



## Brasil: Matriz Energética do Futuro



**Amilcar Guerreiro**  
Diretor de Estudos de Energia Elétrica  
Empresa de Pesquisa Energética - EPE

Brasília, DF | 22 de novembro de 2016



Empresa de Pesquisa Energética



## Brasil: Matriz Energética do Futuro

# AGENDA

- 1 Considerações iniciais
- 2 Contexto socioeconômico e demográfico
- 3 Energias Renováveis
- 4 Questões chave
- 5 Algumas conclusões



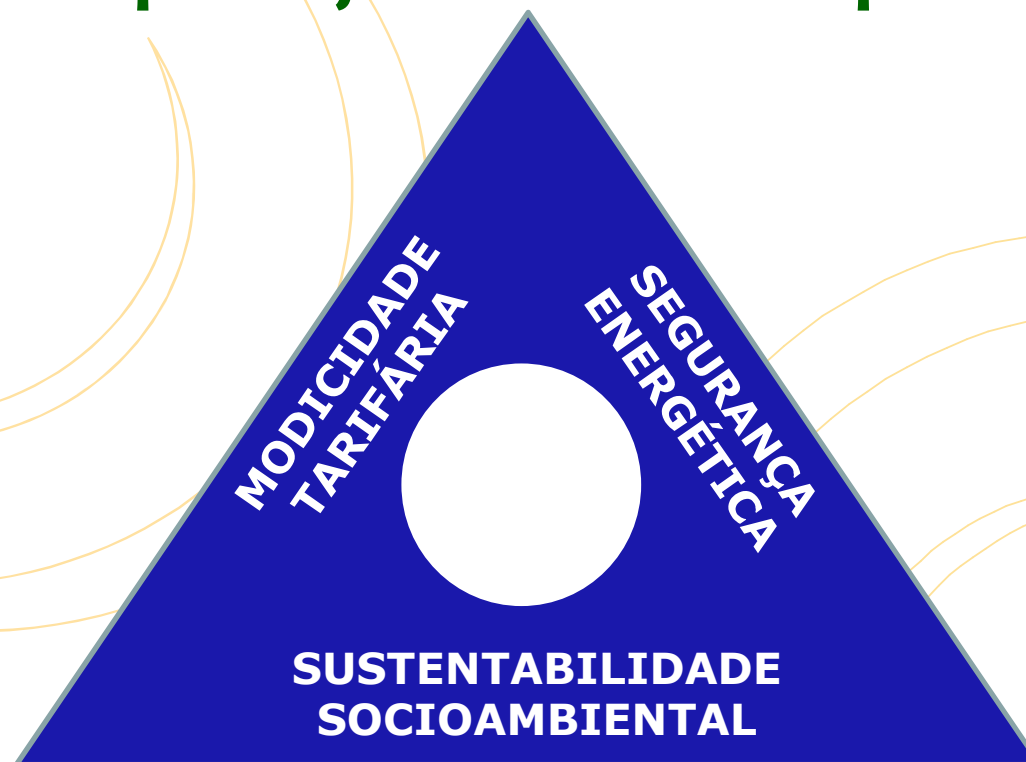
Empresa de Pesquisa Energética



# 1

## Brasil: Matriz Energética do Futuro Considerações iniciais

# Objetivos do planejamento da expansão



# Objetivos do planejamento da expansão



# Objetivos do planejamento da expansão



# Objetivos do planejamento da expansão



**Fontes renováveis e eficiência energética  
atendem aos objetivos da política energética**

# Elementos básicos da estratégia da expansão da oferta de energia elétrica

- **Eficiência energética**
- **Reciclagem e aproveitamento de resíduos**
- **Energias renováveis**
- **Energia nuclear**



uhe



eólica



solar



biomassa







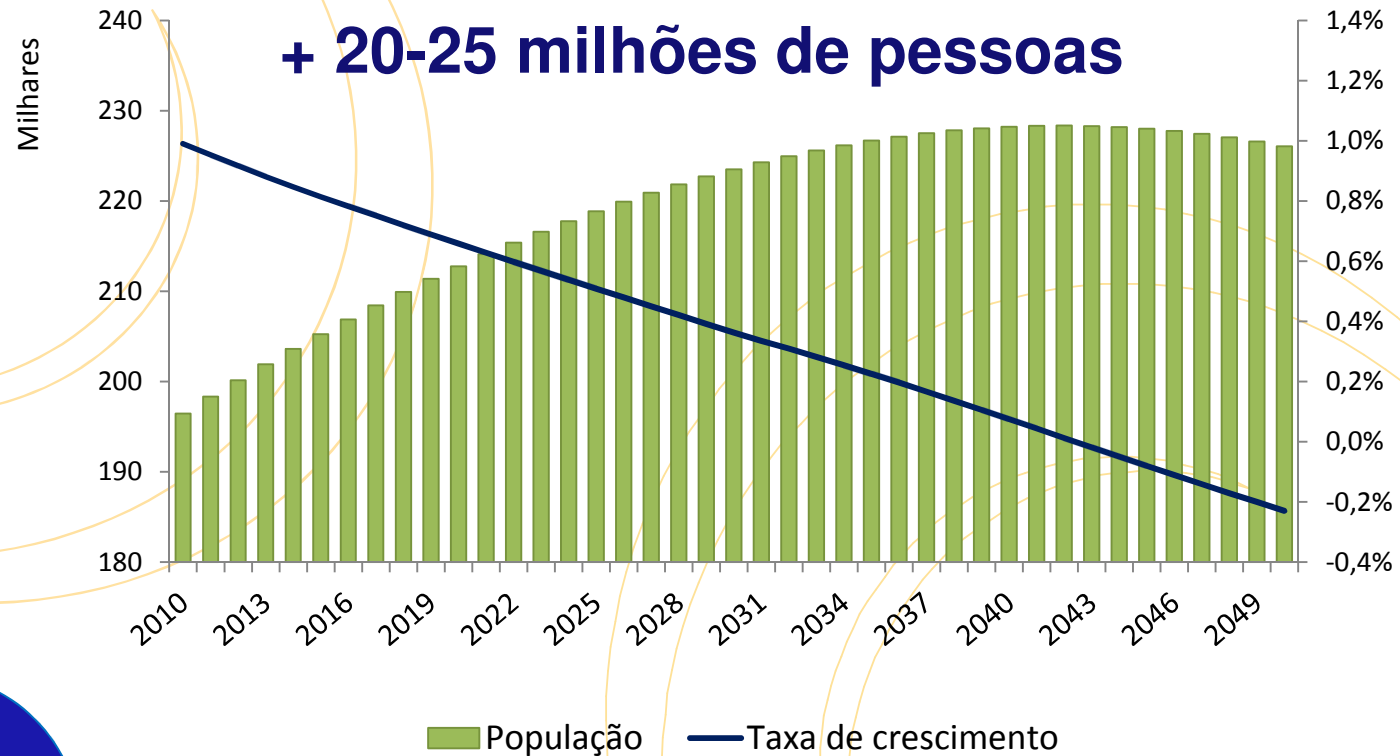
Empresa de Pesquisa Energética



## 2 Contexto socioeconômico e demográfico

Brasil: Matriz Energética do Futuro

# Contexto socioeconômico e demográfico



**CRESCIMENTO  
DEMOGRÁFICO**

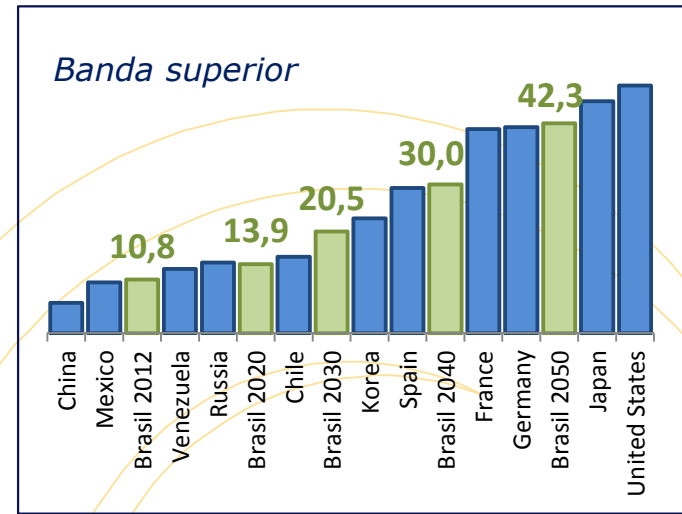
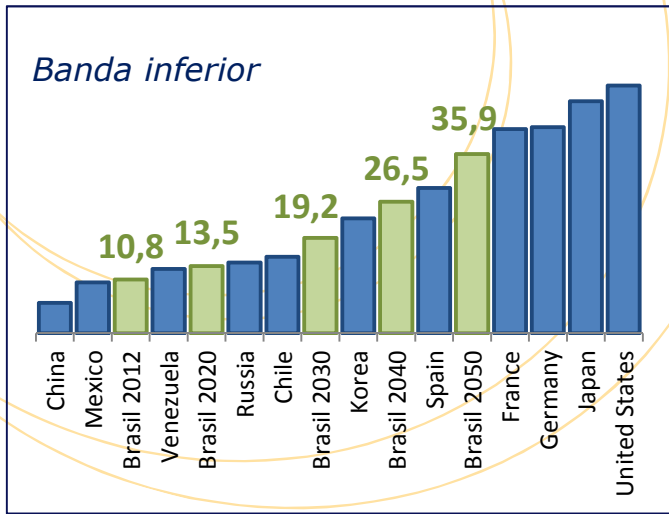


**População da Austrália  
22 milhões (2013)**  
(11.000 kWh/hab/ano)

# Contexto socioeconômico e demográfico do PNE

**Em 2050, renda per capita entre US\$ 36 mil e US\$ 42 mil por ano**

[US\$ 2012]



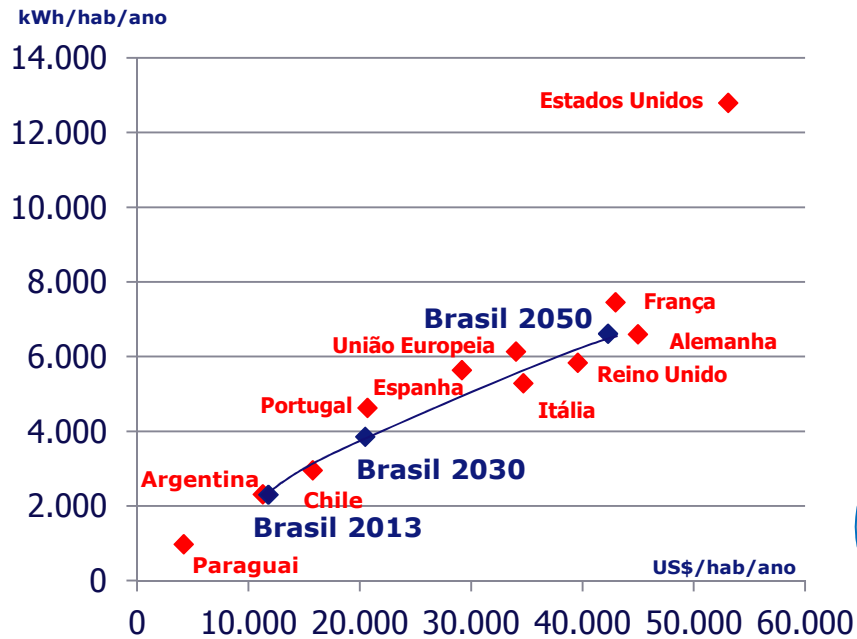
**CRESCIMENTO DA RENDA**

**CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO**



**Renda per capita da Austrália  
US\$ 36.000 (2012)**

# Contexto socioeconômico e demográfico do PNE



CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO

CRESCIMENTO DA RENDA

CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ENERGIA

**Em 2050, consumo de eletricidade comparável ao consumo atual de países industrializados**



Empresa de Pesquisa Energética



# 3

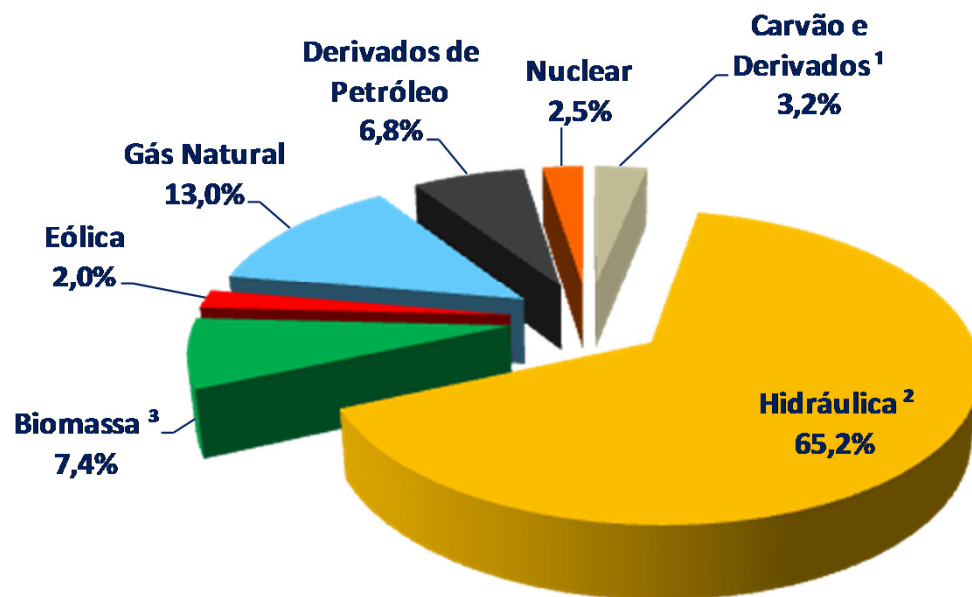
## Brasil: Matriz Energética do Futuro **Energias renováveis**



