presentations/nuclear_hydrogen_3-3-03.pdf

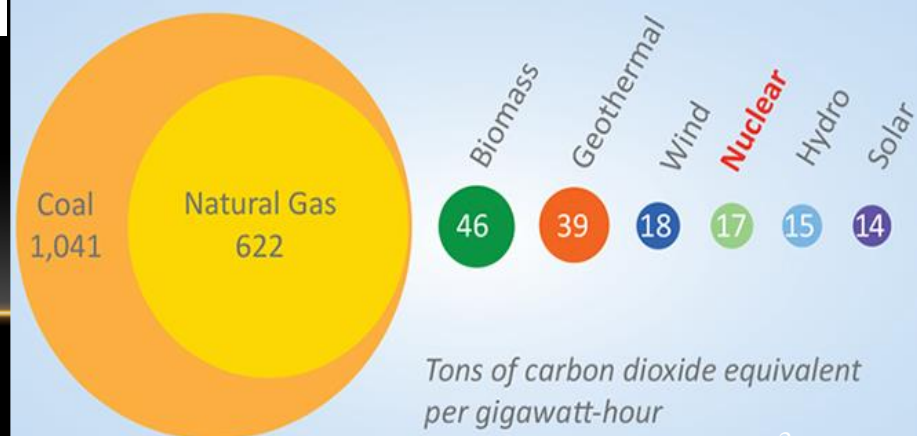
(One quad equals 100 quadrillion Btus)

Consequências

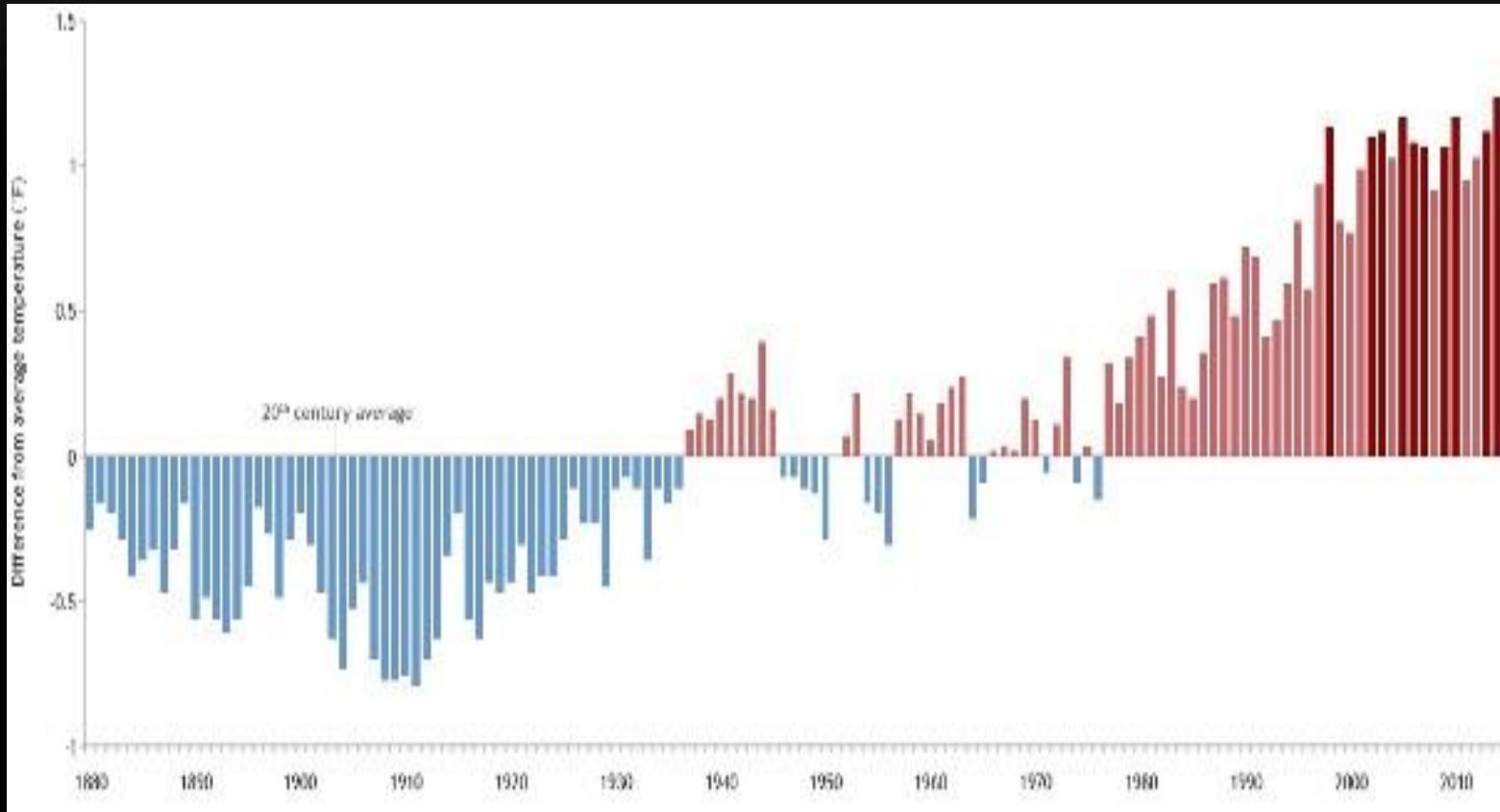
Emissão de gases de Efeito Estufa Concentrações Atmosféricas de CO₂



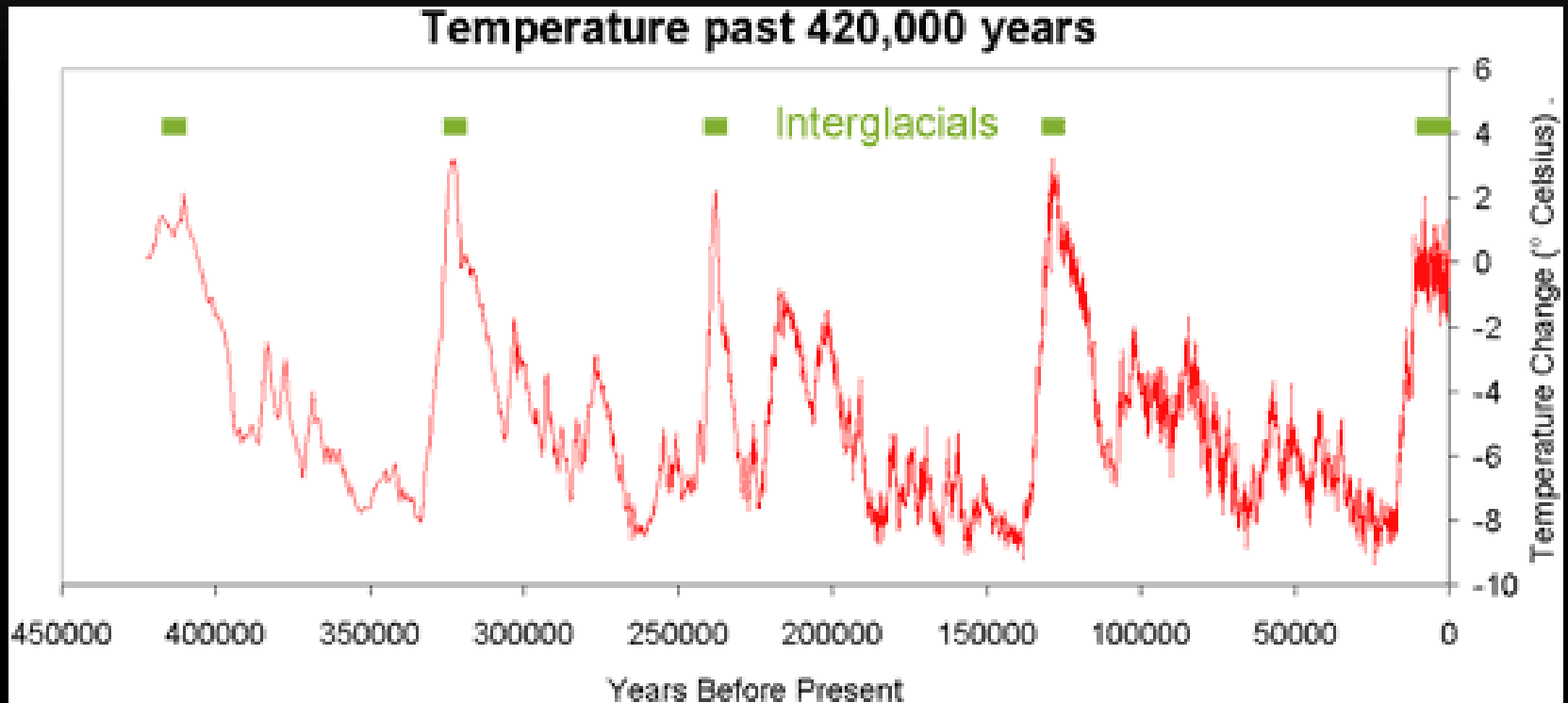
Lifecycle CO₂ Emissions from Electric Sources