Empresa de Pesquisa Energética

# Matriz Elétrica Brasileira

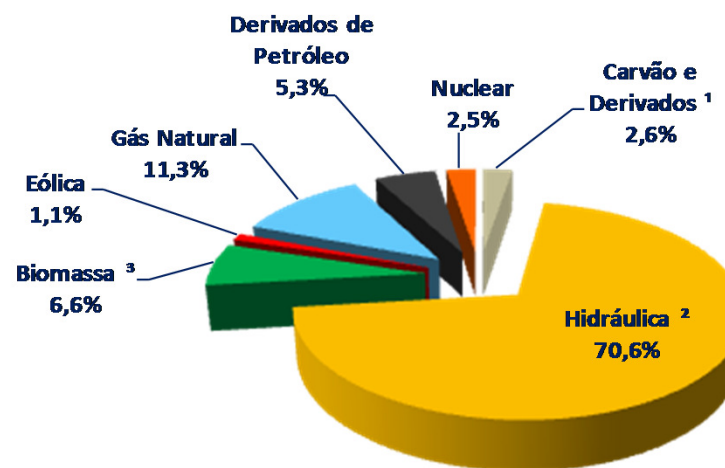
## BRASIL (2014)



oferta hidráulica<sup>2</sup> em **2014: 407,2 TWh**

oferta **total**<sup>2</sup> em **2014: 624,3 TWh**

## BRASIL (2013)



oferta hidráulica<sup>2</sup> em **2013: 431,3 TWh**

oferta **total**<sup>2</sup> em **2013: 611,2 TWh**

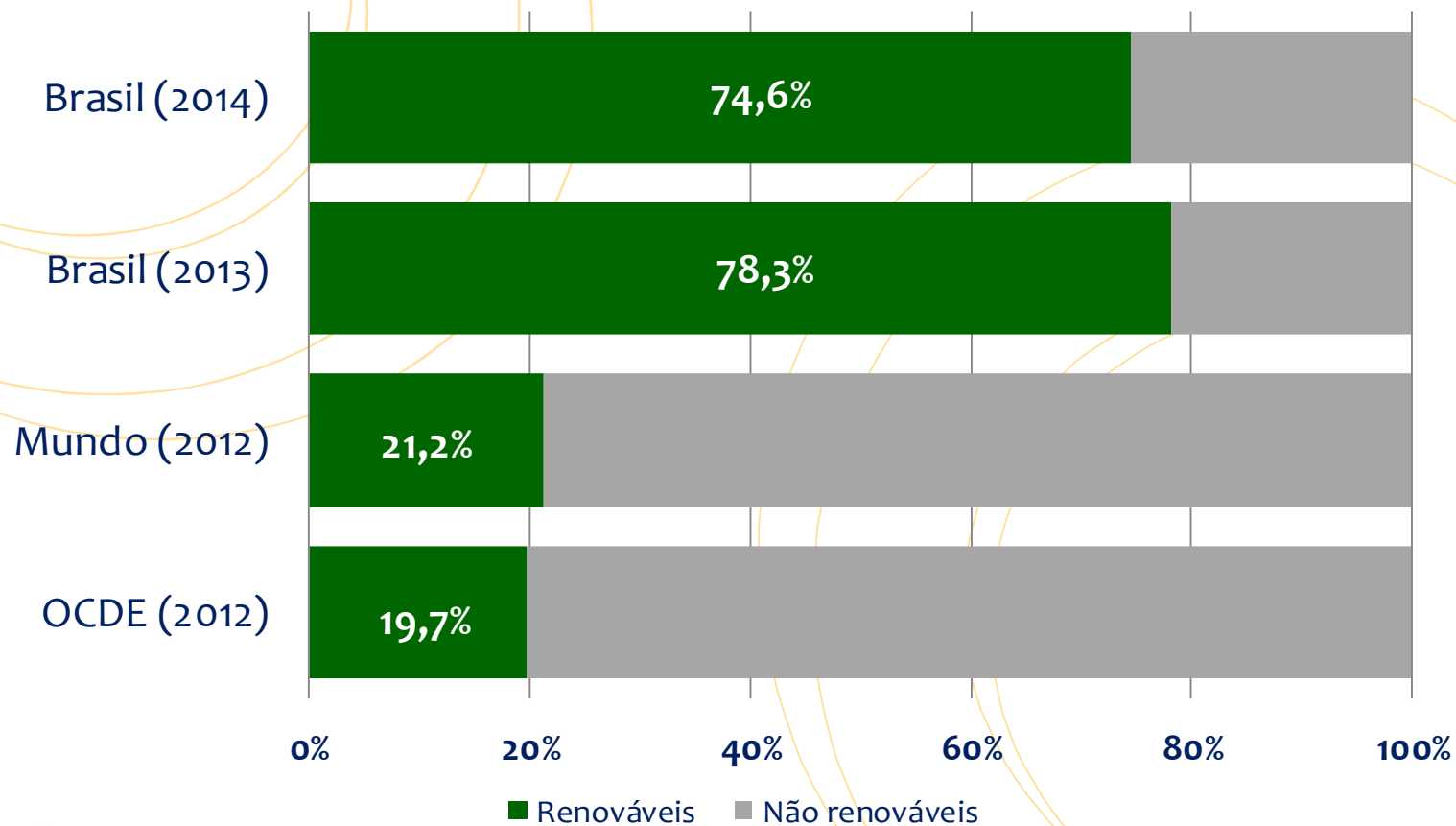
<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria

<sup>2</sup> Inclui importação

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras fontes primárias.

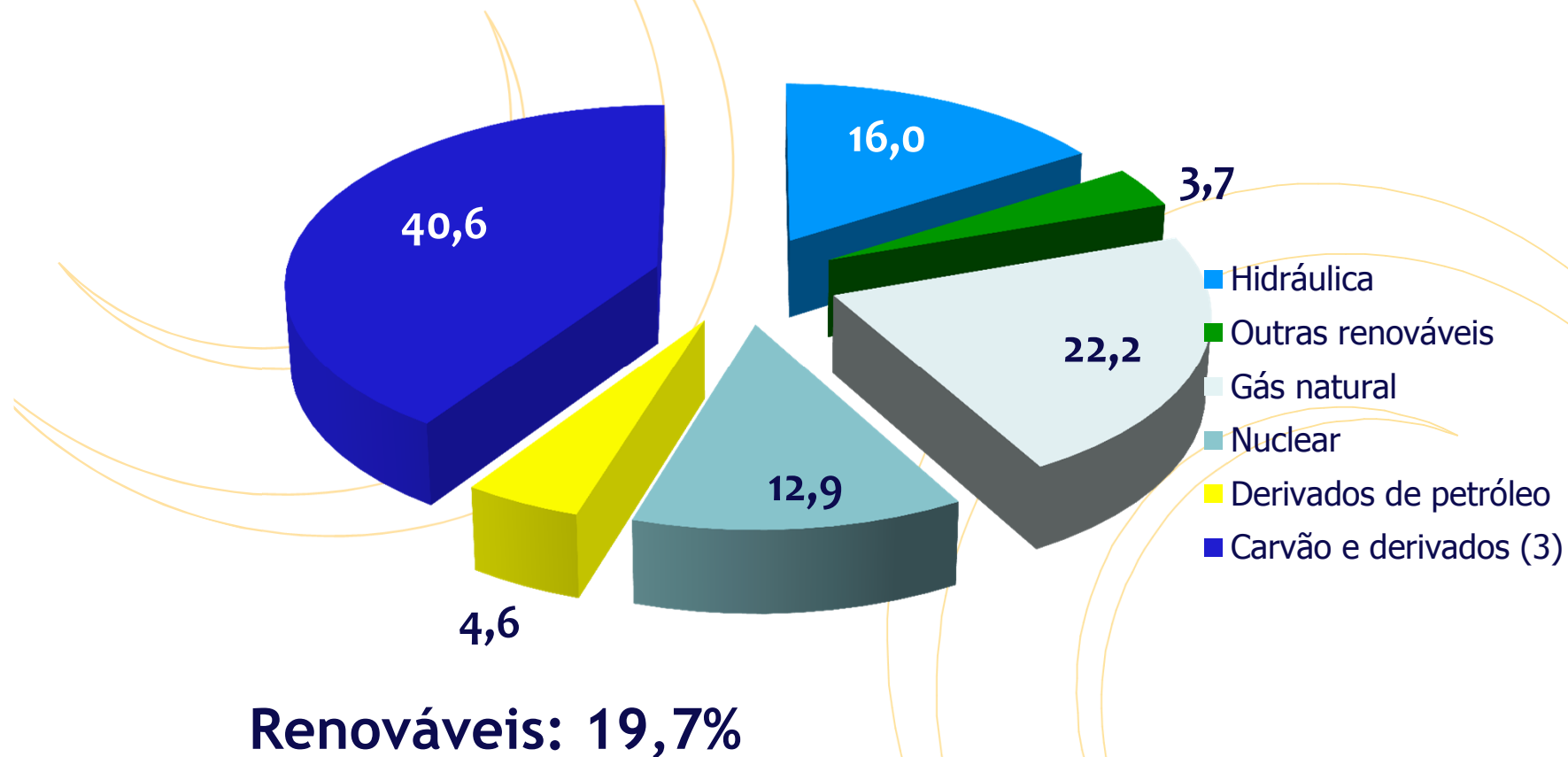
## Participação de renováveis na matriz elétrica

- Em 2014, a participação de renováveis na Matriz Elétrica Brasileira caiu para 74,6% devido às condições hidrológicas desfavoráveis e ao aumento da geração térmica.



# Matriz elétrica mundial, 2010

Fonte: AIE, 2012

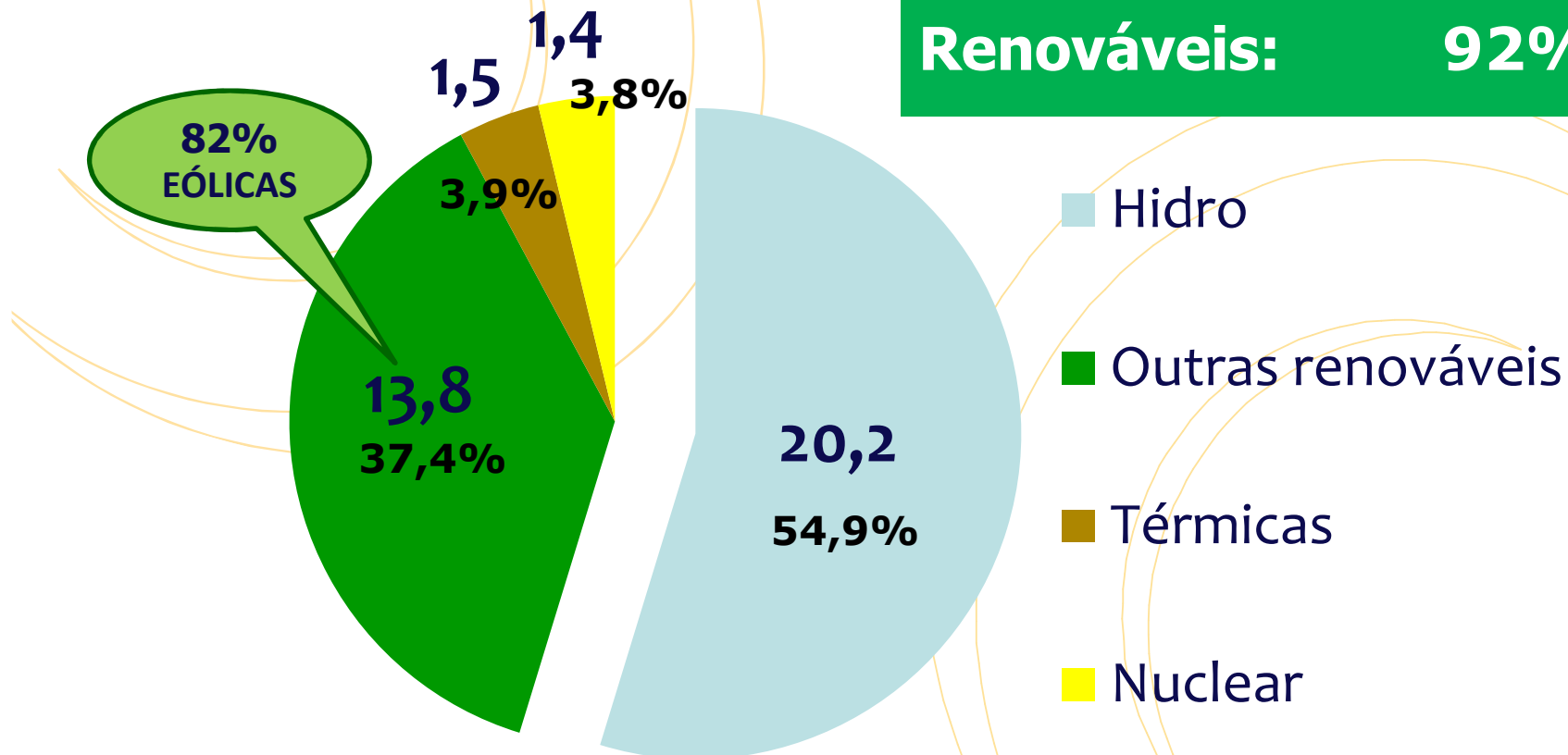




## ▪ Expansão já contratada da capacidade instalada do SIN

# 36,9 GW

**Renováveis: 92%**

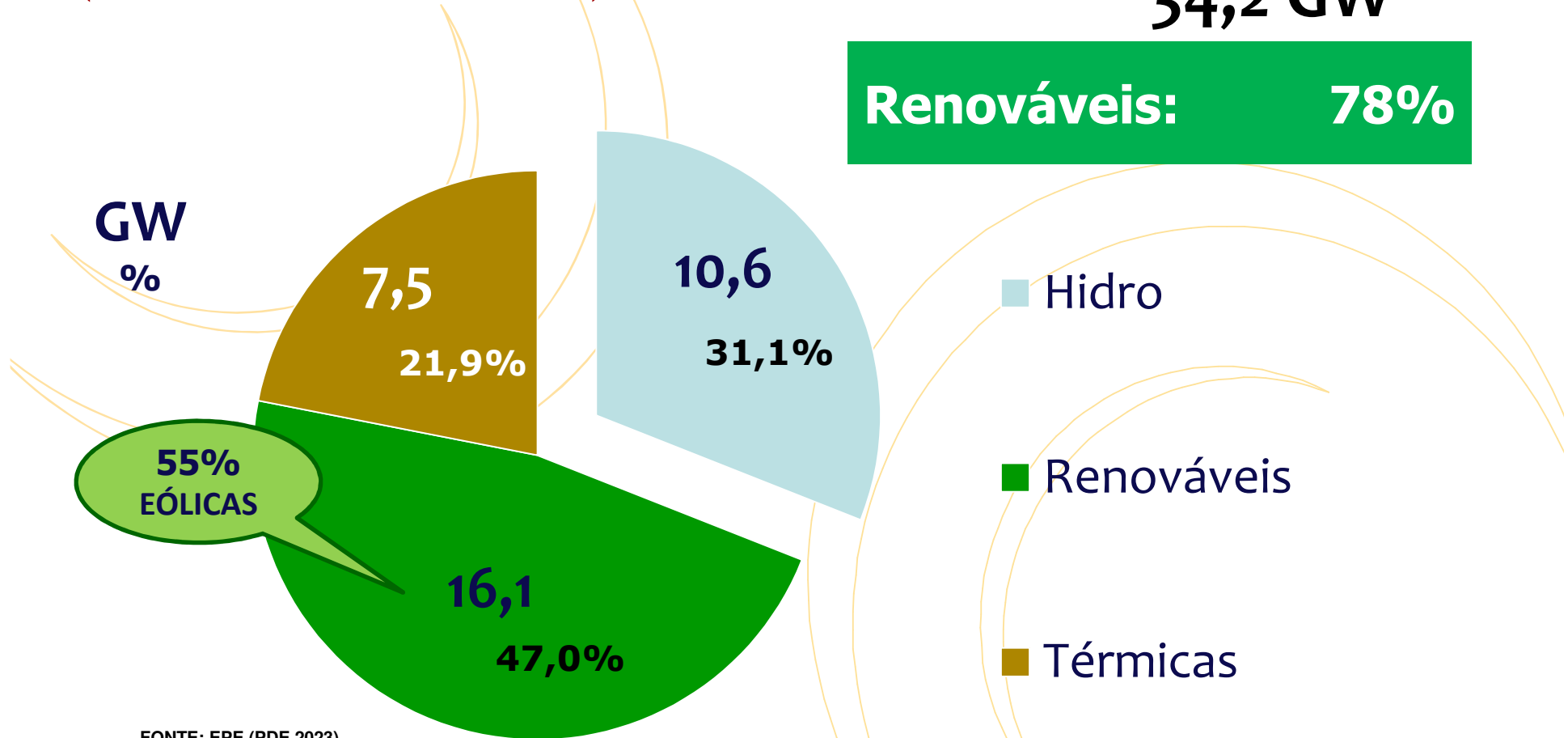


FONTE: EPE (PDE 2023)  
Outras renováveis: eólicas, biomassa e PCH

# Expansão planejada da capacidade instalada do SIN (horizonte decenal)

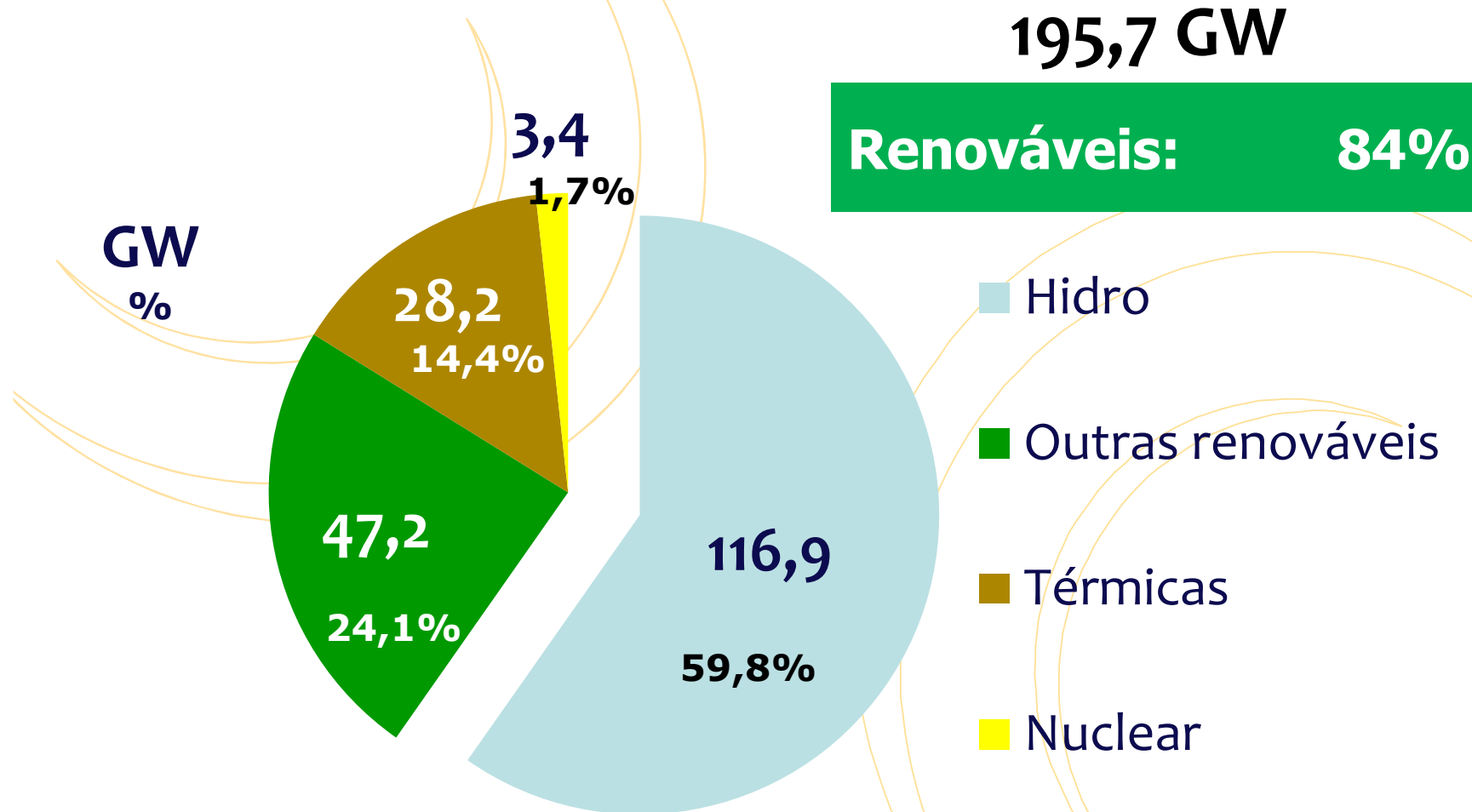
34,2 GW

Renováveis: 78%



FONTE: EPE (PDE 2023)

## Capacidade instalada no SIN, 2023



FONTE: EPE (PDE 2023)

Obs.: Hidro inclui importação (Itaipu)

Outras renováveis: eólicas, biomassa e PCH

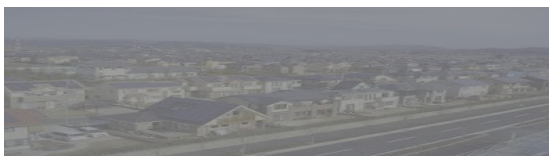


Empresa de Pesquisa Energética

## ■ Perspectivas renováveis

### EÓLICA

- ✓ *Vasto potencial*
- ✓ *Competitividade comprovada*
- ✓ *Mantem (20 mil MW em 10 anos) ou aumenta ritmo de expansão da capacidade instalada*



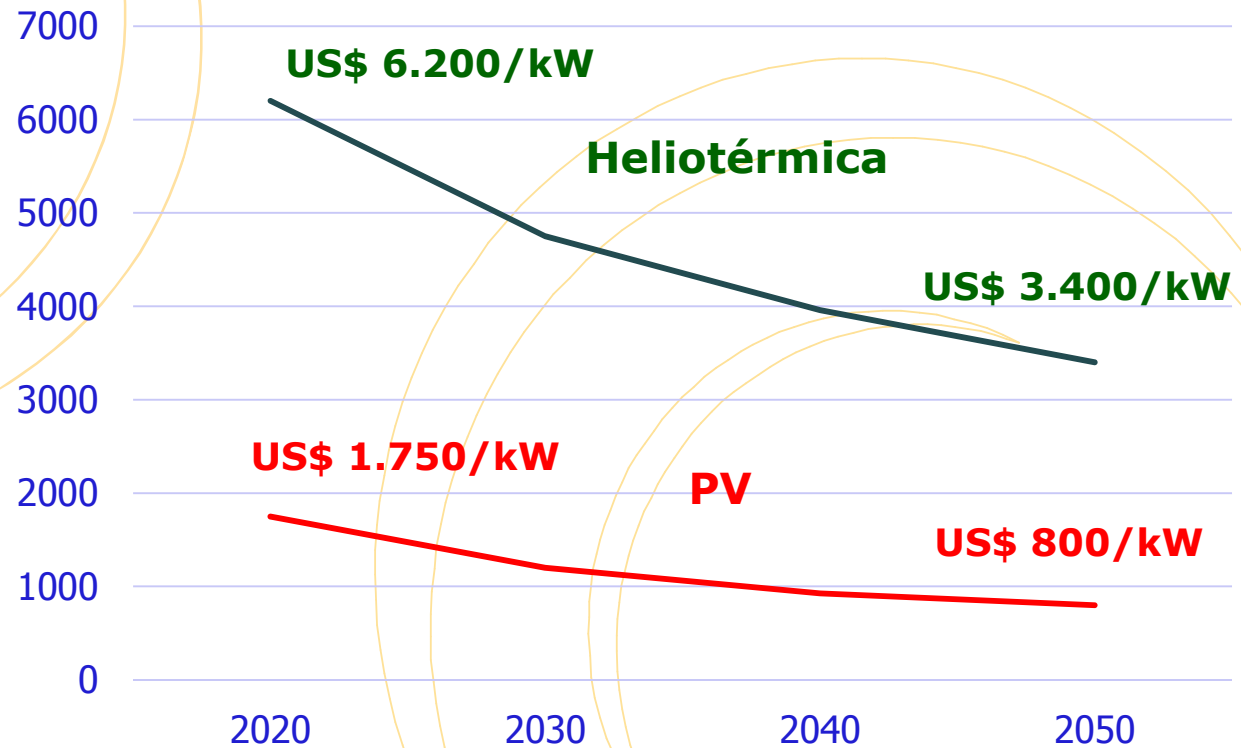
### BIOMASSA

- ✓ *Expansão da **biomassa da cana** é função do crescimento da produção do setor sucroalcooleiro*
  - ✓ *Potencial para triplicar a geração elétrica entregue à rede com aumento da produtividade e da oferta de biomassa*
  - ✓ *Competição com a produção de etanol de 2ª geração*
- ✓ *Potencial de expansão de **outras biomassas** (madeira, resíduos etc.)*

- Perspectivas renováveis

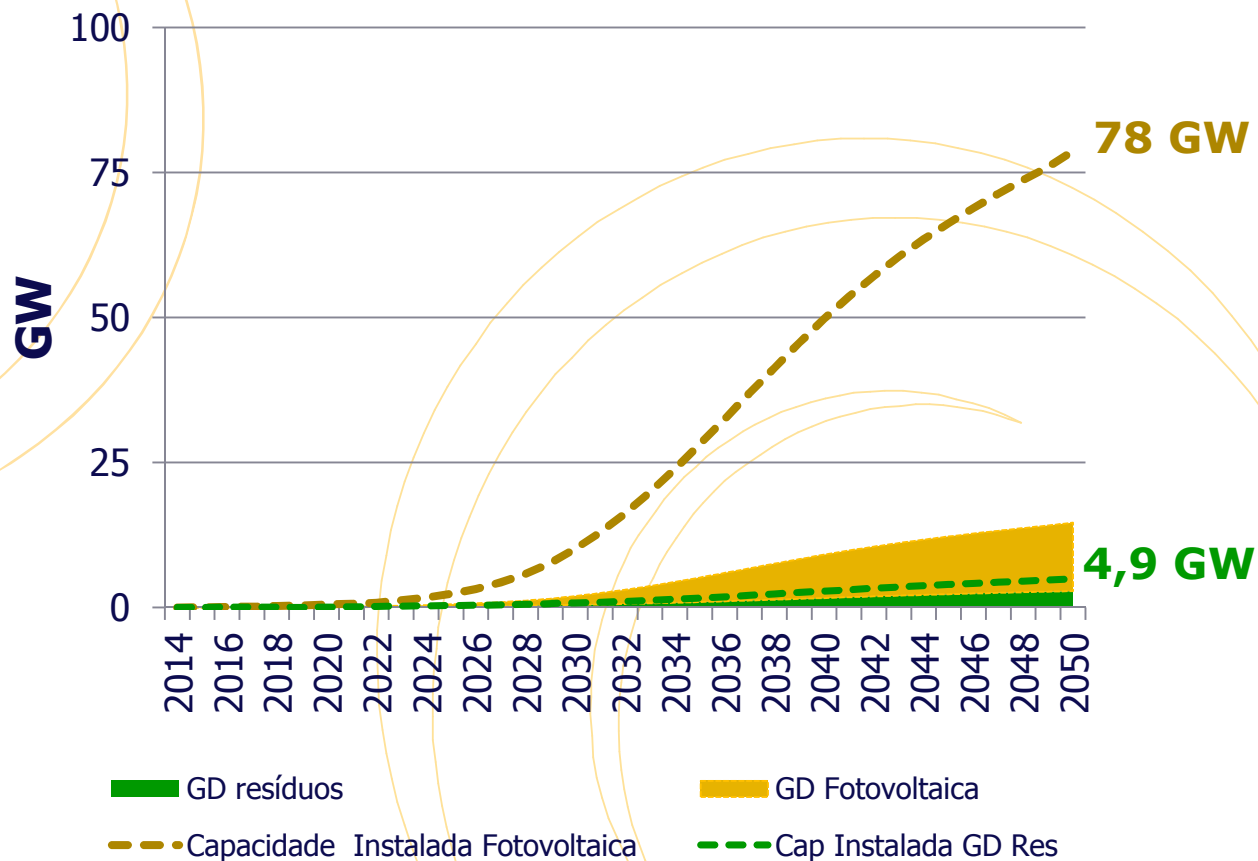
## ENERGIA SOLAR

*Custo de investimento, US\$/kW*



## Perspectivas renováveis

# GERAÇÃO DISTRIBUÍDA





Empresa de Pesquisa Energética



# 4

## Brasil: Matriz Energética do Futuro Questões chave



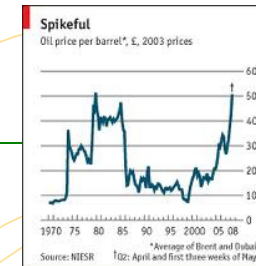


# Questões chave



**Expansão hidrelétrica**

**Preço da energia**



**Mudanças climáticas**

(emissões CO<sub>2</sub>)