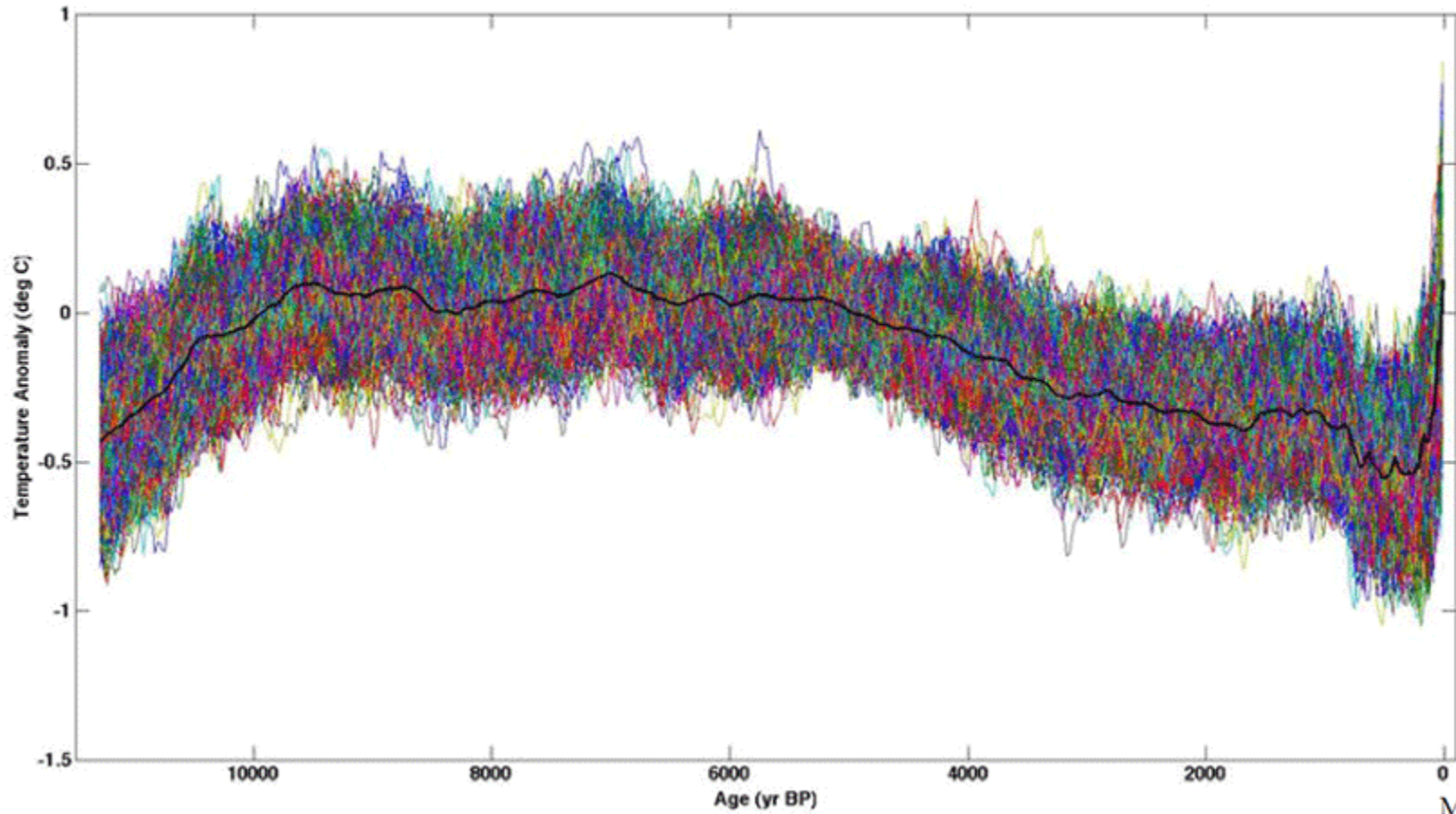
CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS



CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS

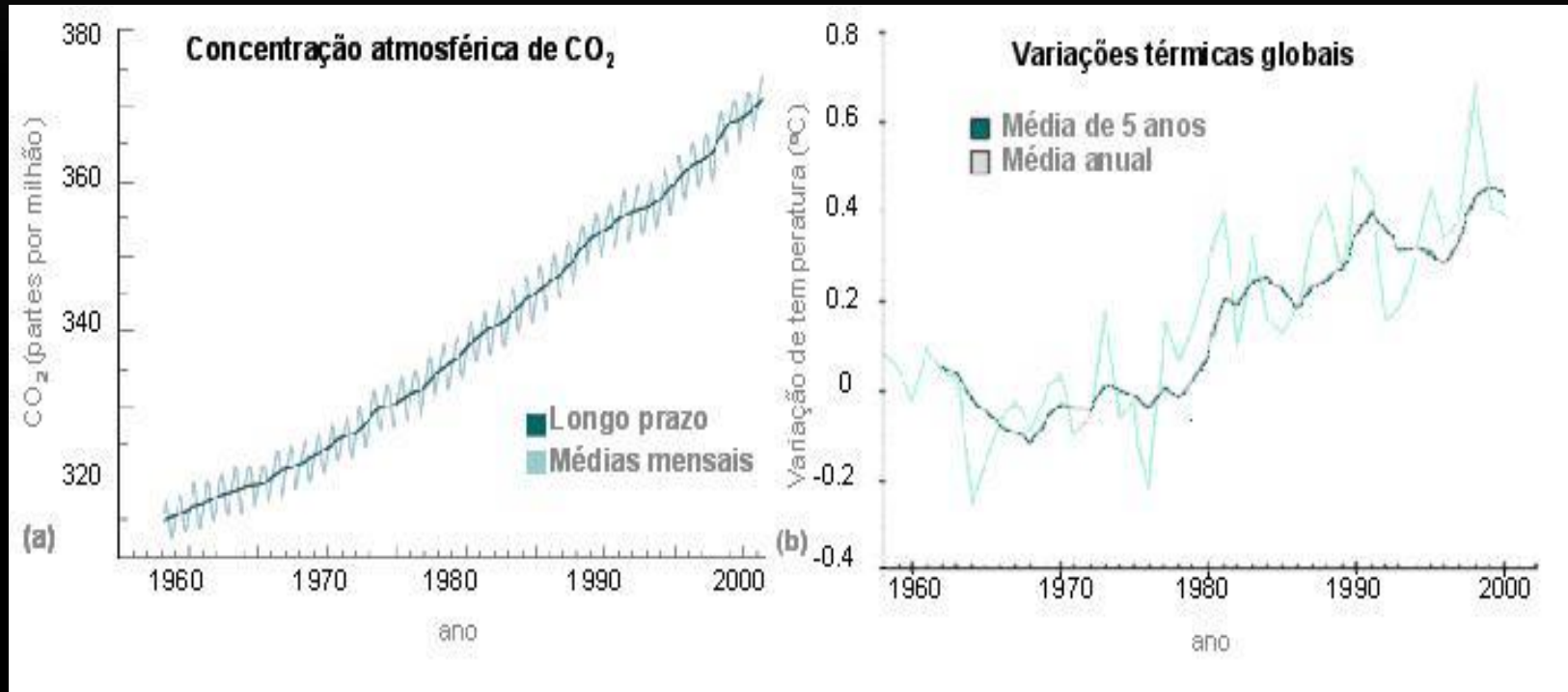


CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS

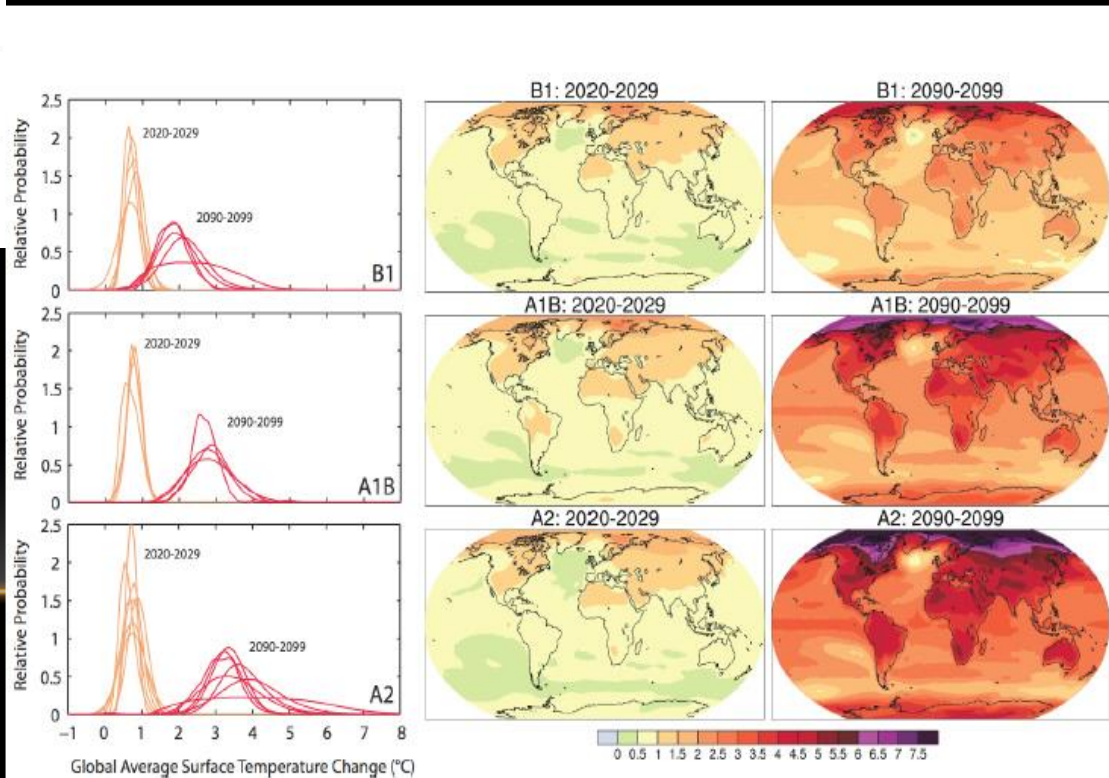
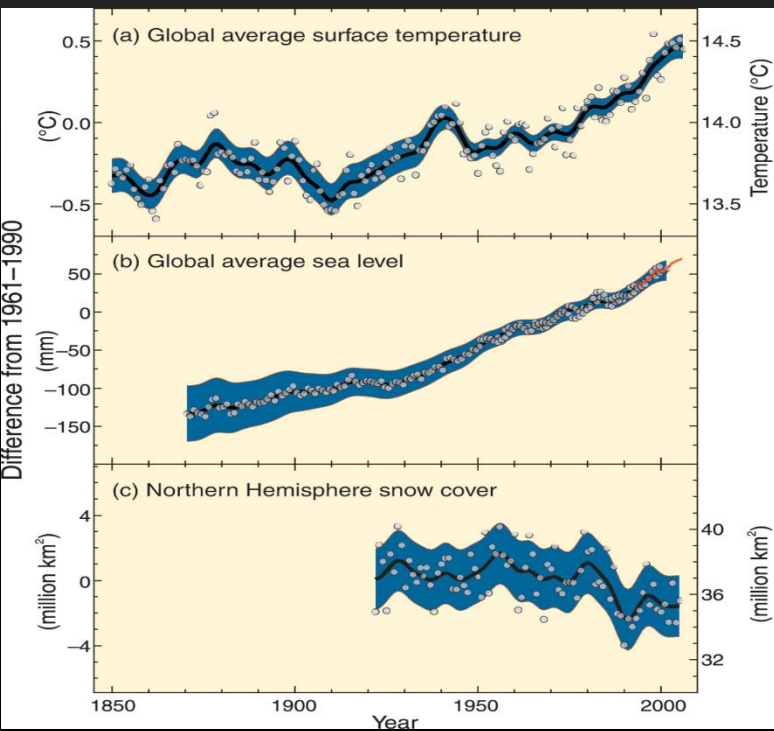