**Efeitos da inserção de**

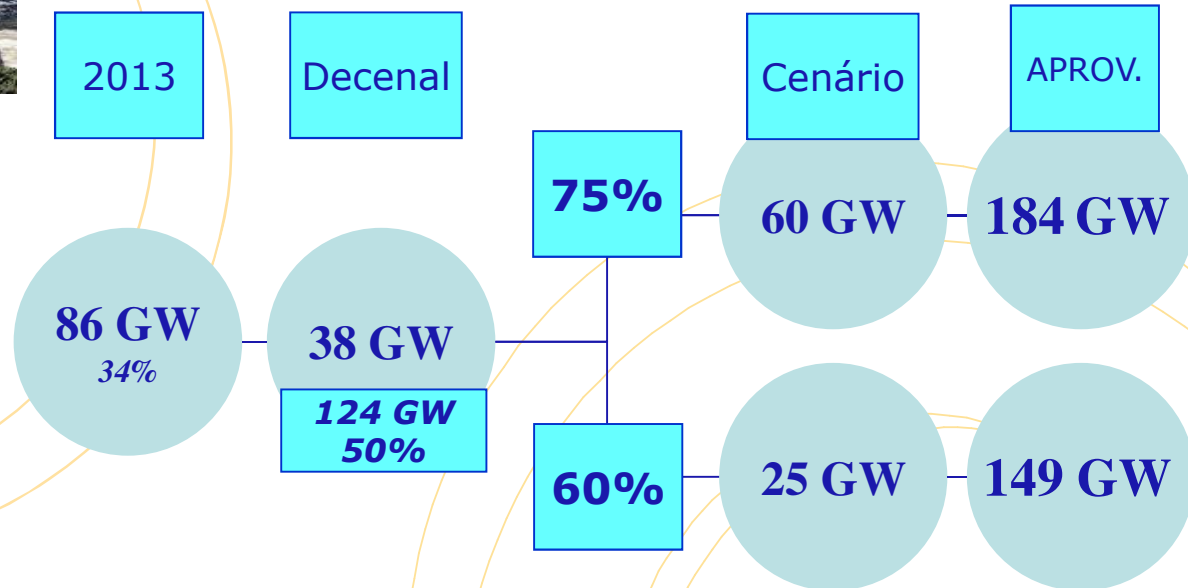
**renováveis no sistema**

**Eficiência energética**



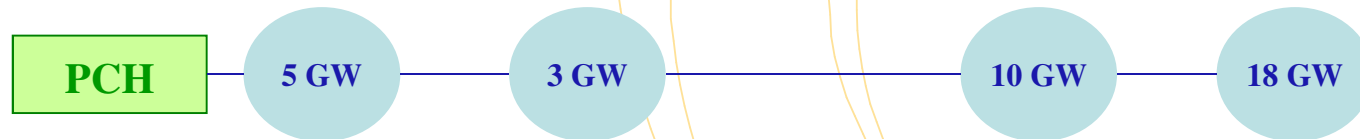


# EXPANSÃO HIDRELÉTRICA(\*)



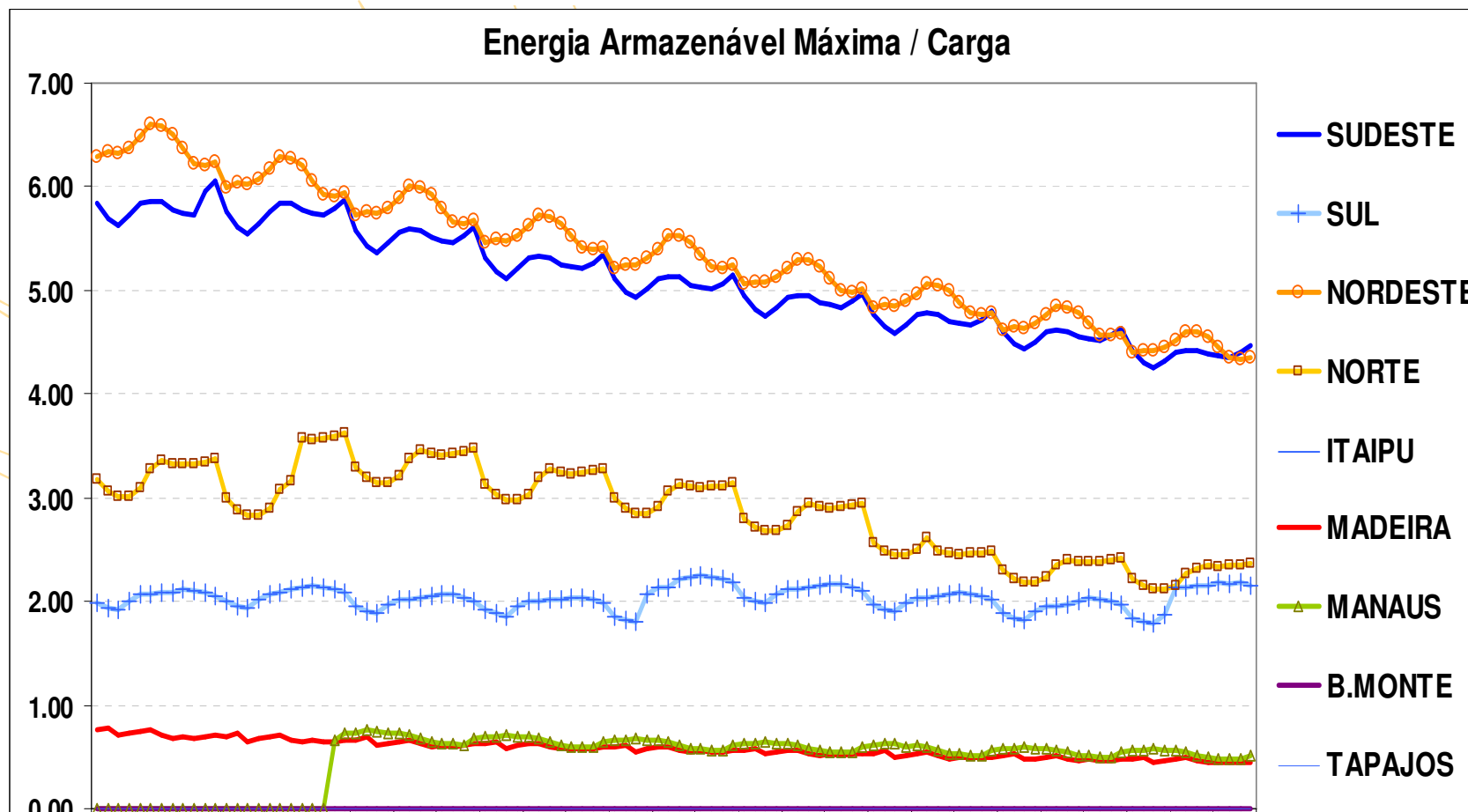
(\*) Inclui PCH

Obs.: Potencial total: 250 GW, considerando apenas metade dos aproveitamentos binacionais e não considerando unidades de ponta (10 GW)



# CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DO SIN

(em relação ao consumo)



## Menor expansão hidrelétrica

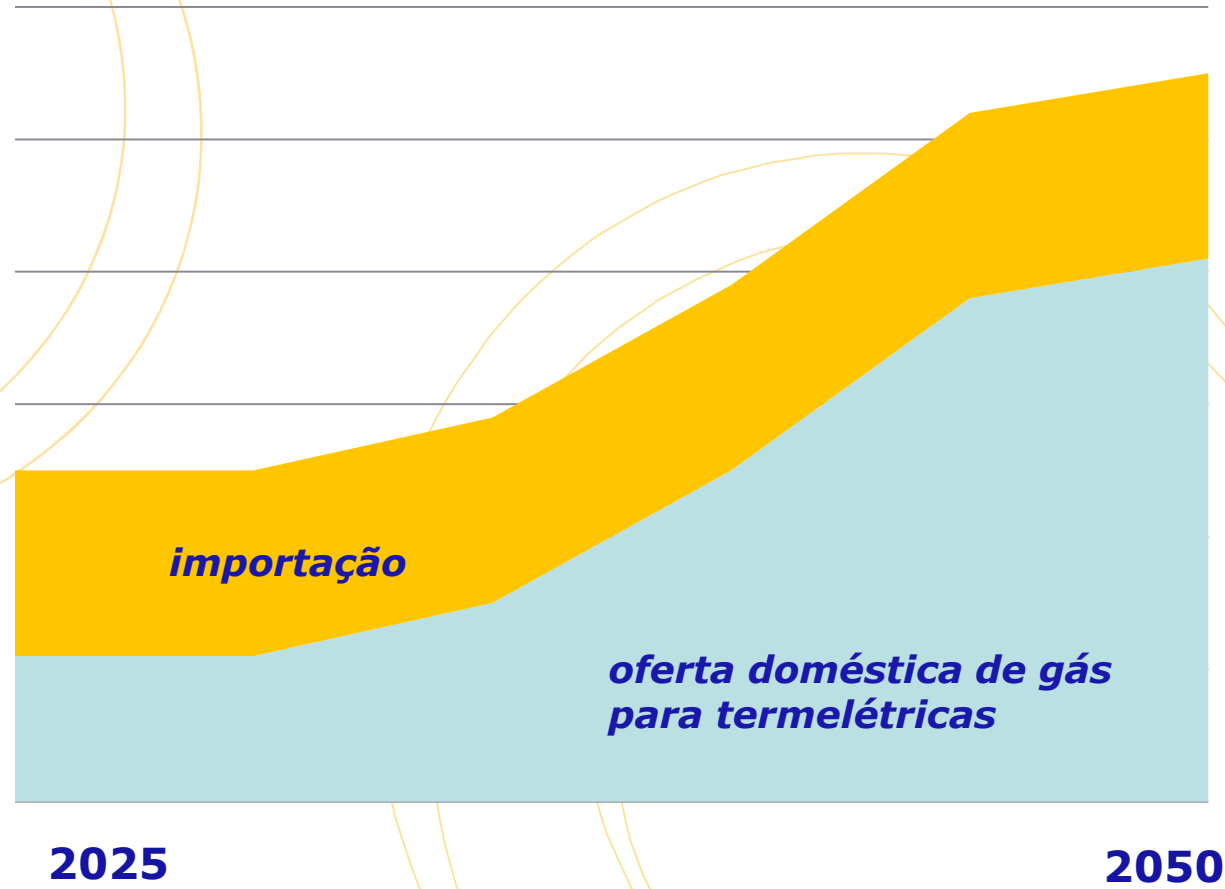
- maior expansão de outras renováveis



- maior expansão termelétrica



# GÁS NATURAL





## CARVÃO

- **Projeto típico: 500 MW**
- **Investimento**  
**nacional: US\$ 4.050/kW**  
**importado: US\$ 3.680/kW**
- **Custo do combustível**  
**nacional: US\$ 25/MWh (US\$ 30/t)**  
**importado: US\$ 45/MWh (US\$ 100/t)**



# GERAÇÃO NUCLEAR

- **Projeto típico  
AP 1000 (1.000 MW)**
- **Investimento  
US\$ 6.320/kW**

## Expansão termelétrica

- **gás: preço do gás e investimento em E & P**
- **carvão x gás natural: preço do gás**
- **nuclear: limitações constitucionais à participação privada**
- **carvão: evolução tecnológica para captura e armazenamento de carbono**
- **nuclear x carvão: custo de investimento**



# Questões chave



Expansão hidrelétrica

Preço da energia



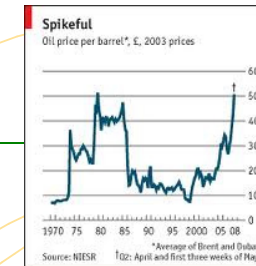
Mudanças climáticas

(emissões CO<sub>2</sub>)

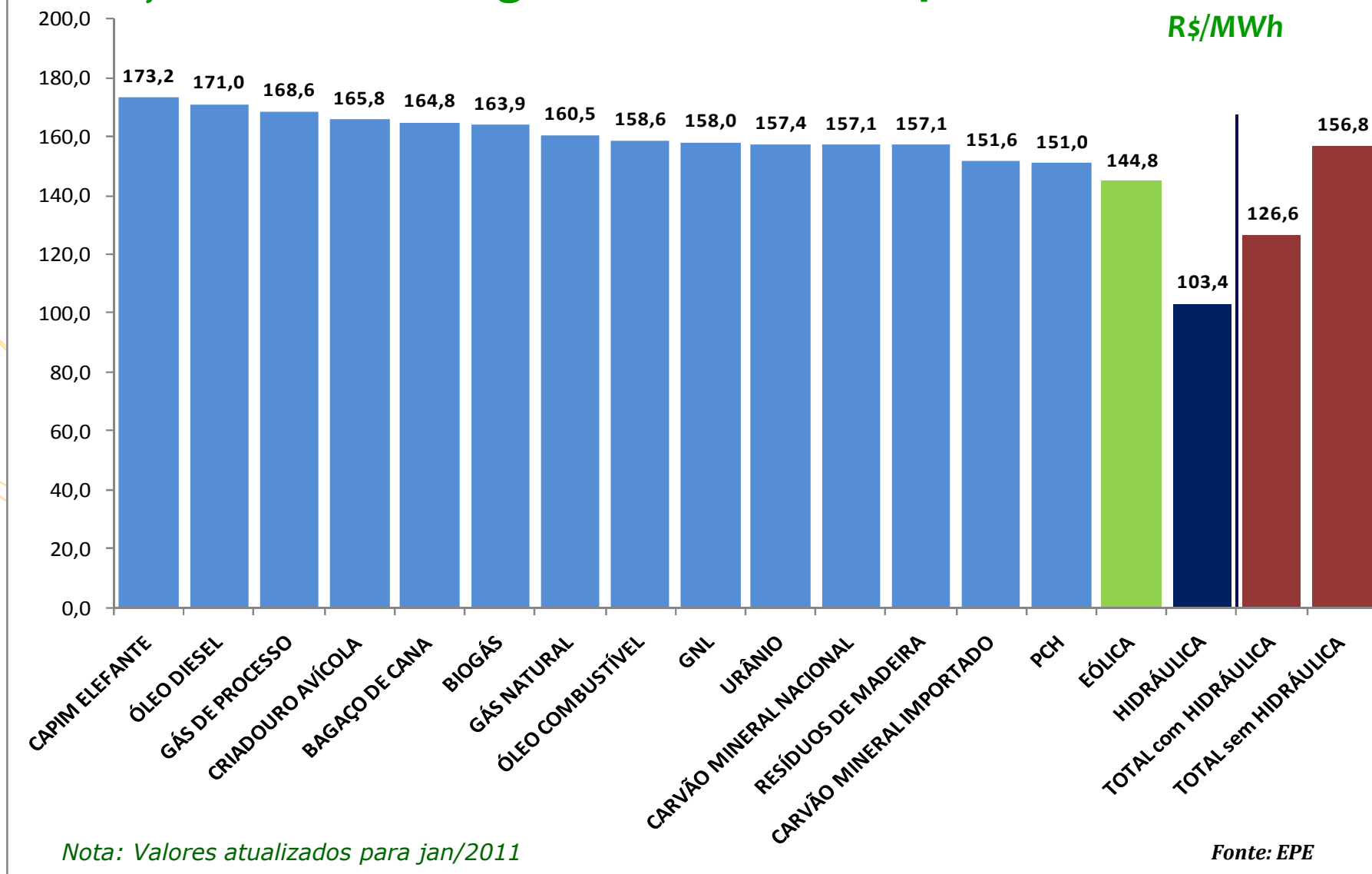
Efeitos da inserção de

renováveis no sistema

Eficiência energética



## Preço médio da energia nos leilões de expansão da oferta



# Questões chave



Expansão hidrelétrica

Preço da energia



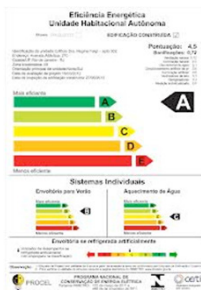
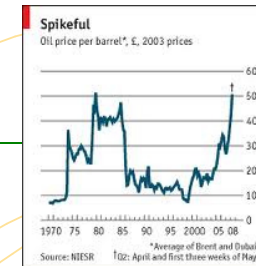
Mudanças climáticas

(emissões CO<sub>2</sub>)

Efeitos da inserção de

renováveis no sistema

Eficiência energética

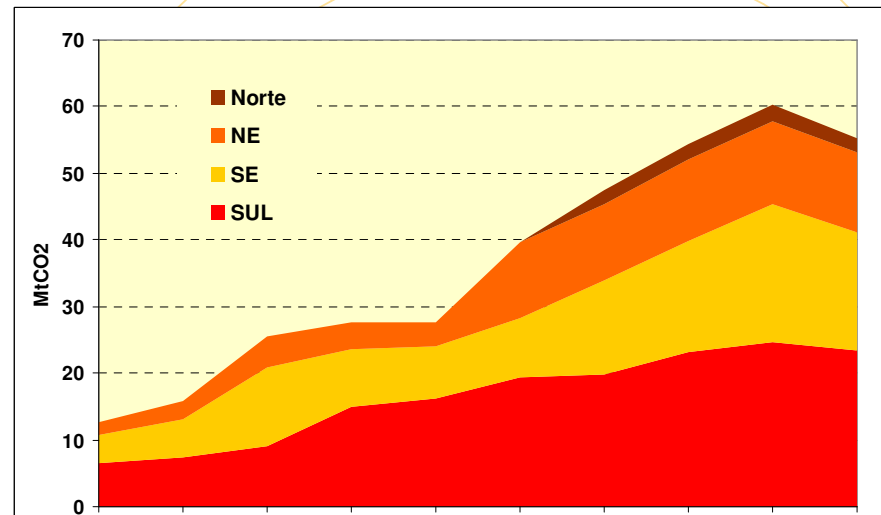
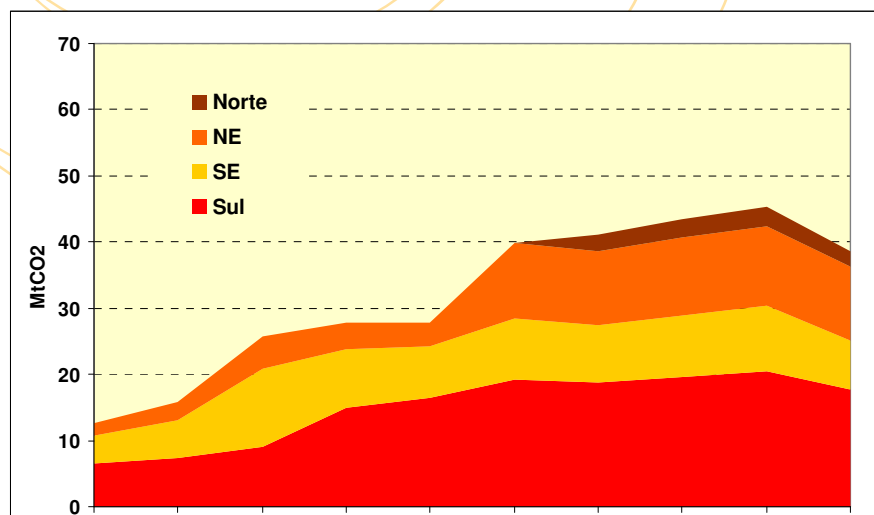


# Menor expansão hidrelétrica

Emissões de CO<sub>2</sub> mais altas na produção de eletricidade

Sistema **COM** hidráulicas

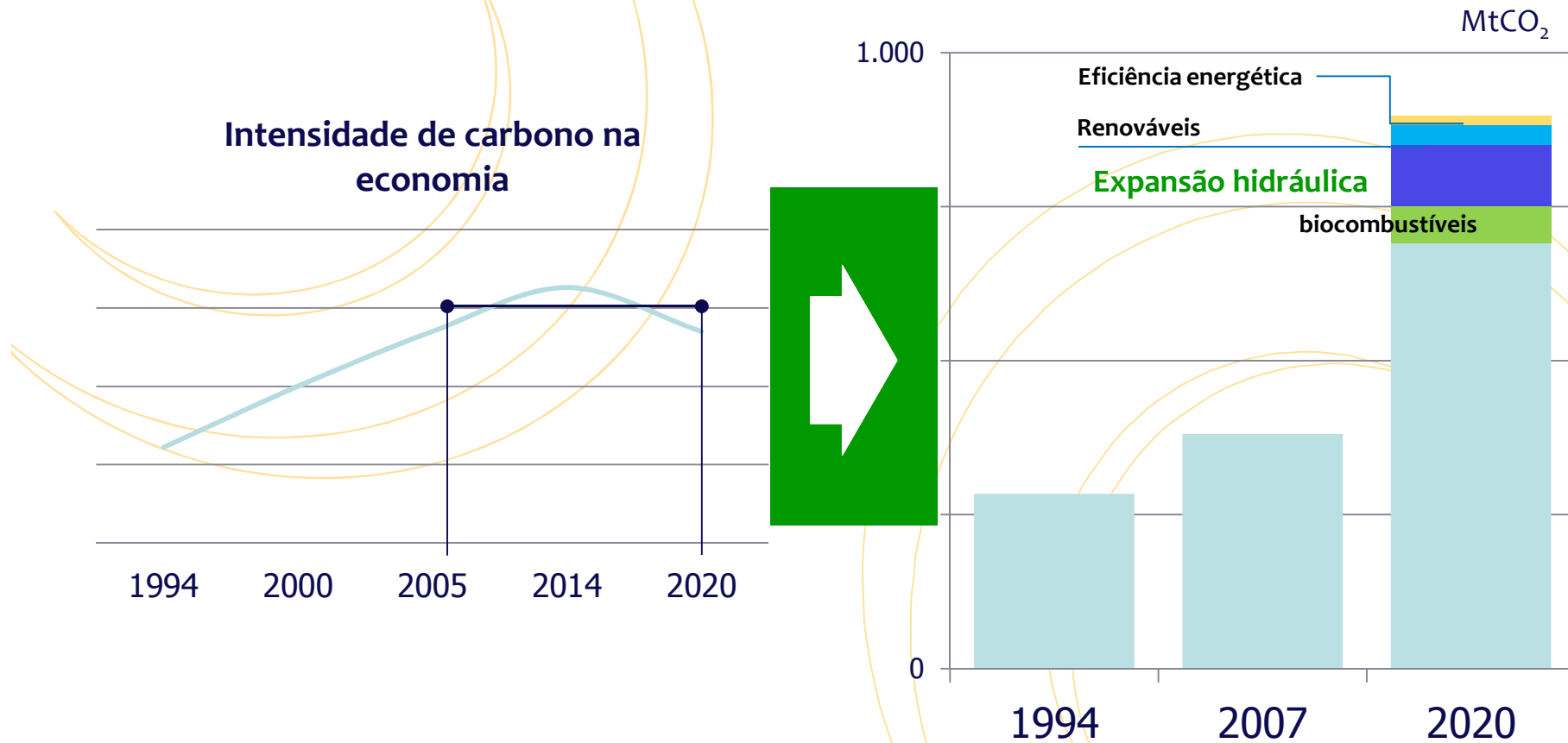
Sistema **SEM** hidráulicas



horizonte decenal

# Renováveis e metas brasileiras de emissões de CO<sub>2</sub>

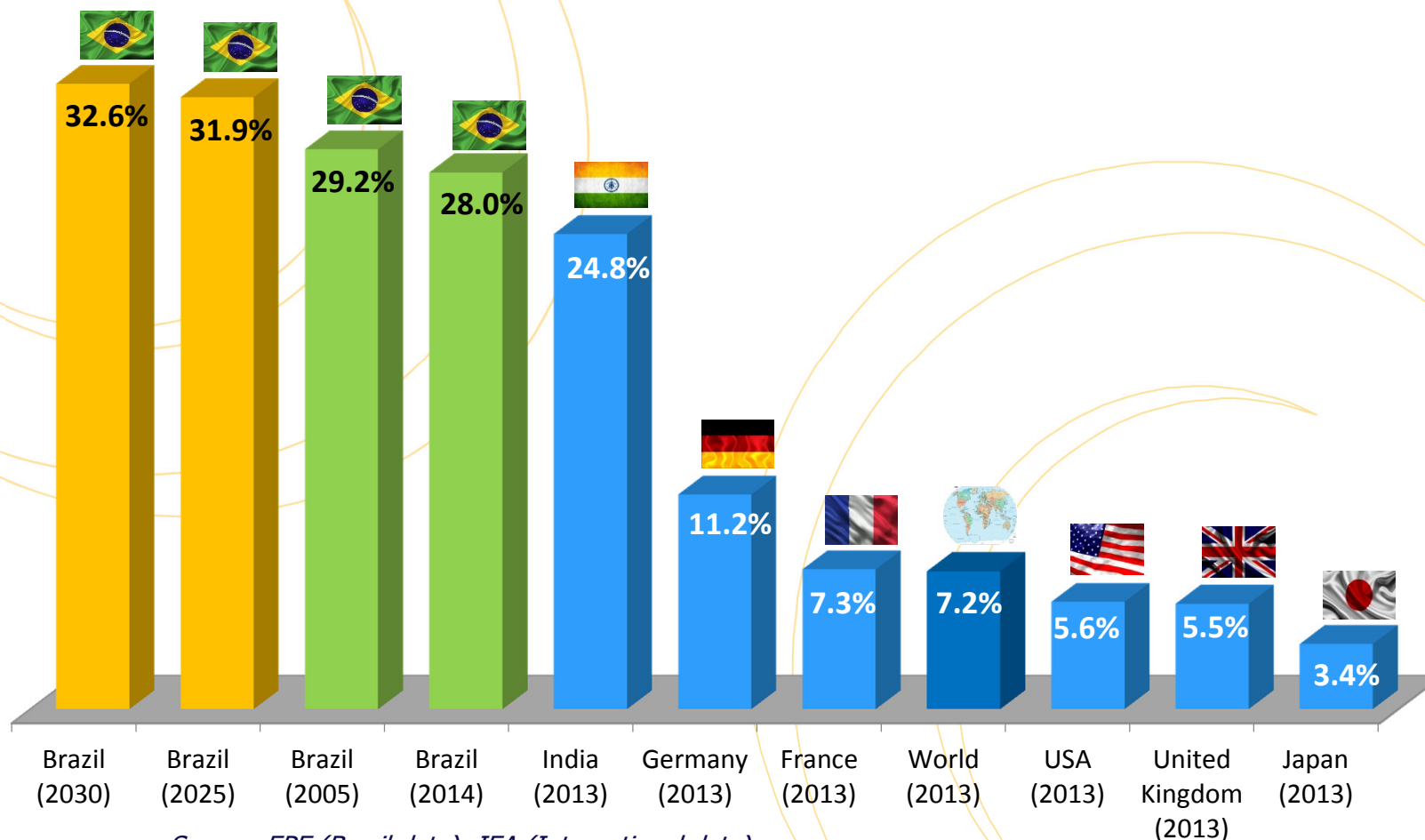
(metas anunciadas na COP 15 e formalizadas no Decreto nº 7.390/10)



## SHARE OF RENEWABLES IN TOTAL PRIMARY ENERGY SUPPLY (TPES) EXCLUDING HYDROPOWER/ELECTRICITY (COP 21)



**iNDC:** Expanding the use of renewable energy sources other than hydropower in the total energy mix to between 28% and 33% by 2030.

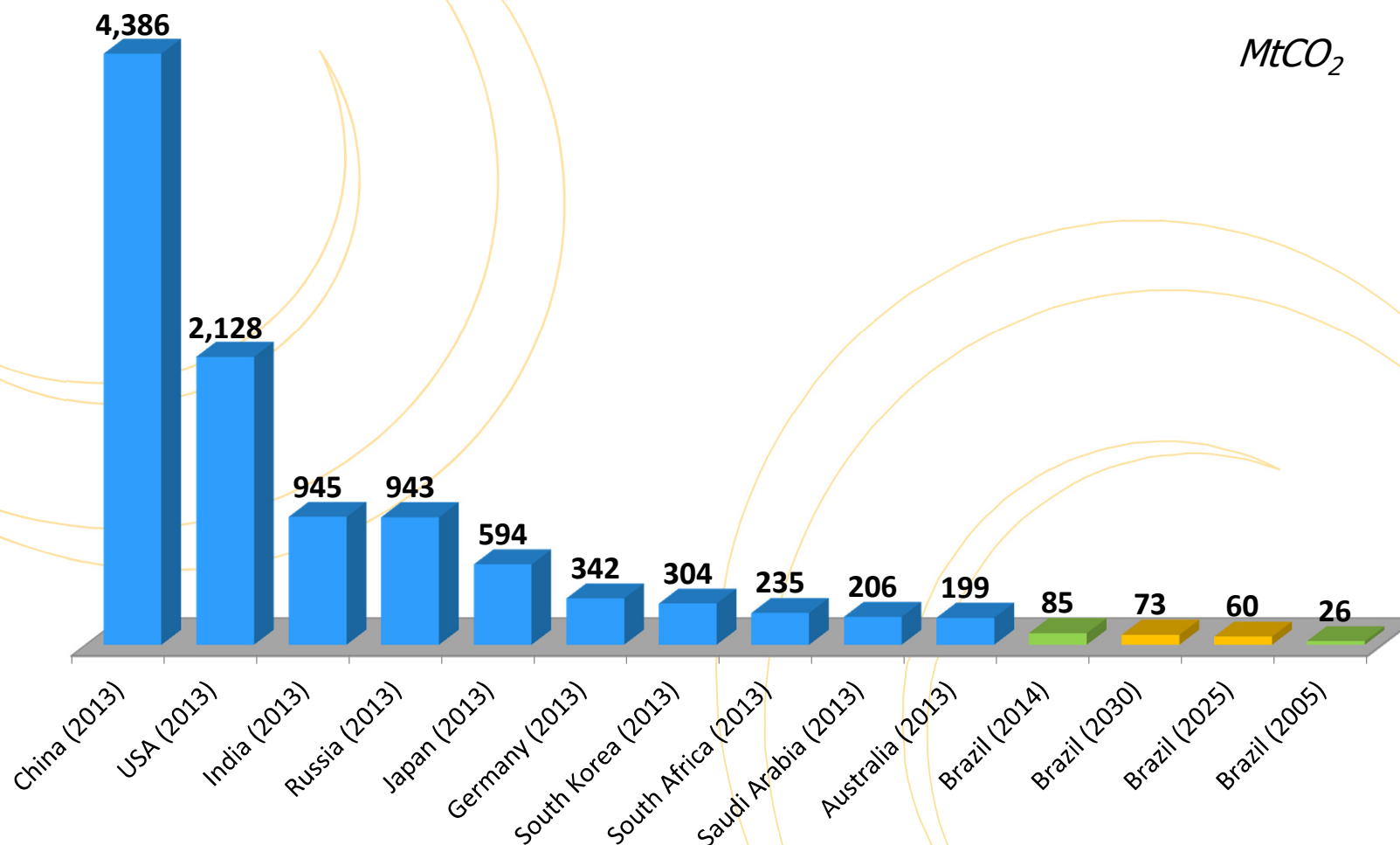


Source: EPE (Brazil data); IEA (International data)

Note: For Brazil, includes ethanol and biodiesel.  
For other countries corresponds to biofuels and waste

# GHG ANTHROPOGENIC EMISSIONS

## ELECTRICITY SECTOR (INTERNATIONAL COMPARISONS)



Source: EPE (Brazil data); IEA, 2015 (International data)

Note: Refers only to CO<sub>2</sub> | International data for "electricity & heat production" | Data for Brazil in GWP AR5

# Questões chave



Expansão hidrelétrica

Preço da energia

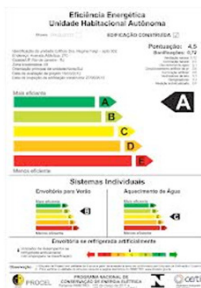
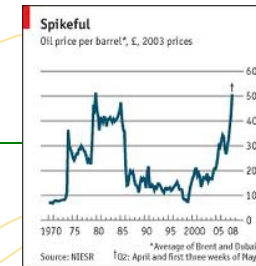


Mudanças climáticas

(emissões CO<sub>2</sub>)

Efeitos da inserção de renováveis no sistema

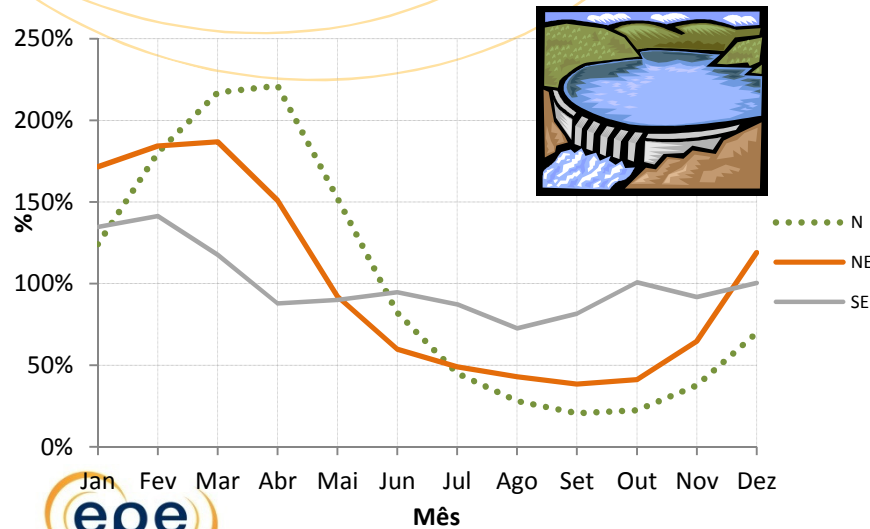
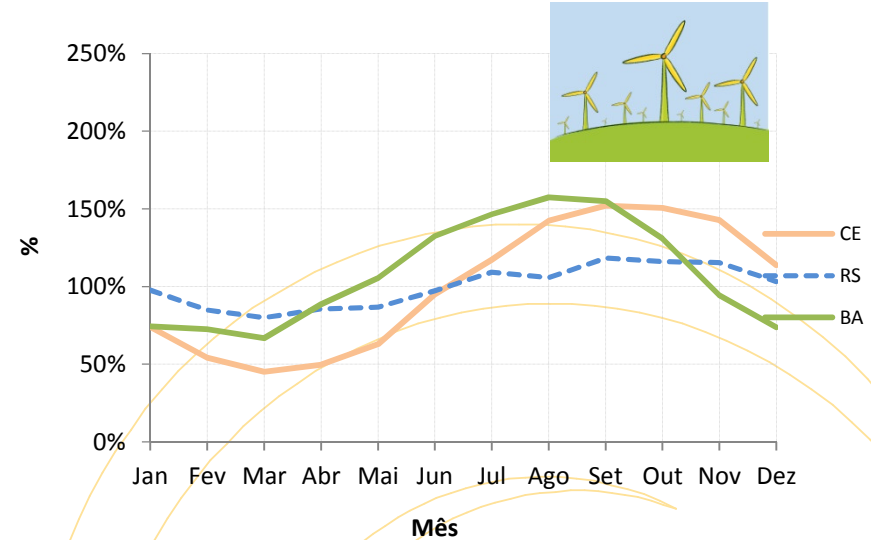
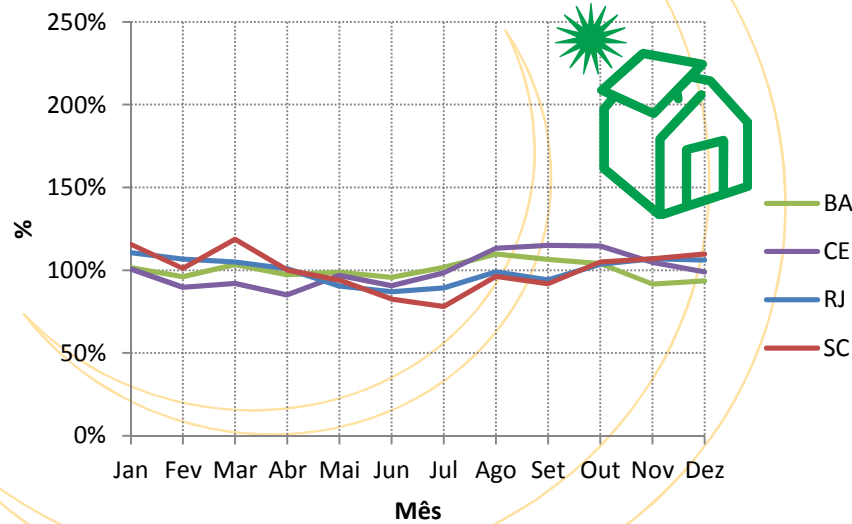
Eficiência energética