Marcott et al., 2012

CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS



CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS



ALTERNATIVAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

FONTES SAZONAIS (COMPLEMENTARES)

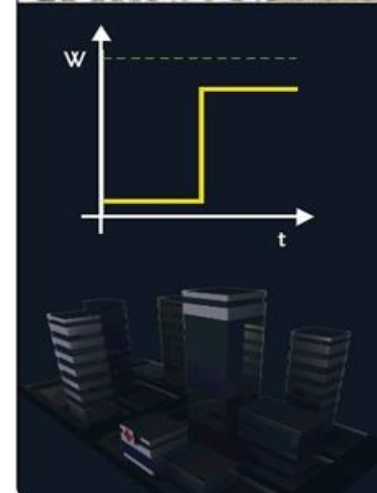
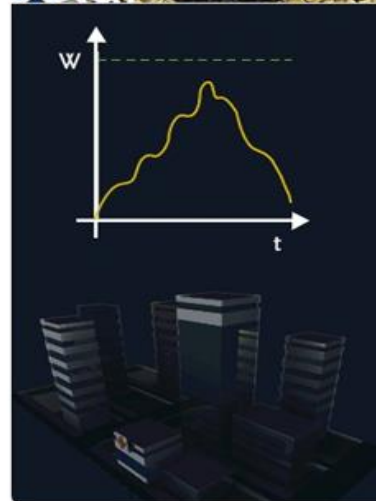
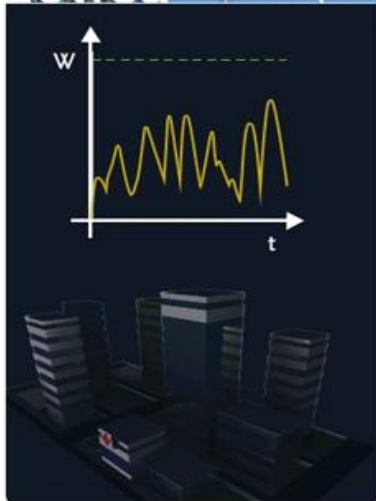
FONTES TÉRMICAS (BASE)

ENERGIA NUCLEAR (FIRME, LIMPA E SUSTENTÁVEL)

HOJE (2011- 2020)

Expansão da oferta eólica, solar e de biomassa

Eletrobras



requerem complementação térmica numa dinâmica mais rápida que a hídrica

trabalhado

res

EÓLICA



LAGO DE REJEITOS NA MONGÓLIA INTERIOR ORIUNDO DA MINERAÇÃO DE TERRAS RARAS - NEODYMIUM



FOTOVOLTAICA



TÉRMICAS CONVENCIONAIS



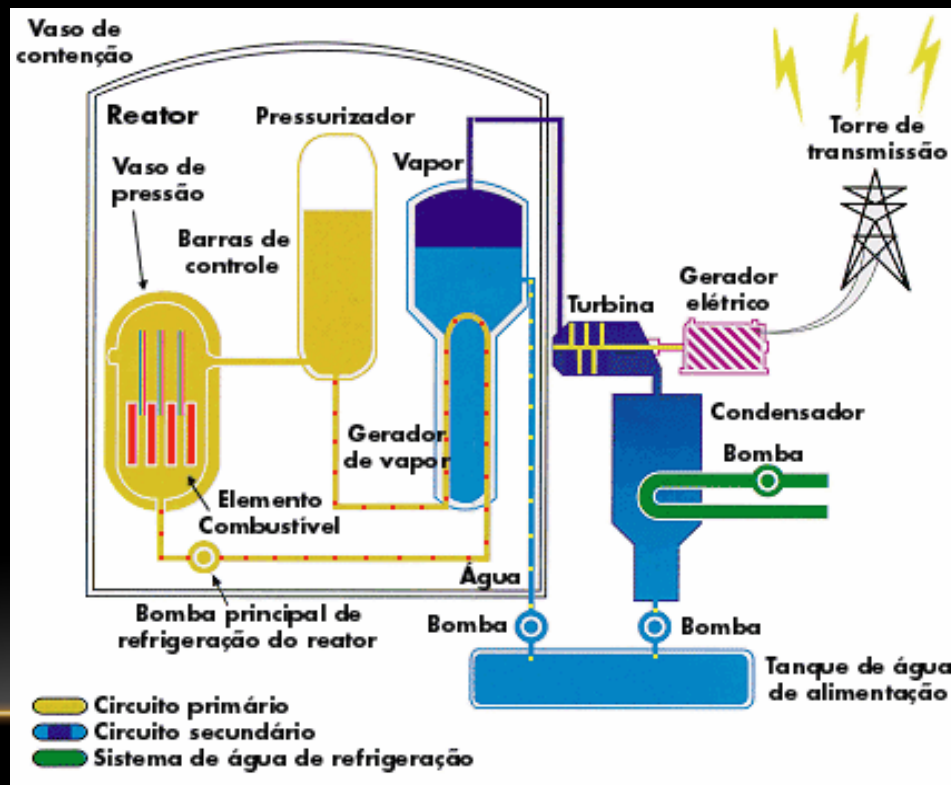
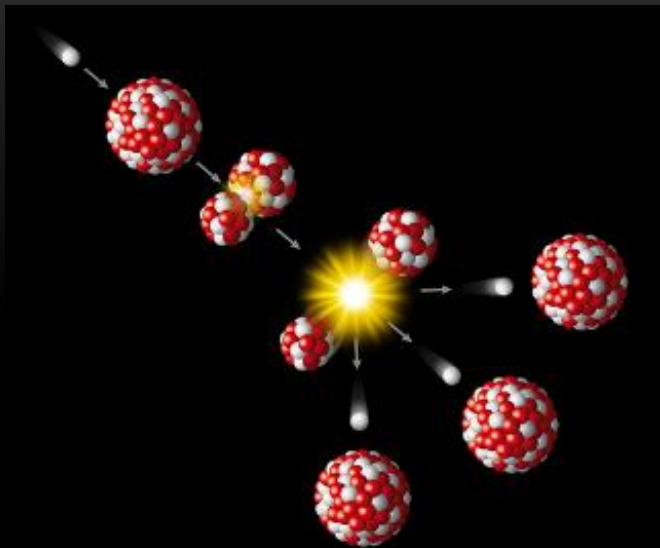
Foto de 26/11/2004 de Rio Tubarão, que percorre 18 municípios em SC, contaminado por carvão da mineradora Carbonífera Catarinense em Lauro Miller.

DEEPWATER HORIZON – BP (ABRIL DE 2010)



FONTES: SUL EM FOCO E GRANDE MÍDIA
SOBRE O ACIDENTE NO GOLFO DO MÉXICO

A Energia Oriunda da Fissão Nuclear



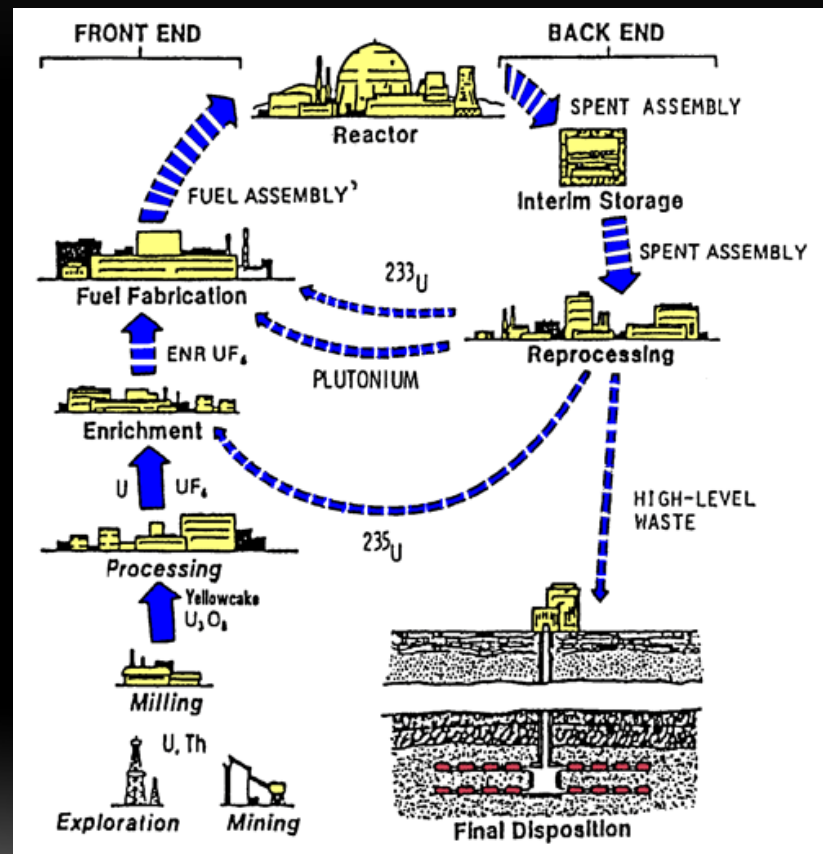
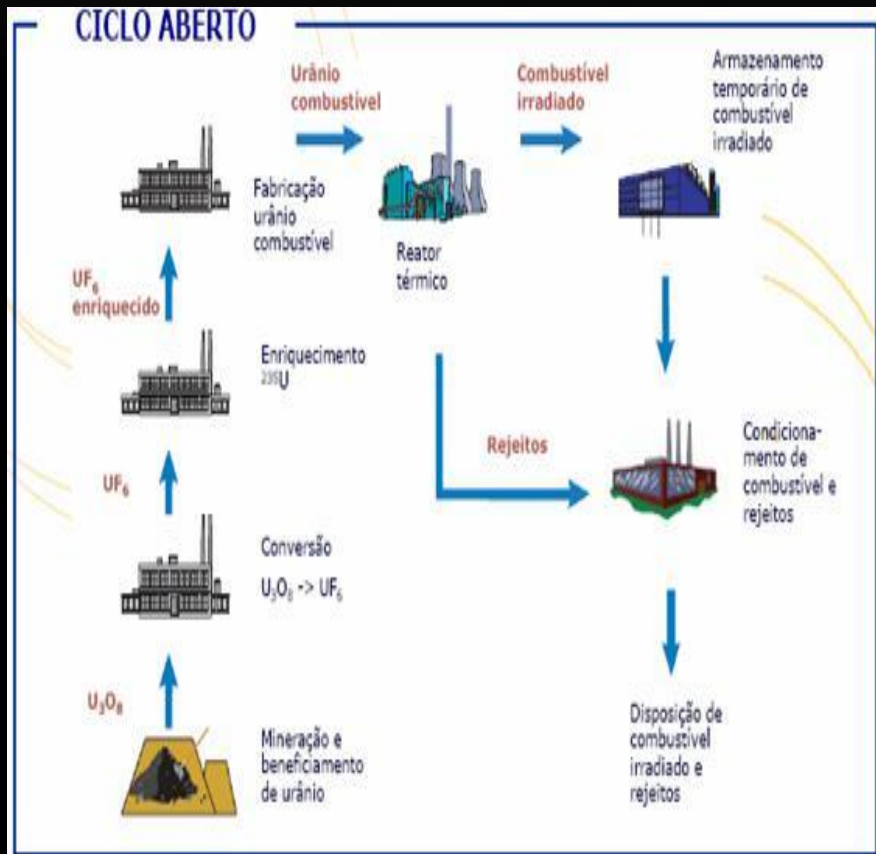
FONTES:

[HTTP://MANUALDAQUIMICA.UOL.COM.BR/FISICO-QUIMICA/FISSAO-NUCLEAR.HTM](http://MANUALDAQUIMICA.UOL.COM.BR/FISICO-QUIMICA/FISSAO-NUCLEAR.HTM)

[HTTP://WWW.ELETRONUCLEAR.GOV.BR/SAIBAM/AIS/ESP/ESP%20CONHECIMENTO/PESQUISA/ESCOLAR/ENERGIANUCLEAR.ASPX](http://WWW.ELETRONUCLEAR.GOV.BR/SAIBAM/AIS/ESP/ESP%20CONHECIMENTO/PESQUISA/ESCOLAR/ENERGIANUCLEAR.ASPX)