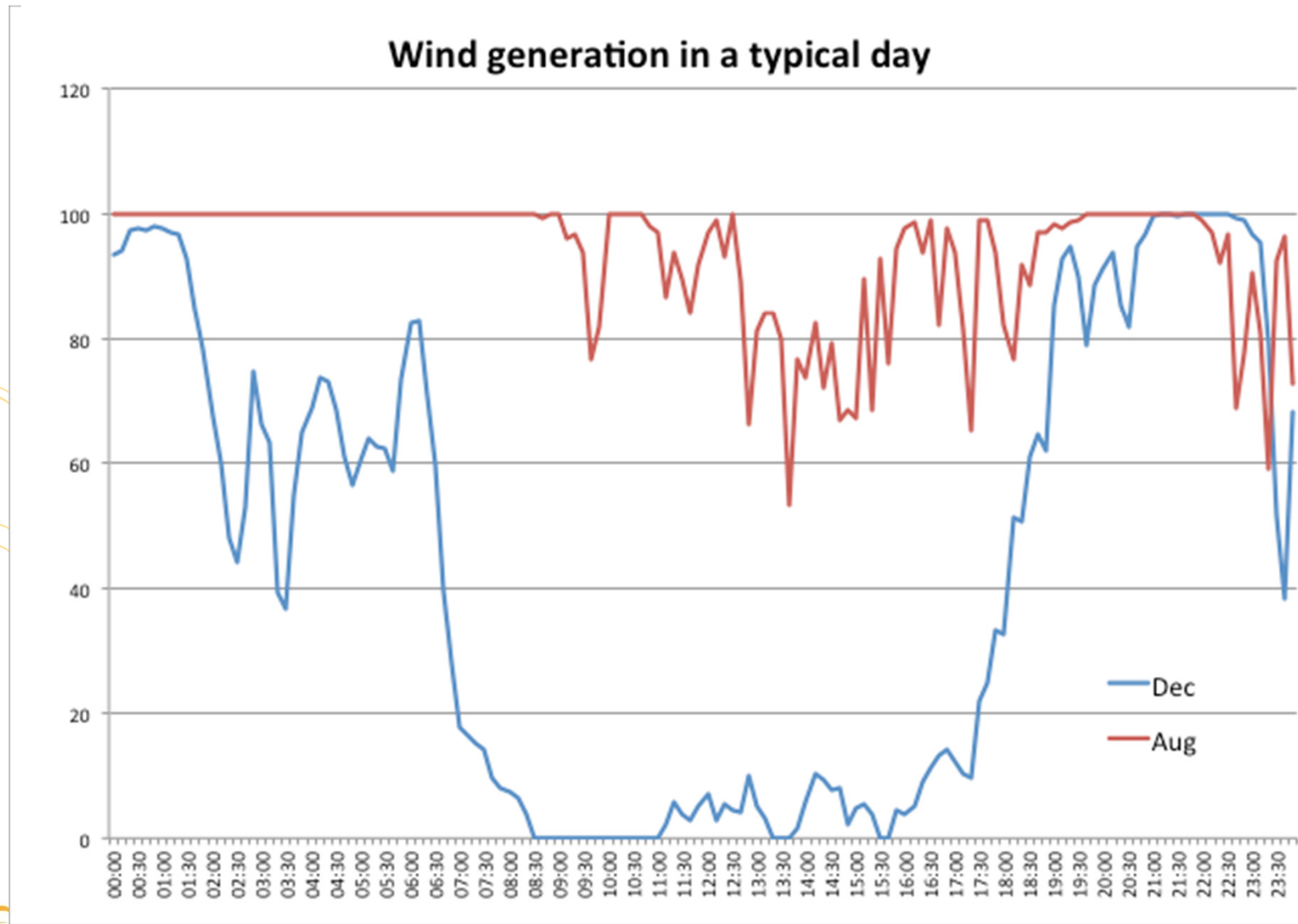
# FONTES RENOVÁVEIS

Curva anual da geração esperada (média = 100%)



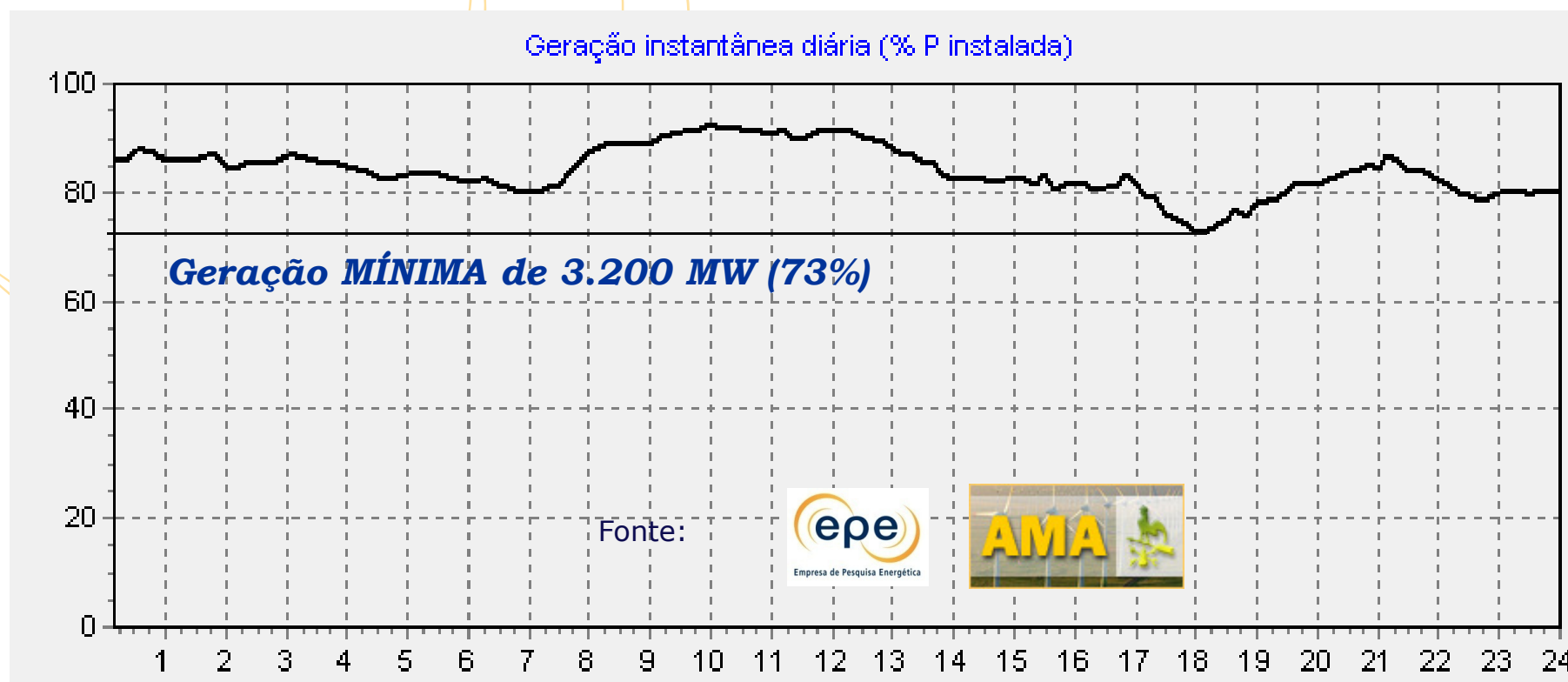
- **Variação anual da geração solar é menor do que a da geração eólica e do que a geração hidráulica**

# Características das fontes renováveis



# Simulação operação parque eólico na Região Nordeste (2015, 4.336 MW, 167 parques)

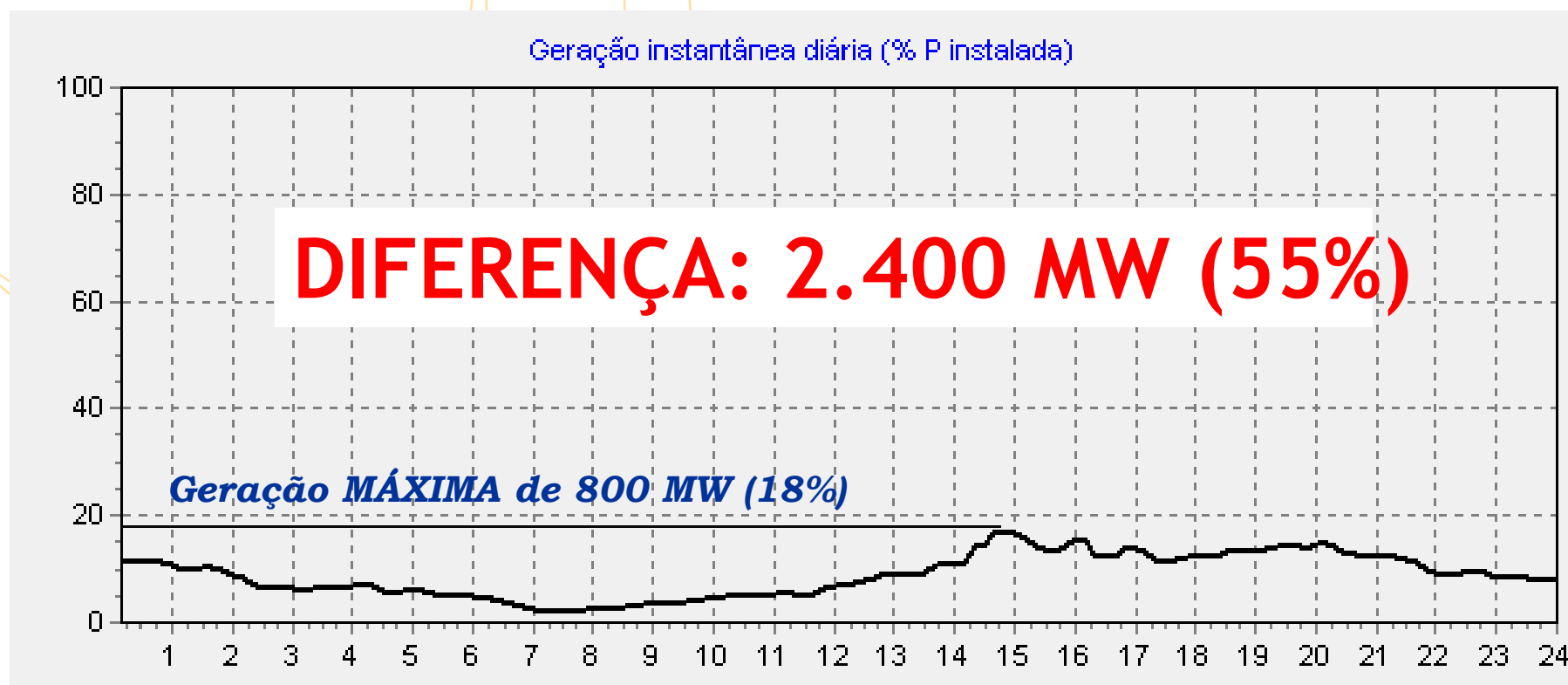
## Dia de MAIOR geração: 16/08/2015



# Simulação operação parque eólico Região Nordeste

(2015, 4.336 MW, 167 parques)

**Dia de MENOR geração: 06/04/2015**



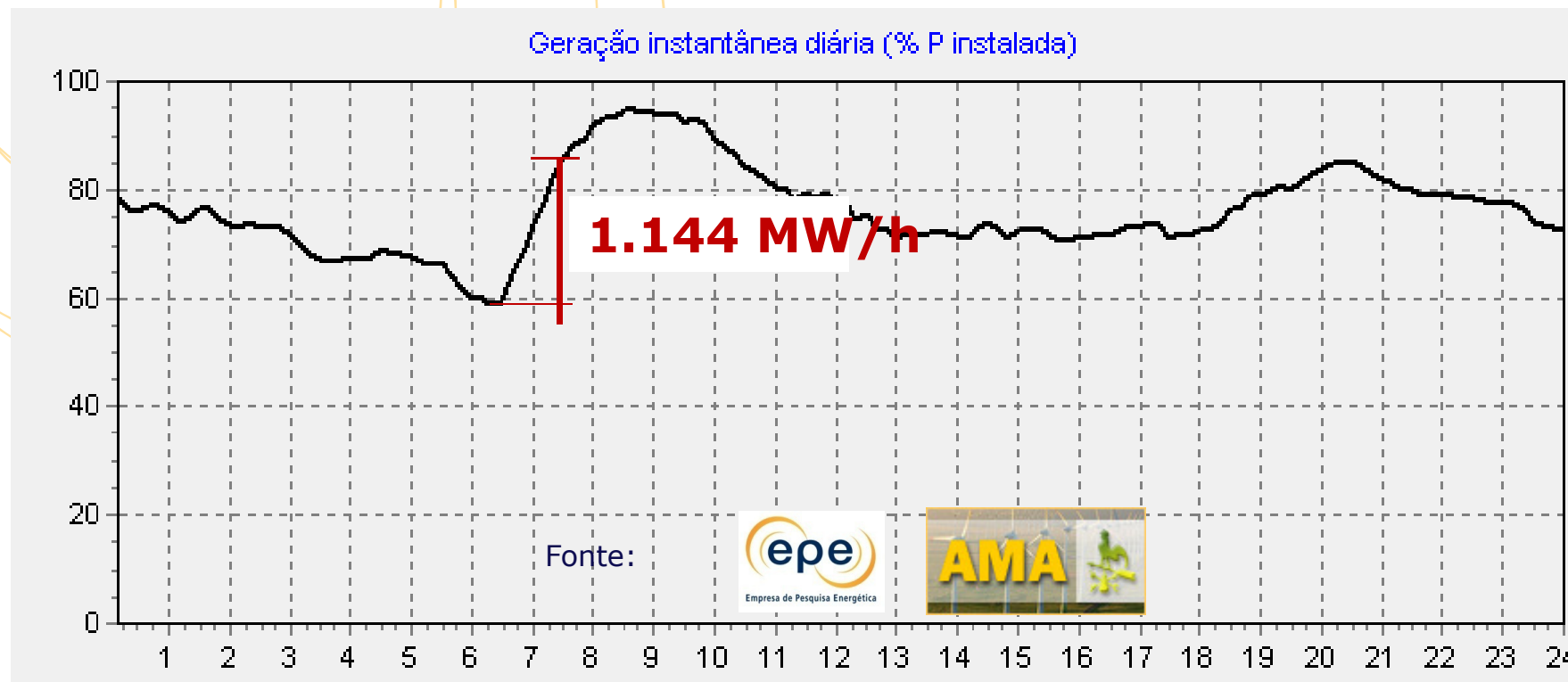
Fonte:



# Simulação operação parque eólico Região Nordeste

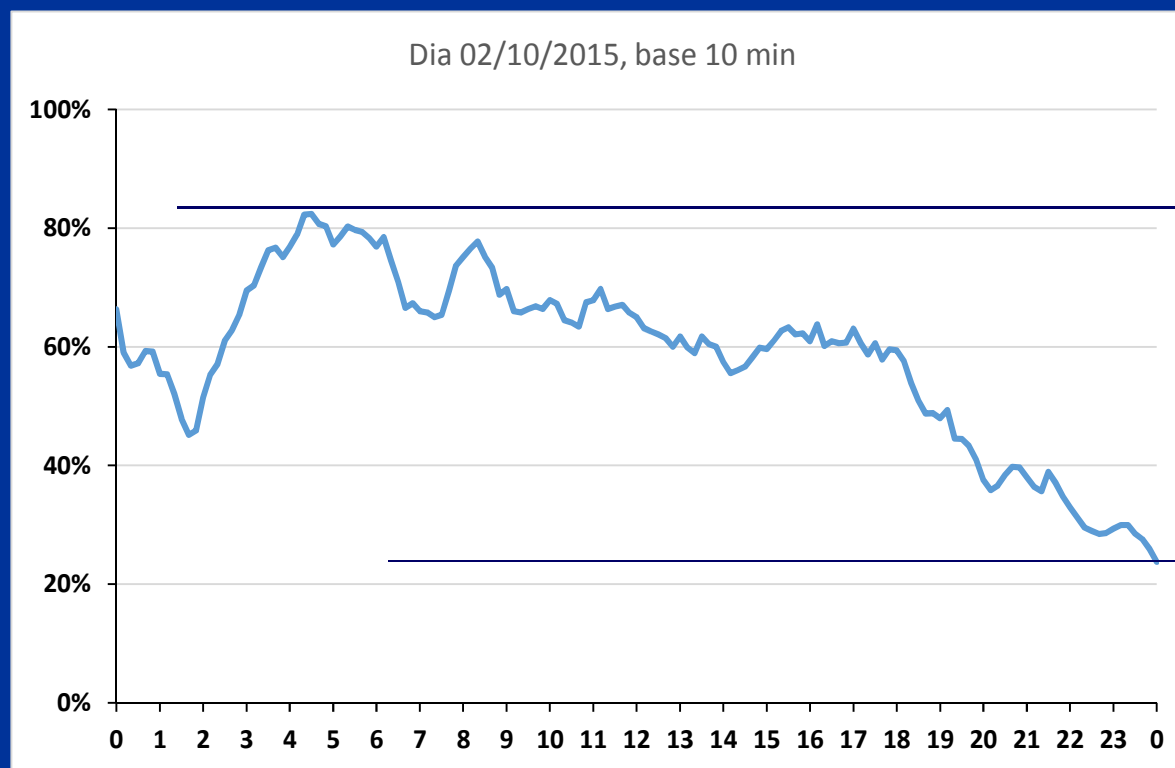
(2015, 4.336 MW, 167 parques)

## Dia de máxima variação em 1 hora – 12/10/2015



# Simulação operação parque eólico Região Nordeste (2015, 4.336 MW, 167 parques)

Dia: 02/10/2015



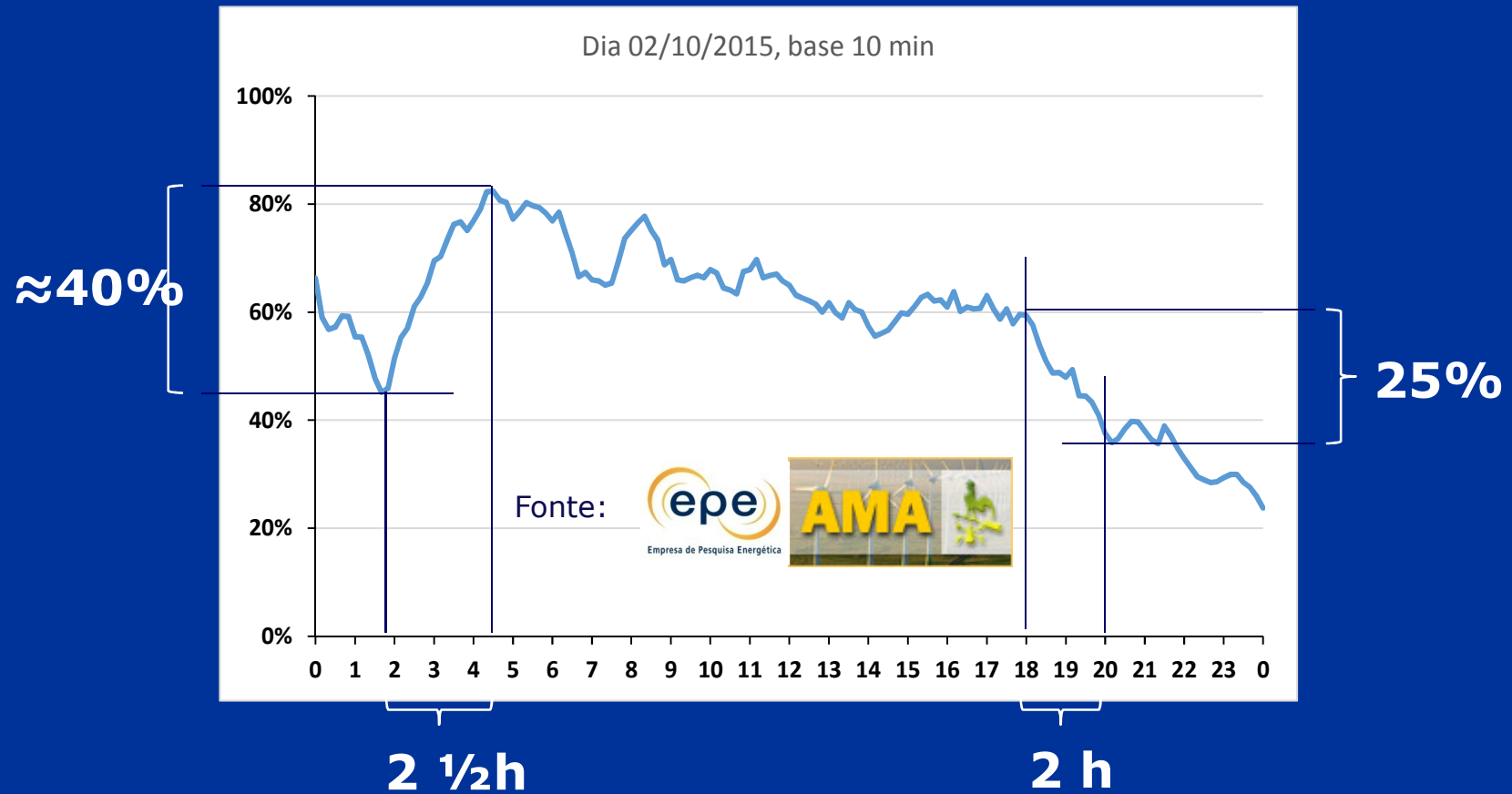
60%

Fonte:



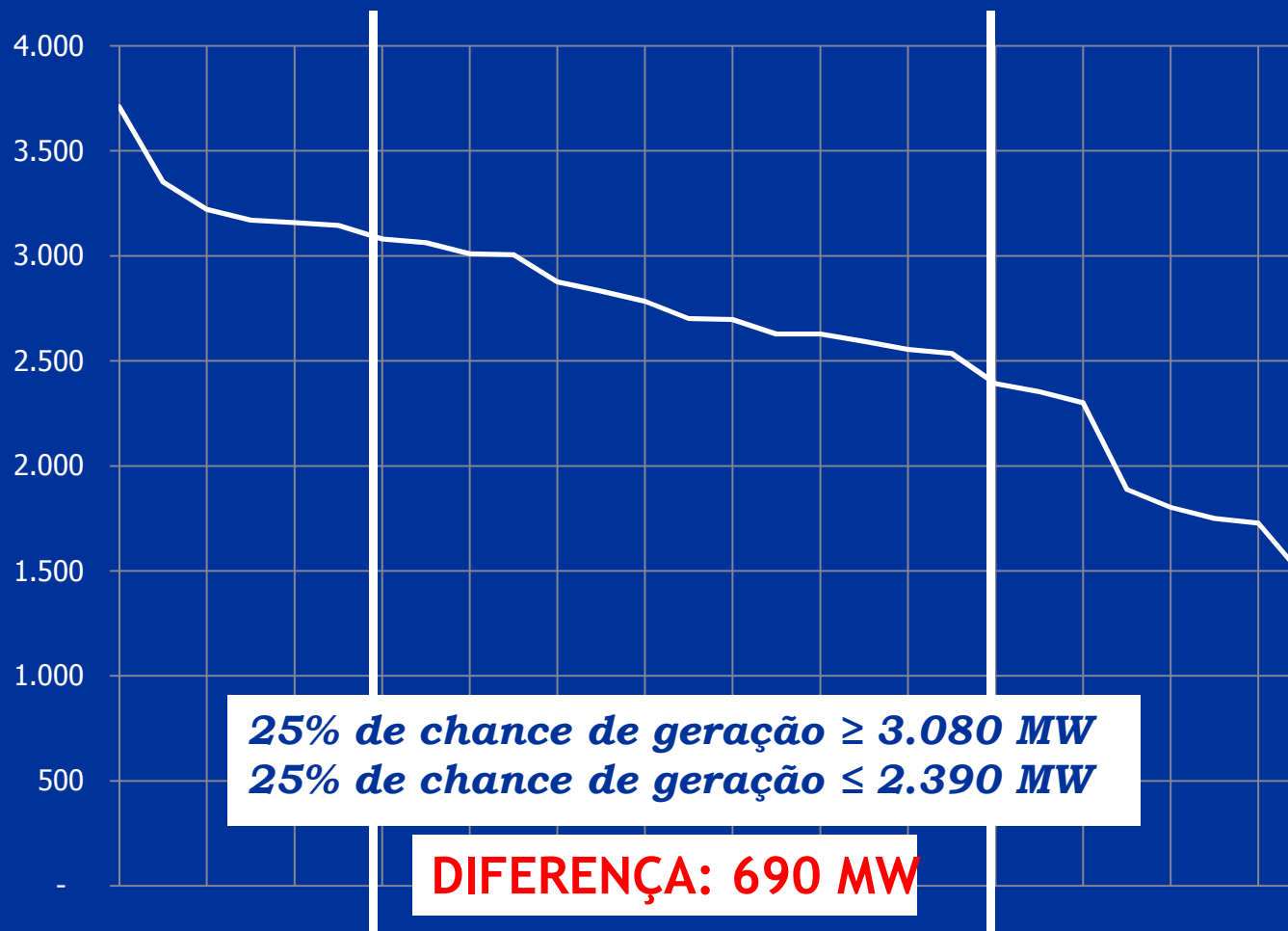
# Simulação operação parque eólico Região Nordeste (2015, 4.336 MW, 167 parques)

Dia: 02/10/2015



# Operação parque eólico Região Nordeste

Permanência da geração durante quatro 4 semanas  
(entre 20 abr e 17 mai 2016)



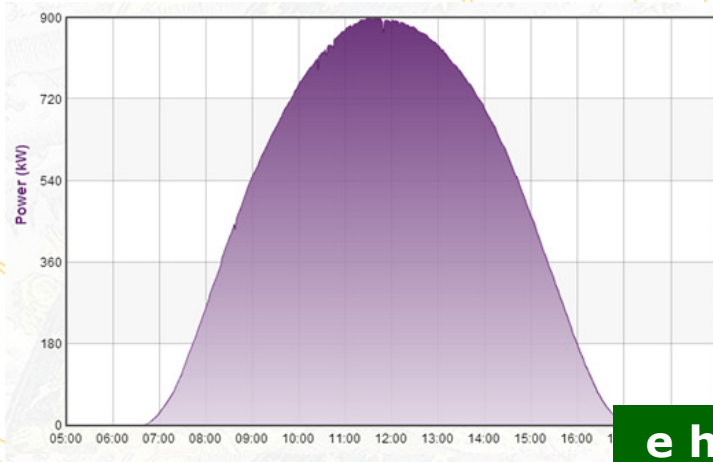
Fonte: IPDO, ONS



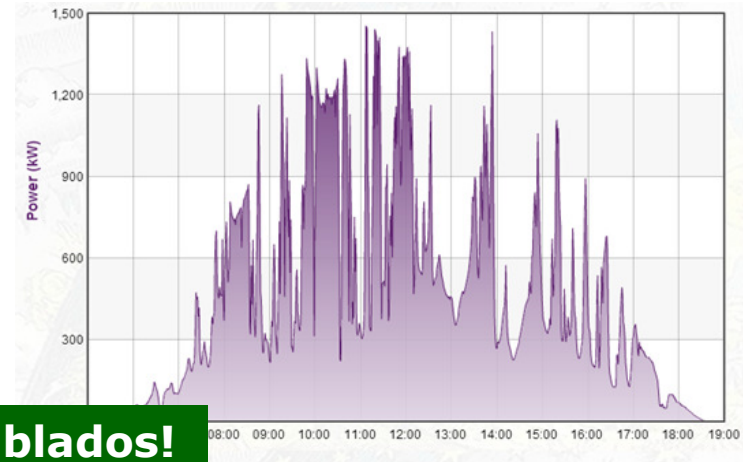
# Geração solar fotovoltaica

Elaboração: EPE, com dados de usinas europeias

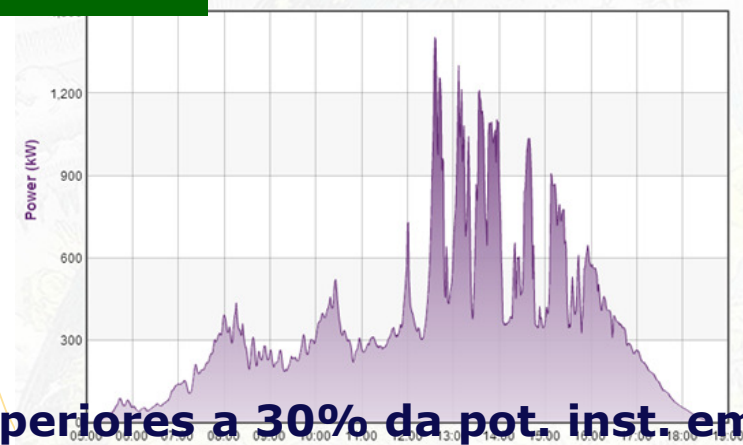
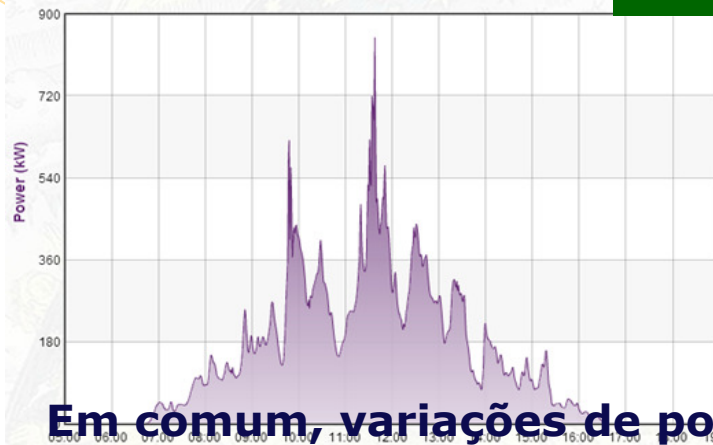
Há dias ensolarados no inverno ...



... E dias ensolarados no verão!



e há dias nublados!