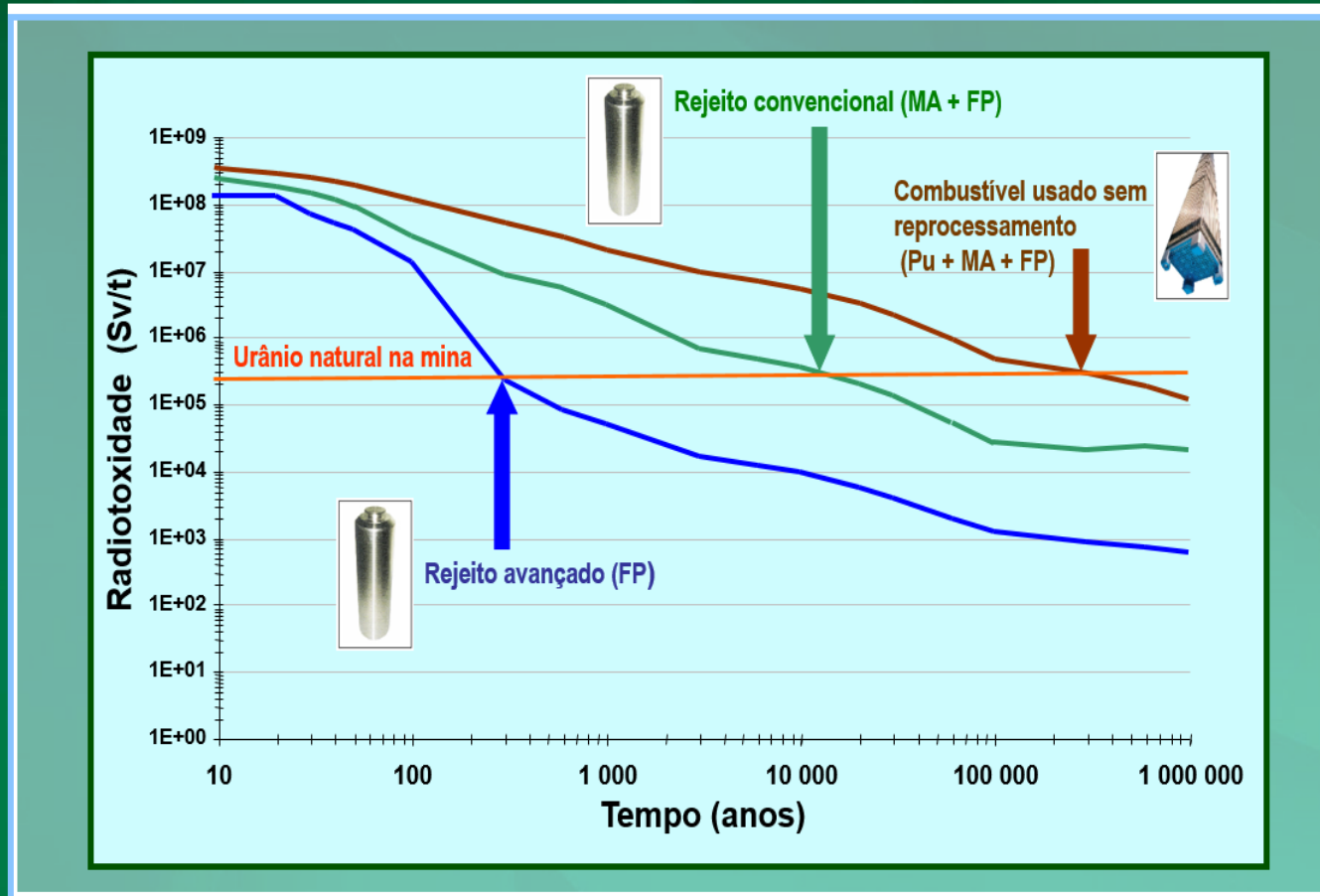
A ENERGIA NUCLEAR

CICLOS ABERTO E FECHADO DO COMBUSTÍVEL O PROBLEMA DOS REJEITOS DE ALTA ATIVIDADE



A ENERGIA NUCLEAR

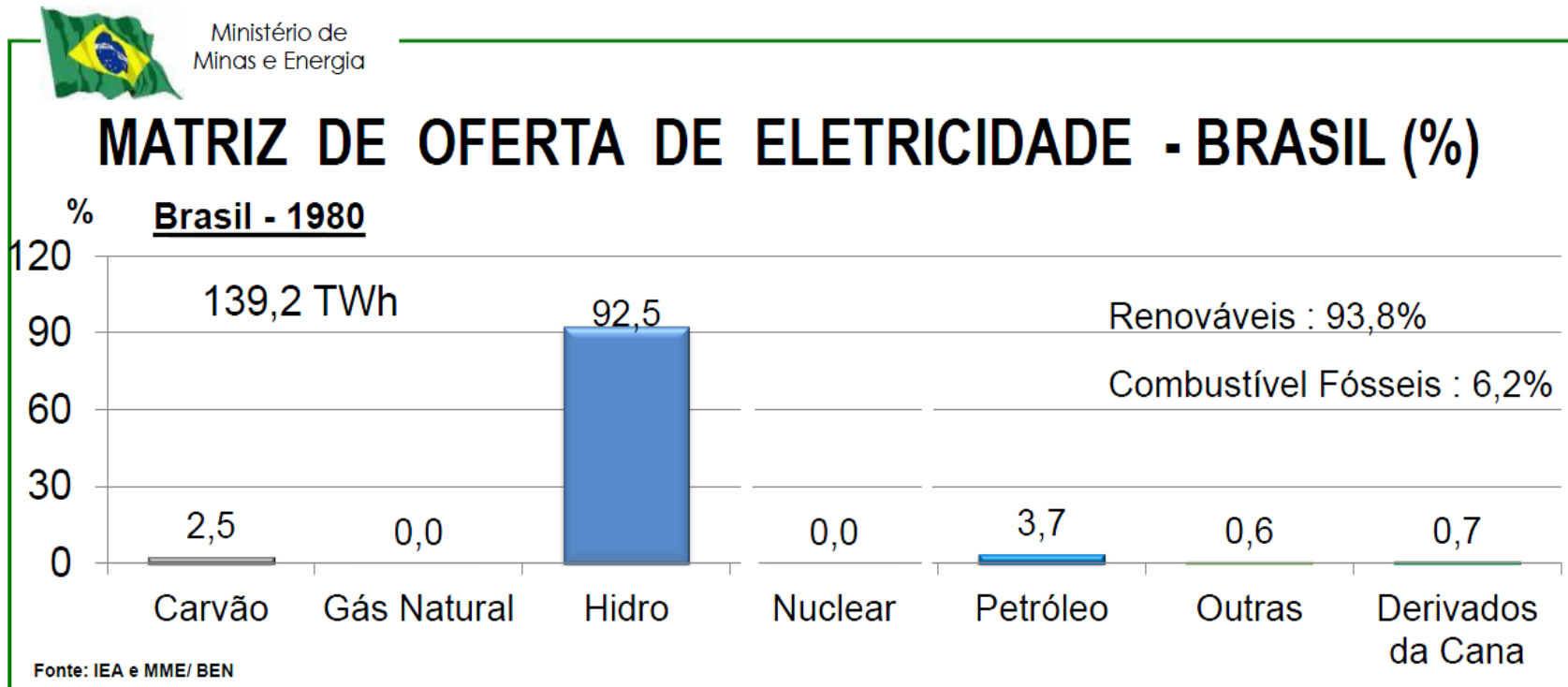
REJEITOS RADIOATIVOS REATORES INCINERADORES DO LIXO RADIOATIVO



Apresentação FGV
27/04/2016
Aquilino Senra

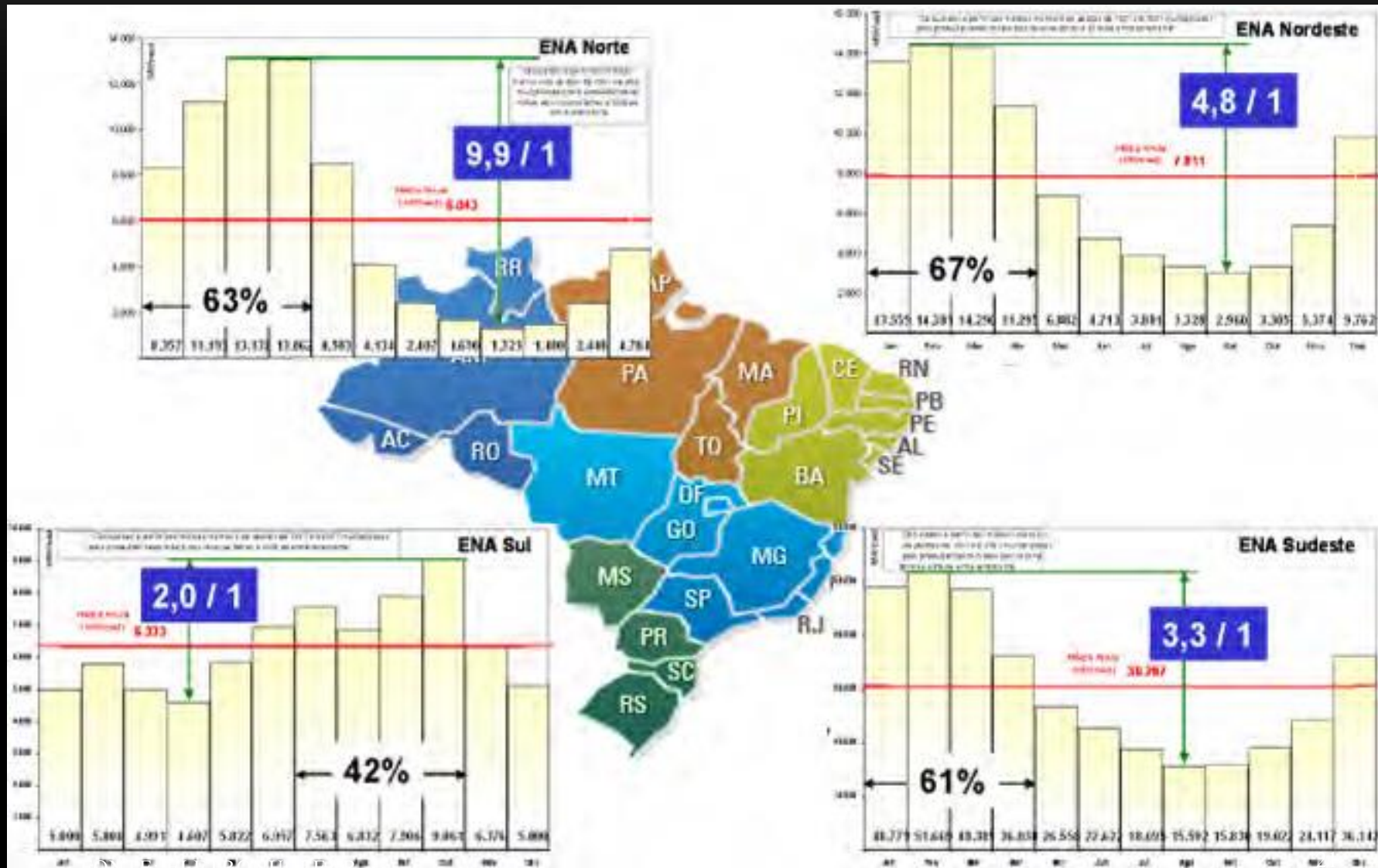
E NO BRASIL: COMO TRILHAMOS NOSSO CAMINHO ENERGÉTICO?

- 1945-1950 – início da industrialização tardia no Brasil
- Anos 60 e 70 – êxodo rural e urbanização (nova distribuição demográfica do Brasil)
- Anos 70 e 80 – modelo energético baseado na hidroeletricidade



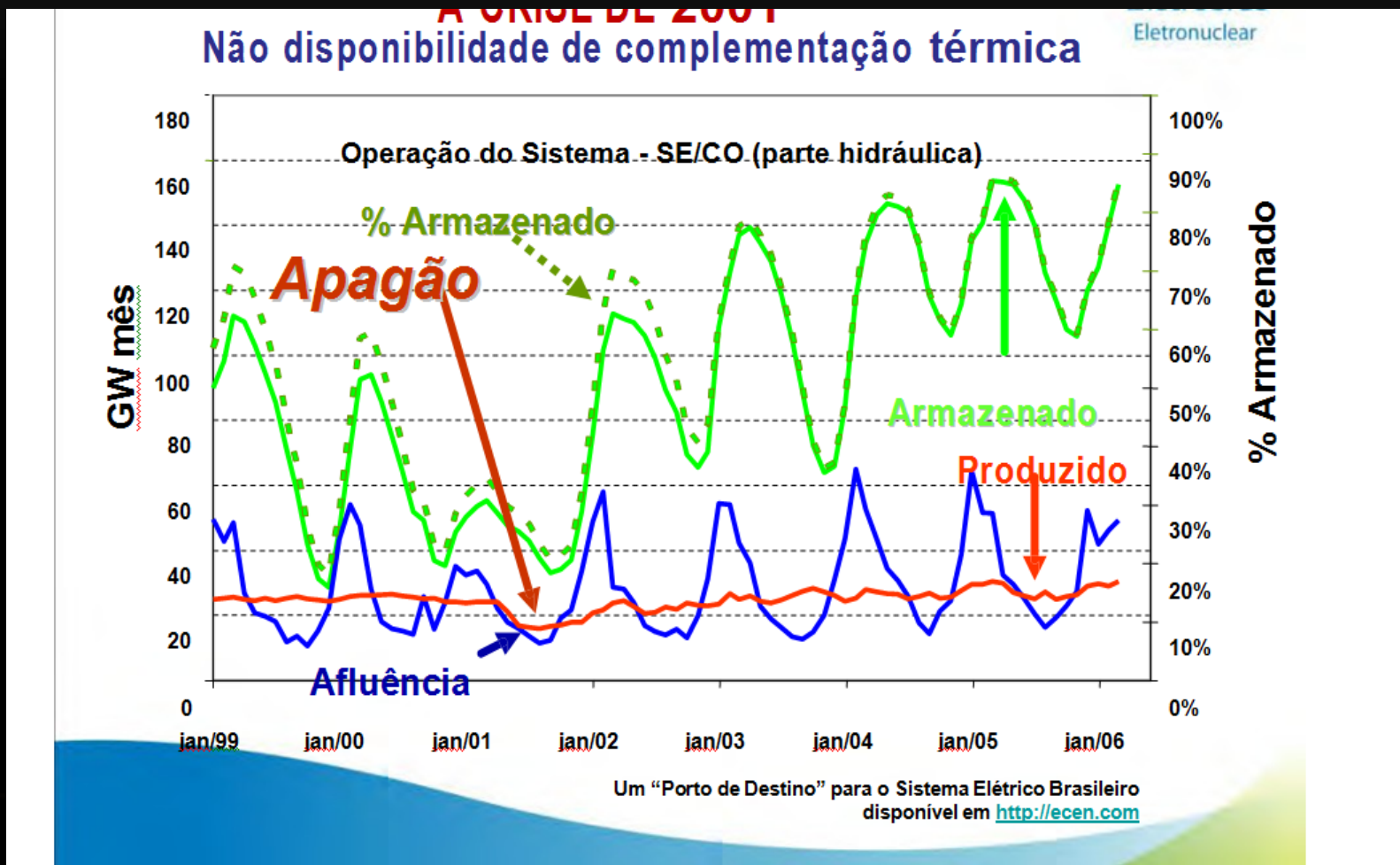
Passado Recente

- Sazonalidade Hídrica
- Quase 70% de nossa capacidade de armazenamento está no Sudeste



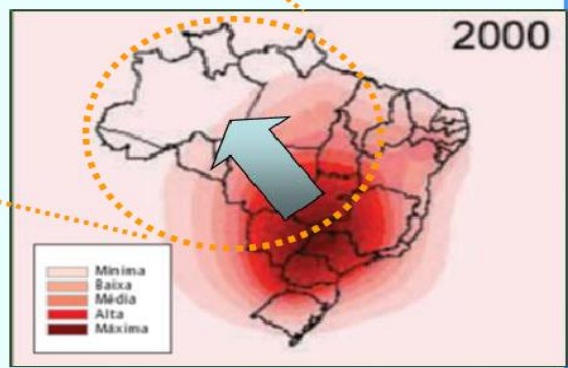
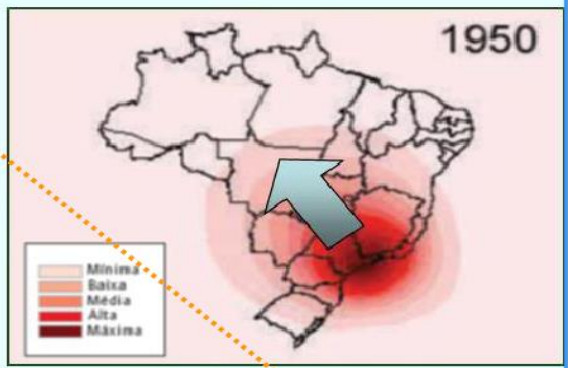
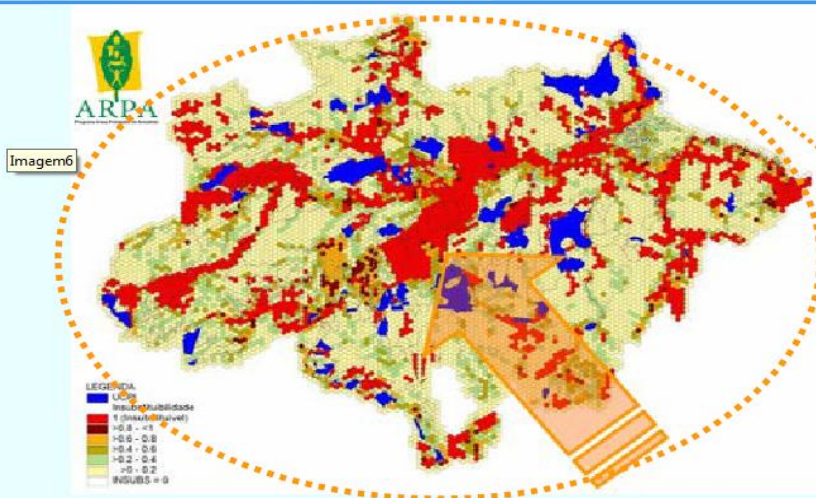
Consequência ?

Energia barata, com baixa emissão, mas **sujeita a intempéries, interrupções do serviço e sazonais regionais**



O Potencial Hídrico Brasileiro

Potencial Hídrico Remanescente na Região Amazônica: Planície



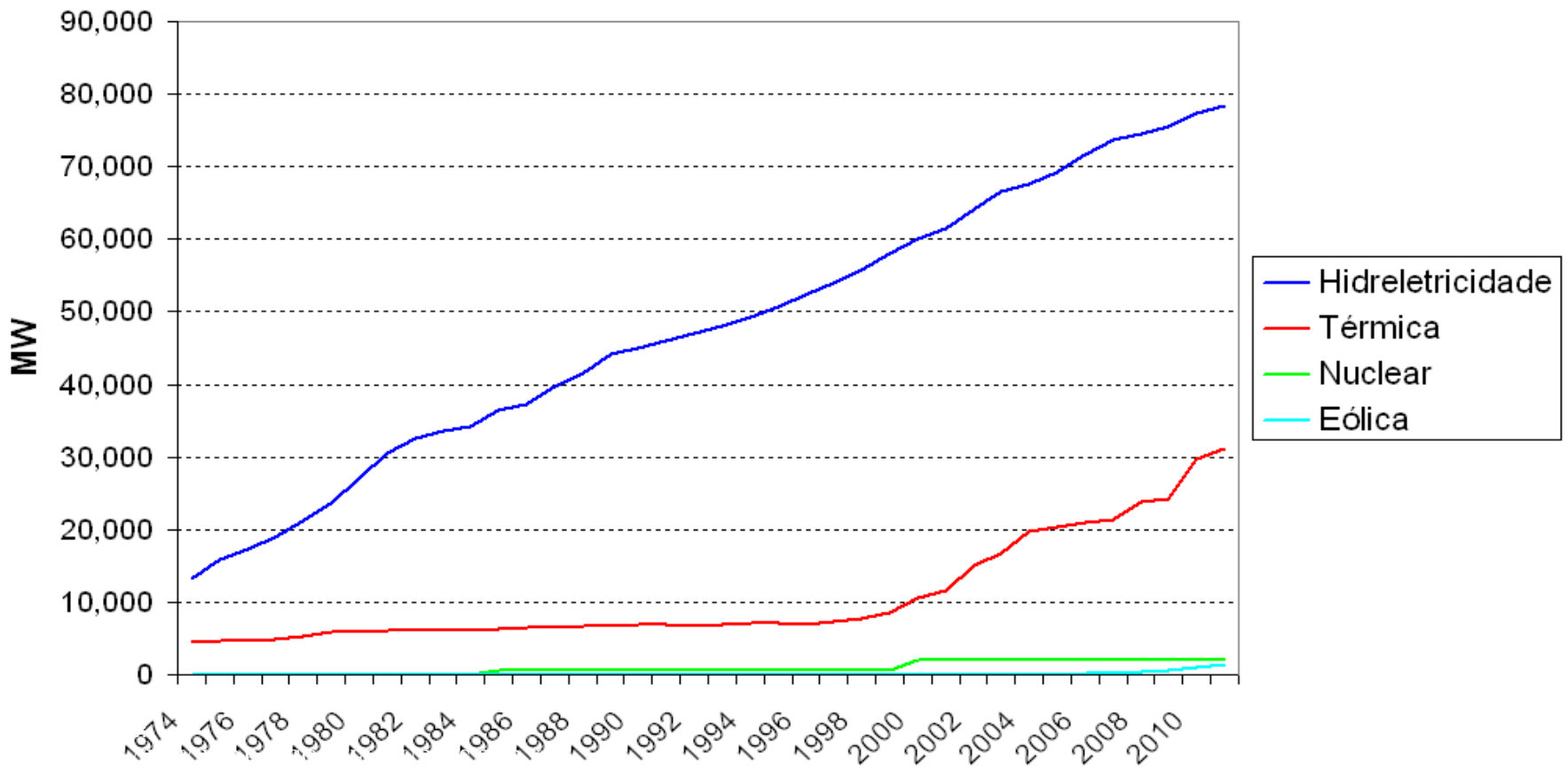
Usinas com Pequenos Reservatórios:

- Áreas de Proteção Ambiental
 - Reservas Indígenas
- } ~ 40% da área territorial

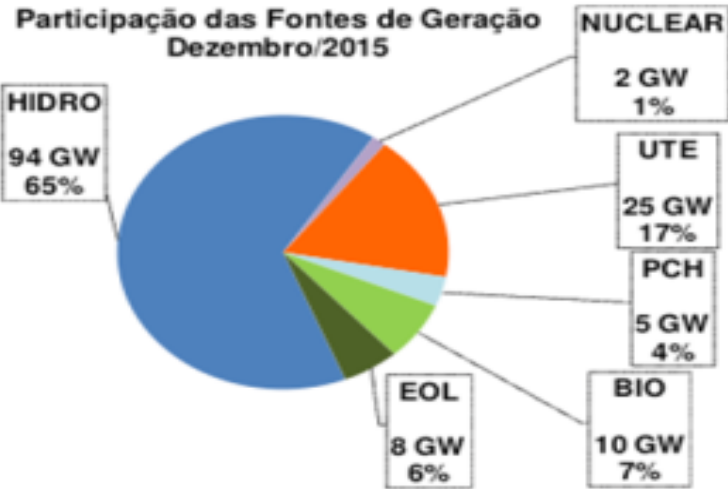
O que foi feito após 2001?

Início da Transição Hidrotérmica e Renováveis Sazonias

Evolução da Capacidade Instalada (Brasil)



Início da Transição Hidrotérmica, mas com qual base Térmica?



Matriz elétrica brasileira 2015

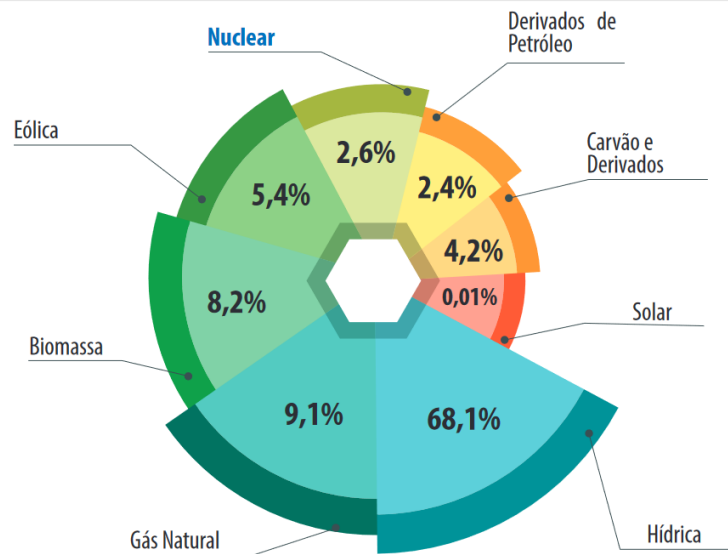
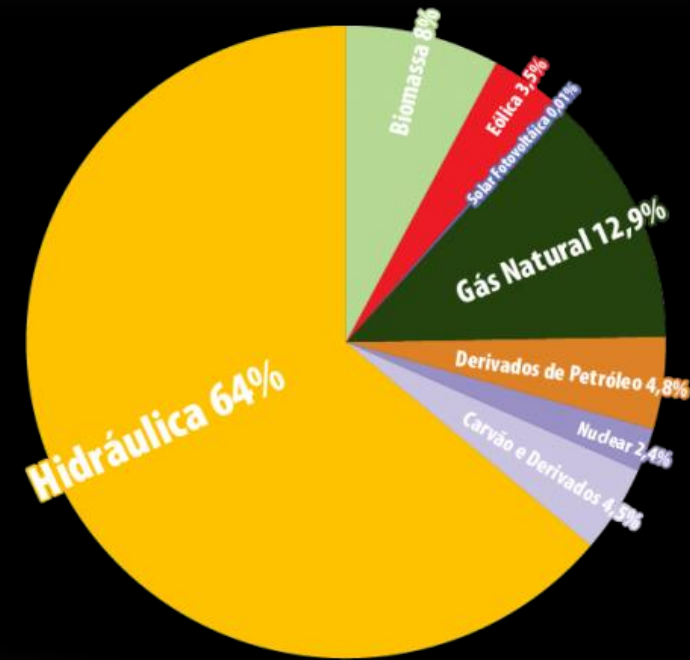


Figura 3- Oferta Interna de Energia elétrica por Fonte – Brasil – Fonte: Balanço Energético 2016

O que foi feito após 2001, deu certo ?

Parcialmente!!!!

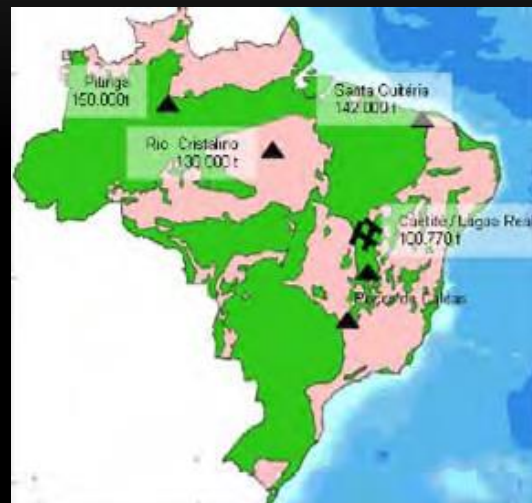
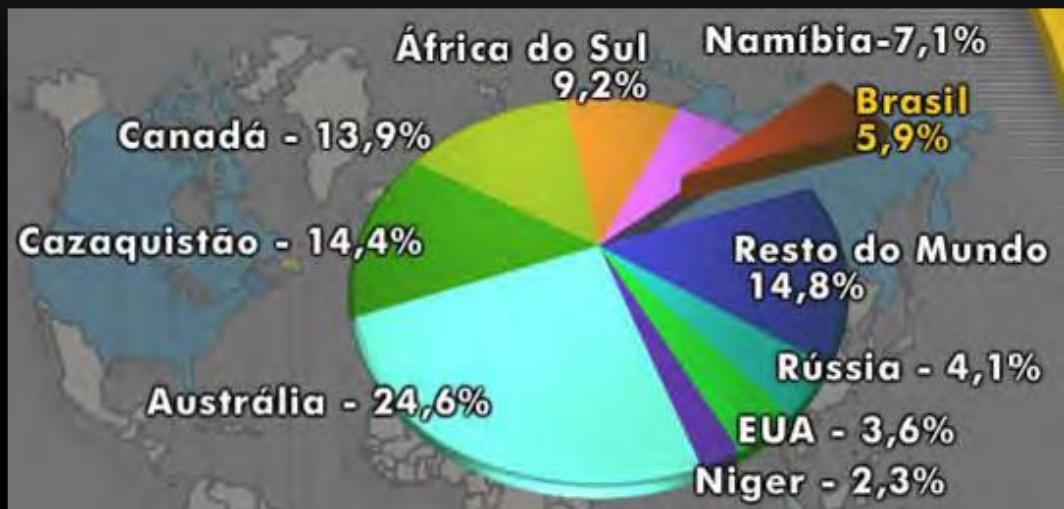
- Custo elevado e utilização indevida das opções térmicas
- Aumento do impacto ambiental por emissão de CO2
- Nível de não-confiabilidade do sistema integrado devido às grandes distâncias
- Modelo de venda de energia (Térmica) Oferta/Procura no mercado
- Elevadíssimo custo, baixa densidade energética e baixo fator de utilização das eólicas

O que fazer ?

- 1) Em nosso País, necessitamos ampliar fortemente a produção de energia para melhorar a qualidade de vida da população e garantir justiça social
- 2) Temos que minimizar as emissões de gases que causam o aquecimento global
- 3) Temos que gerenciar e planejar o uso da água, solo e recursos naturais
- 4) Temos que produzir energia de forma barata e segura (perenidade e confiabilidade na produção e distribuição)
- 5) Temos que ter independência energética aproveitando os recursos e características do Brasil
- 6) Nosso potencial hidroelétrico viável estará totalmente explorado até 2030

A ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

BRASIL É UMA DAS TRÊS NAÇÕES DO MUNDO QUE TÊM GRANDES RESERVAS DE URÂNIO E DOMINA O CICLO DO COMBUSTÍVEL



Solos pré-cambrianos
Brasil 3.400.000 km²
Austrália 3.800.000 km²



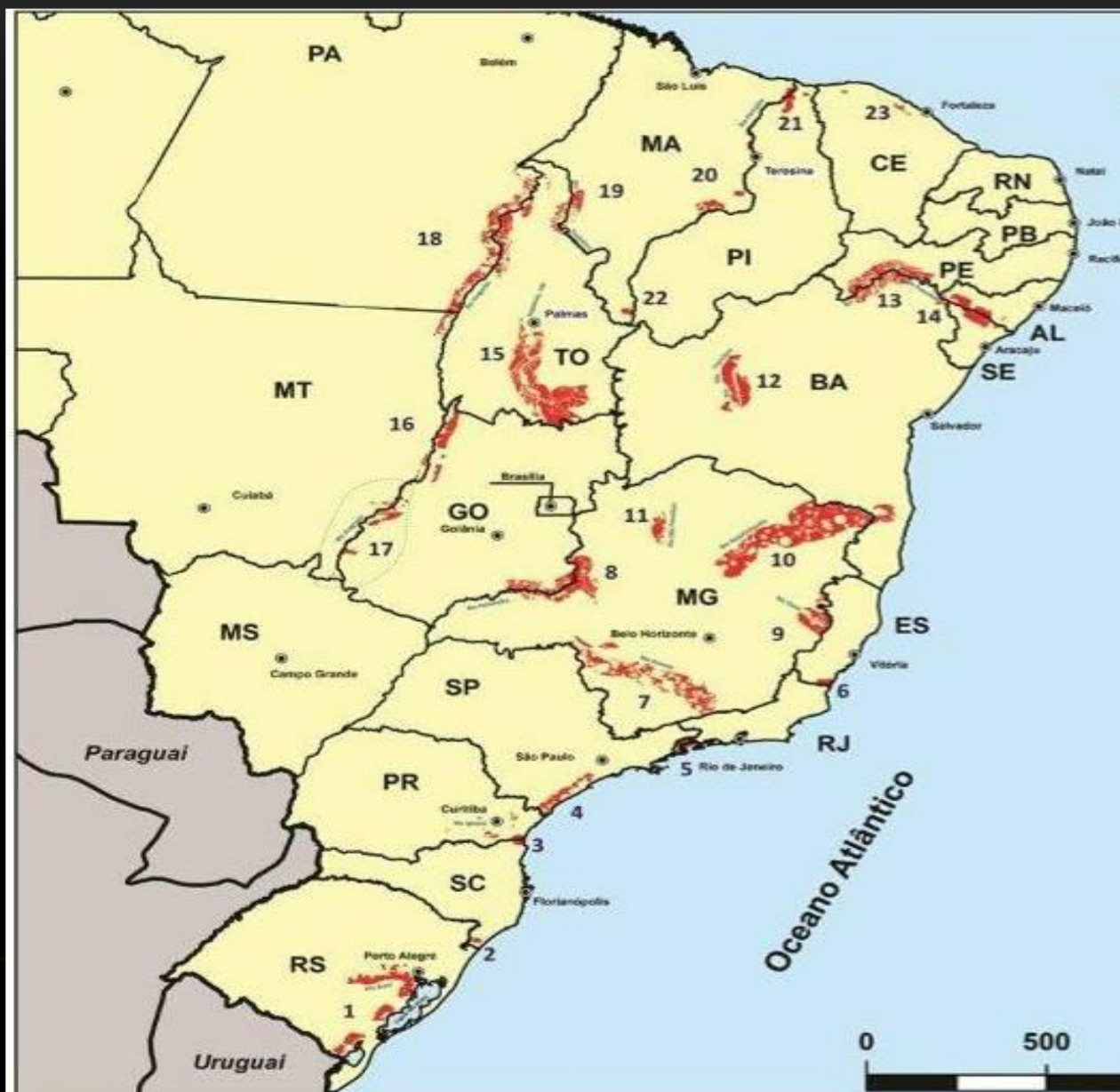
Projeção da oferta de energia elétrica no Brasil (GW)

Fontes	2011	2020	2030
Hidrelétricas (total)	82,5	115,1	148,6
Térmicas	23,8	28,9	42,6
Gás Natural	13,2	11,7	17,5
Nuclear	2,0	3,4	7,4
Carvão	1,9	3,2	4,9
Outras	6,7	10,6	12,9
Alternativas	13,9	27,0	40,8
Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)	4,5	6,4	9,0
Eólica	1,1	11,5	13,5
Biomassa	8,3	9,1	22,3
Total	115,6	171,1	232,0

Fontes: PDE, 2020 e PNE, 2030

Áreas Seleccionadas para Construção Novas Centrais Nucleares

Fonte Eletrobrás



AMANHÃ (2011 – 2020) no Mundo

The future of nuclear energy

One step back, two steps forward

A special report from the Economist Intelligence Unit, June 2011

Atomic decade: Top ten nuclear countries

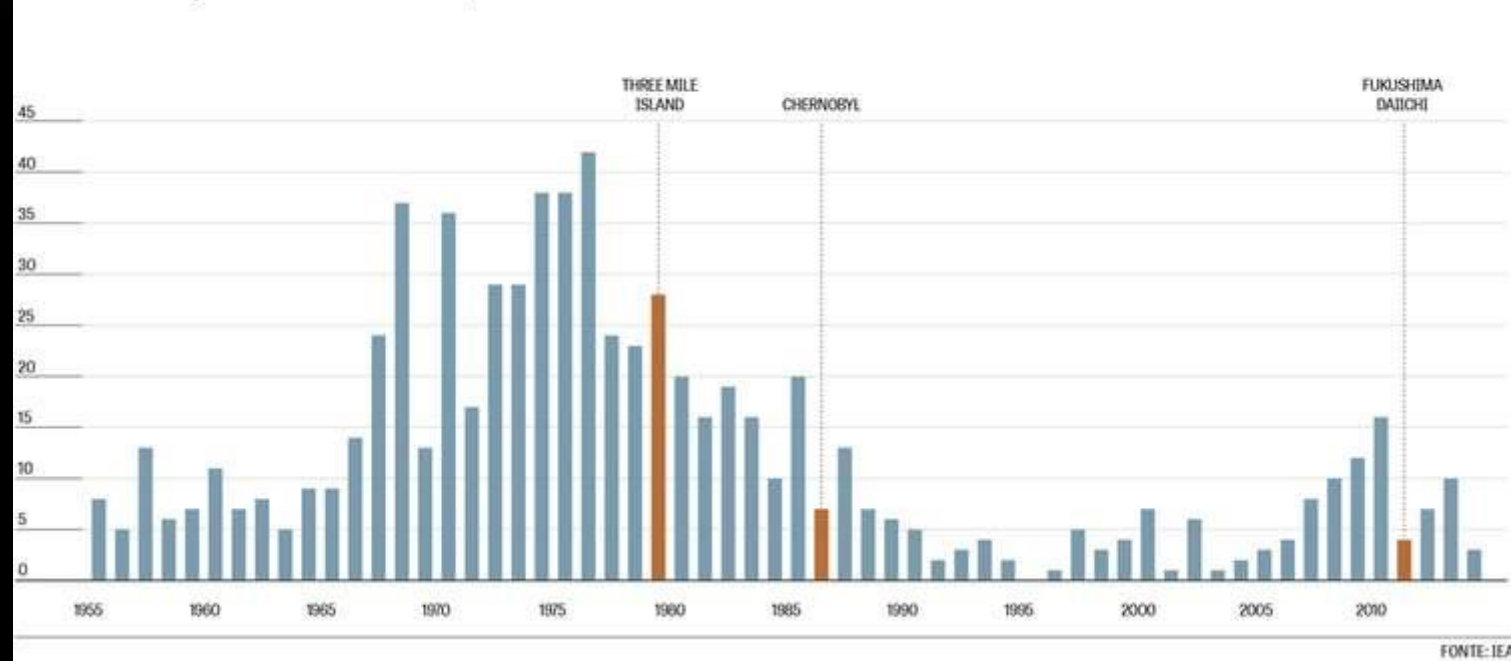
	Net nuclear capacity, gw			Change in capacity, 2020 v 2010	
	2010	2015	2020	%	gw
United States	101.1	103.4	109.0	8	7.9
France	63.3	64.8	66.4	5	3.2
Japan	46.8	45.0	44.7	-5	-2.1
Russia	22.7	29.7	41.0	81	18.3
Germany	20.5	11.7	9.0	-56	-11.5
South Korea	18.7	24.2	28.1	50	9.4
Ukraine	13.1	13.1	16.2	23	3.1
Canada	12.6	12.6	15.0	19	2.4
United Kingdom	11.0	9.6	12.7	16	1.7
China	10.1	37.1	63.1	527	53.0
Total	319.8	351.2	405.2	27	85.3

Source: Economist Intelligence Unit.

www.eiu.com

GRAMA NEGRA

Início da construção de reatores nucleares , de 1955 a 2014 ▶ Número de unidades iniciadas



In Wake Of Terrifying Climate Report, German Environmentalists Will, In A Twist, Rally For Nuclear



Michael Shellenberger Contributor

Energy

I write about energy and the environment

FONTE:

[HTTPS://WWW.FORBES.COM/SITES/MICHAELSHE
LLENBERGER/2018/10/15/IN-WAKE-OF-
TERRIFYING-CLIMATE-REPORT-GERMAN-
ENVIRONMENTALISTS-WILL-IN-A-TWIST-
RALLY-FOR-
NUCLEAR/?FBCLID=IWAR3U1QINJ6BZQLUWZ8X
NZNXCVV6KTMZHE3MGWSBLTWJMYCBODWSC
LNZNZM0](https://www.forbes.com/sites/michaelsellenberger/2018/10/15/in-wake-of-terrifying-climate-report-german-environmentalists-will-in-a-twist-rally-for-nuclear/?fbclid=IwAR3U1QINJ6BZQLUWZ8XNZNXCVV6KTMZHE3MGWSBLTWJMYCBODWSCLNZNZM0)

[HTTPS://PETRONOTICIAS.COM.BR/ARCHIVES/119
447](https://petronoticias.com.br/archives/119447)

AMBIENTALISTAS DA EUROPA SE REÚNEM EM MUNIQUE PARA EXIGIR VOLTA DA ENERGIA NUCLEAR NA ALEMANHA

24. OUT, 2018 0 COMENTÁRIOS



A festa foi bonita. A cidade de Munique, na Alemanha, sediou um novo evento pró-clima. Desta vez, foi para defender a energia nuclear, em um país, o maior emissor de gases do efeito estufa na Europa, que, no entanto, renunciou ao uso dessa tecnologia de baixo carbono, reconhecida por especialistas ambientais. A Coalizão do **Orgulho Nuclear**, que reúne grupos

ambientalistas atômicos de todo o mundo, marcou uma reunião para um projeto conjunto: defender o uso da energia nuclear na luta contra ela e o preconceito de usa-la. Um protesto contra as alterações climáticas. Que lugar melhor do que a Alemanha, o país que melhor ilustra a contradição entre a oposição à energia nuclear e a luta contra as alterações climáticas? Mesmo quando o país emerge da energia nuclear até 2023, ele ainda usa 40% de carvão para produzir sua eletricidade.

O principal organizador do evento **Nuclear Pride Fest** foi o ecologista **Mike Shellenberger**, presidente da Environmental Progress Association. O nome “**Orgulho Nuclear**” é emprestado do “**Orgulho Gay**”, explica o que aparece na lista de “**Heróis do meio ambiente**” da revista Time. Com esse nome, ele disse que “**quer deixar claro até que ponto o compromisso público com a energia nuclear é hoje um assunto tabu e socialmente estigmatizado.**” Os ambientalistas foram capazes de compartilhar com os habitantes de Munique, que tornou-se “**capital verde da Alemanha**” do desde o início do partido verde, que tem 42,5% dos votos na Alemanha. Assim, 200 voluntários, da Holanda, Taiwan, Polônia, Eslováquia, Rússia, entre outros, se reuniram para ficar juntos, montaram barracas e fizeram várias atividades para os moradores de Munique na Marienplatz, a praça mais movimentada da cidade.

Empregos locais (país) na O & M de várias tecnologias de geração de eletricidade, ordenados pelo tamanho médio da instalação geradora de eletricidade

Tecnologia	Empregos/MW	Tamanho Médio (MW)	Empregos Locais Diretos
Nuclear	0.50	1 000	504
Carvão	0.19	1 000	187
Hídrica > 500 MW	0.11	1 375	156
Armazenamento Bombeado	0.10	890	85
Hídrica > 20 MW	0.19	450	86
Energia Solar Concentrada	0.47	100	47
Ciclo Combinado de Gás (CCGT)	0.05	630	34
Fotovoltaica (PV)	1.06	10	11
Micro Hídrica < 20 MW	0.45	10	5
Eólica	0.05	75	4

Fontes: Harker e Hirschboeck, 2010

ROSATOM JÁ TRABALHA NUMA SEGUNDA GERAÇÃO DE USINAS NUCLEARES FLUTUANTES

🕒 23. OUT, 2018 🗨️ [0 COMENTÁRIOS](#)



Vitaly Trutnev(FOTO), chefe da construção e operação da usina nuclear flutuante, disse que, até o final deste ano, todas as operações tecnológicas finais da instalação da Usina Nuclear flutuante russa **Akademik Lomonosov(ao fundo na foto)**, a primeira do mundo, terão sido concluídas. O lançamento físico das duas unidades do reator começará nas próximas semanas, uma vez que a aprovação para isso tenha sido recebida do regulador russo

Rostechndzor. A **Akademik Lomonosov**, que tem 144 metros de comprimento, 30 metros de largura e um deslocamento de 21.000 toneladas, deixou o estaleiro Baltiysky Zavod em São Petersburgo em 28 de abril. A usina flutuante chegou a Murmansk no dia 17 de Maio, depois de ter sido rebocada por 4000 quilômetros e percorrido quatro mares: o Báltico, o Norte, o Norueguês e o Barents. A Rosatom disse que já está trabalhando em uma segunda geração de unidades de energia nuclear flutuante que serão equipadas com dois reatores RITM-200M, cada um com capacidade de 50 MWe. Ele observou que, apesar de ter uma maior capacidade de geração, as novas unidades otimizadas serão menores em tamanho do que as usadas pela **Akademik Lomonosov**.

FONTE:

[HTTPS://PETRONOTICIAS.COM.BR/ARCHIVES/119378?FBCLID=IWAR1QOPDM51ERECOKWEHMNKSJ7X7KSZ1RUEP E2KFM850XYOZ_VOVYVPWY2IW](https://petronoticias.com.br/archives/119378?fbclid=Iwari1QOPDM51ERECOKWEHMNKSJ7X7KSZ1RUEP E2KFM850XYOZ_VOVYVPWY2IW)

"A única forma de energia imediatamente acessível que não causa aumento de temperatura é a nuclear. Não temos tempo para experimentar"

James Lovelock (Teoria de Gaia e Ecologista Histórico)

"Chegará um momento em que as pessoas perceberão que, se quiserem a redução do uso dos combustíveis fósseis, deverá haver um aumento de energia nuclear. Não há alternativa!"

Patrick Moore (Fundador Greenpeace e Cientista-chefe da Greenspirit Strategies)

"Em um mundo de iminentes mudanças climáticas, você depositaria todas as suas fichas para geração de energia, em alternativas que dependam exatamente da previsibilidade e invariabilidade do clima?"

Celso Marcelo Franklin Lapa

lapa@ien.gov.br

Muito obrigado pela atenção !