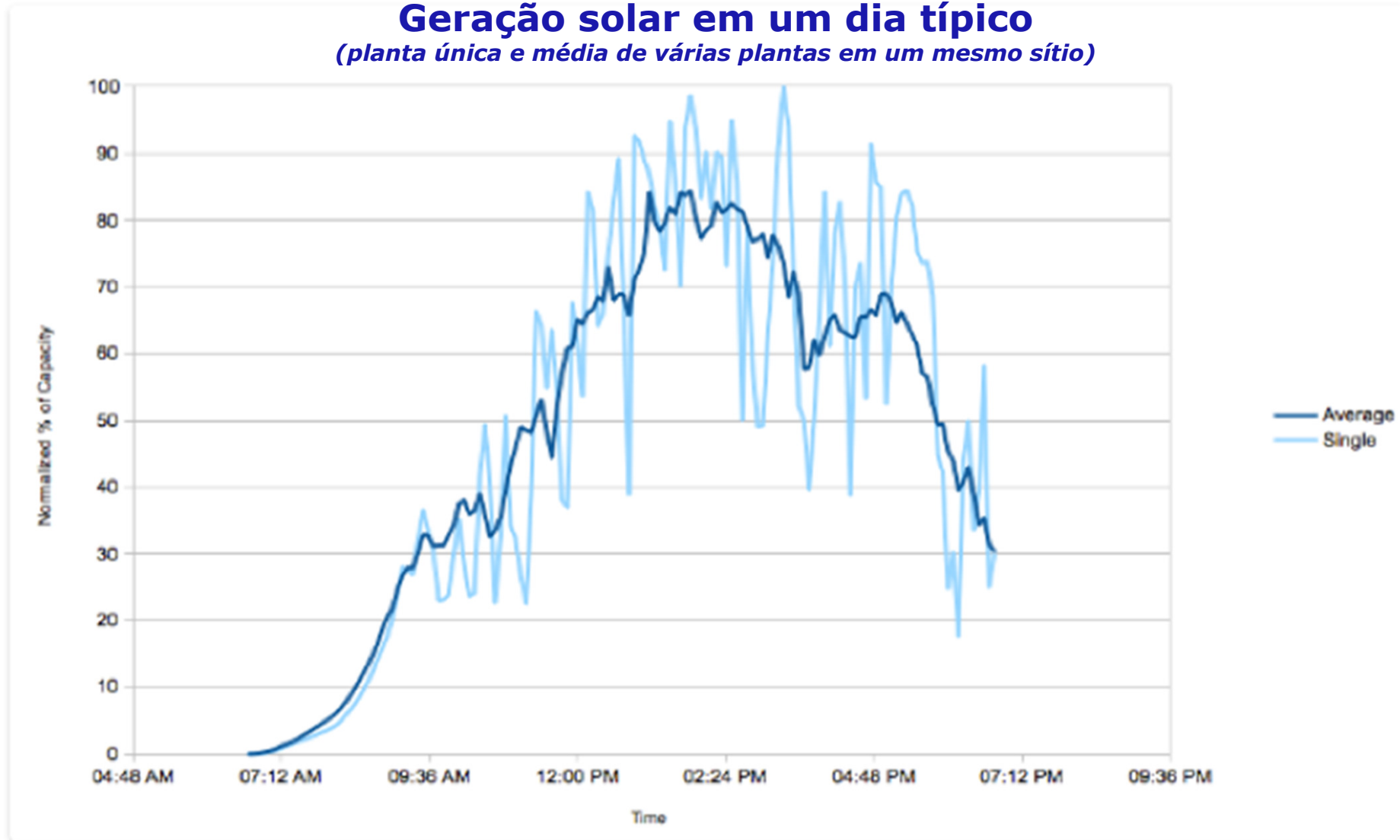
**Em comum, variações de potência superiores a 30% da pot. inst. em intervalo de 1 min. e superiores a 40% em 10 min.!**



Empresa de Pesquisa Energética

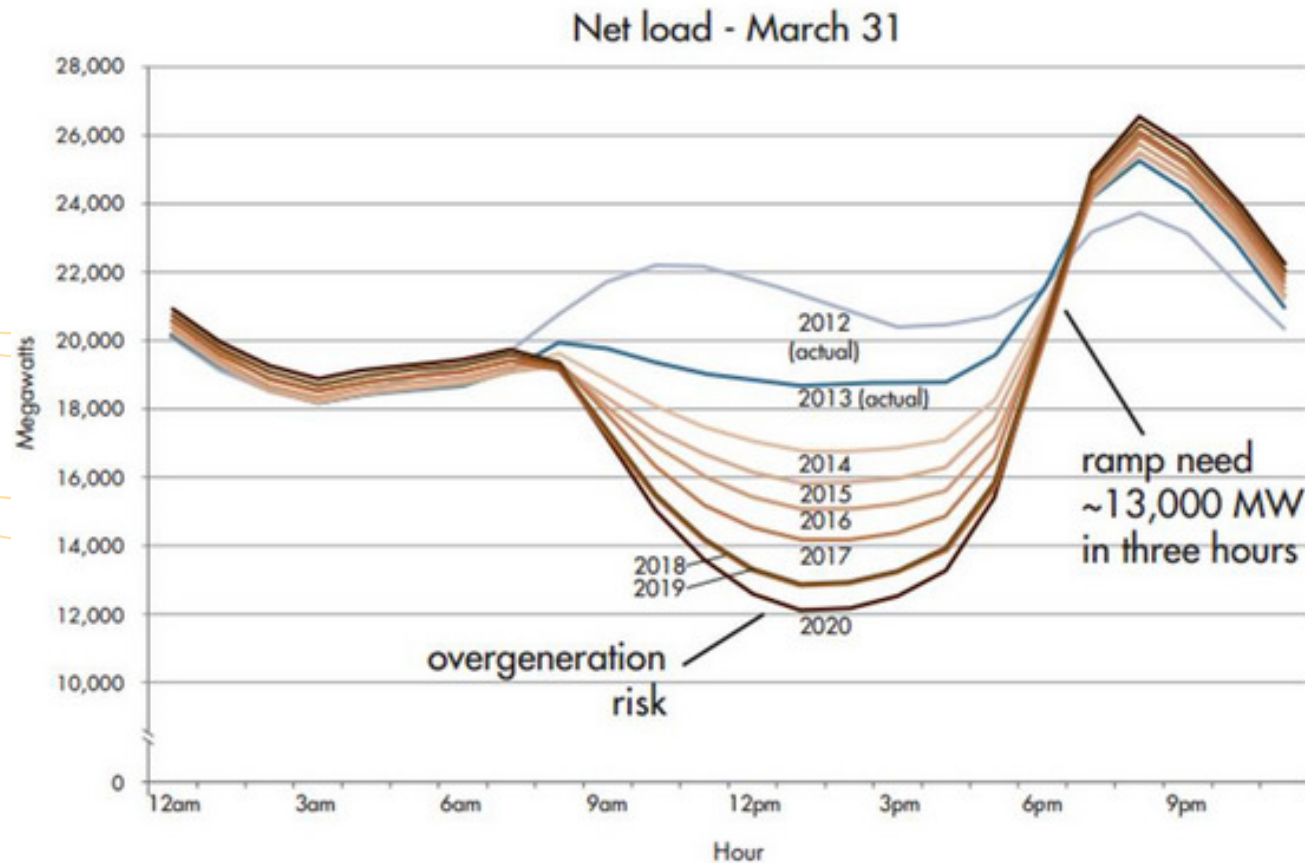
# Características das fontes renováveis

**Geração solar em um dia típico**  
*(planta única e média de várias plantas em um mesmo sítio)*



# O “fading” da geração fotovoltaica ...

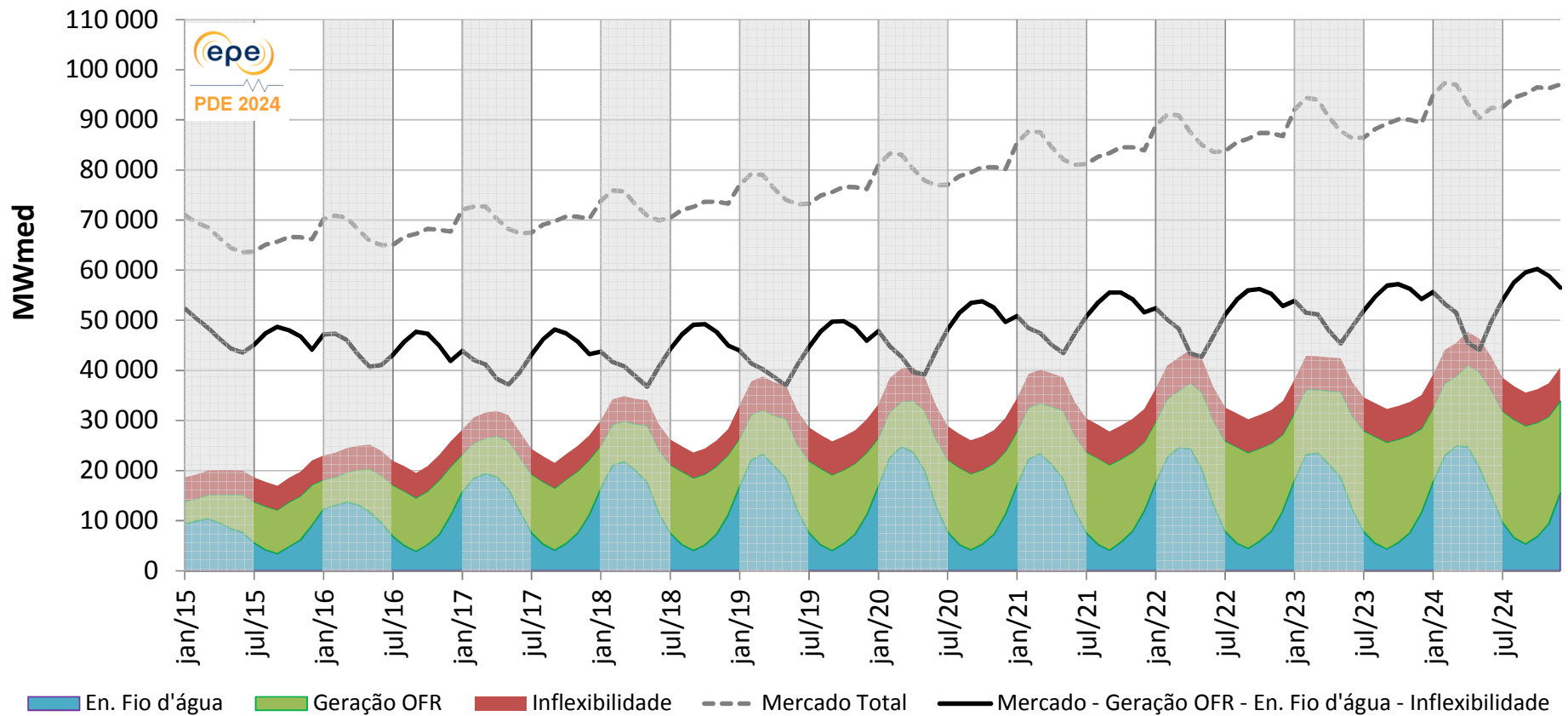
## Efeito sobre a curva de carga diária na Califórnia



**No pôr-do-sol ocorre rápido aumento da carga.  
Essa diferença deve ser suprida por fontes despacháveis.**

# ATENDIMENTO À CARGA

**Mercado Líquido de Energia no SIN para Fontes Controláveis PDE 2024**



Variável	Descrição
En. Fio d'água	Energia Fio d'água Líquida, considerando um cenário de afluência baixa (5% dos piores cenários)
Geração OFR	Expectativa de Geração no SIN de Outras Fontes Renováveis: eólica, solar, PCH e biomassa (considerada no PDE 2024)
Inflexibilidade	Total de Geração Térmica Inflexível

# Questões chave



Expansão hidrelétrica

Preço da energia

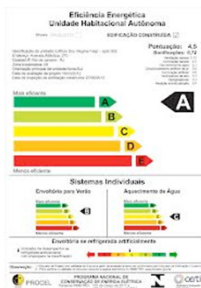
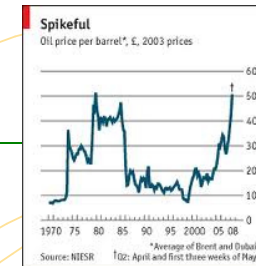


Mudanças climáticas

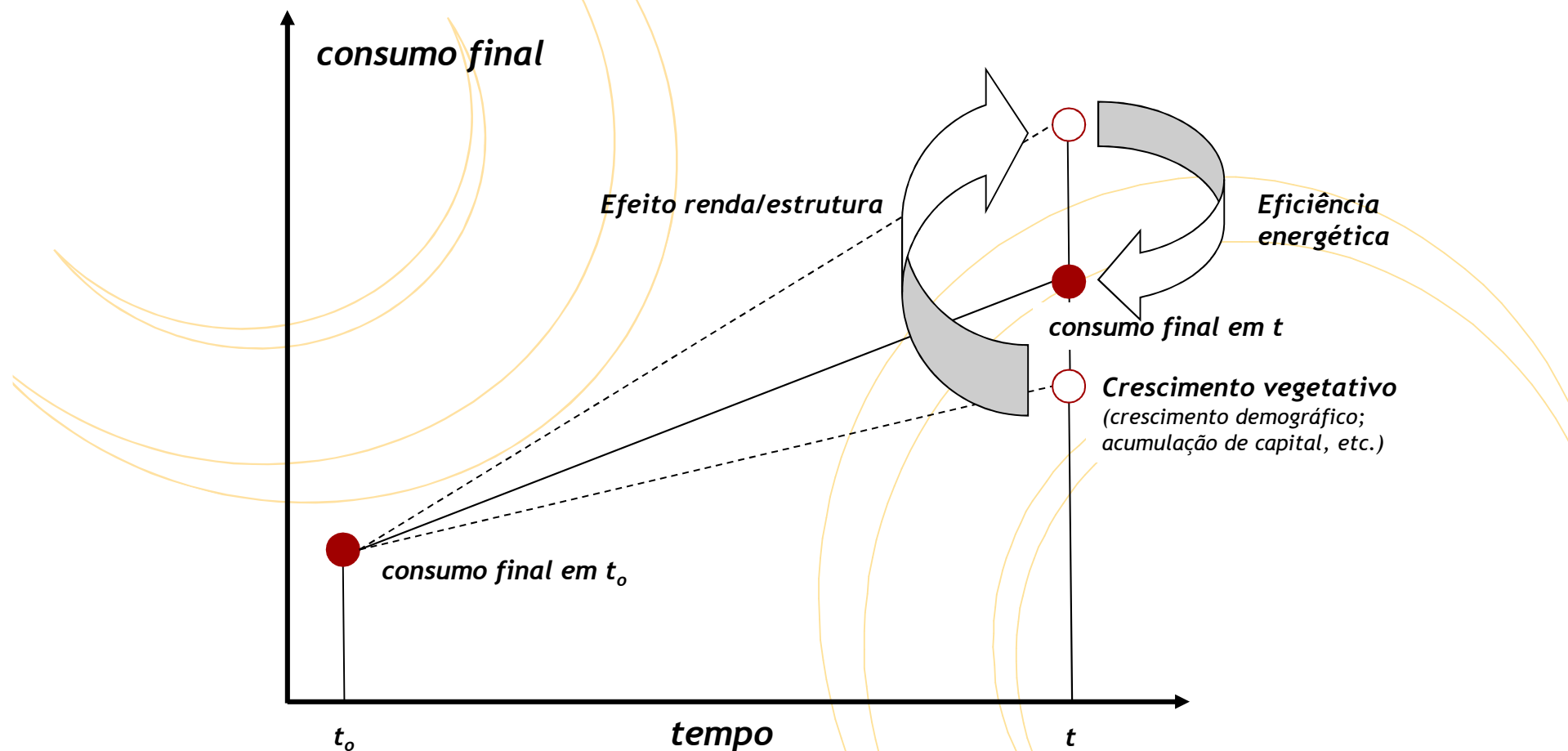
(emissões CO<sub>2</sub>)

Efeitos da inserção de renováveis no sistema

**Eficiência energética**

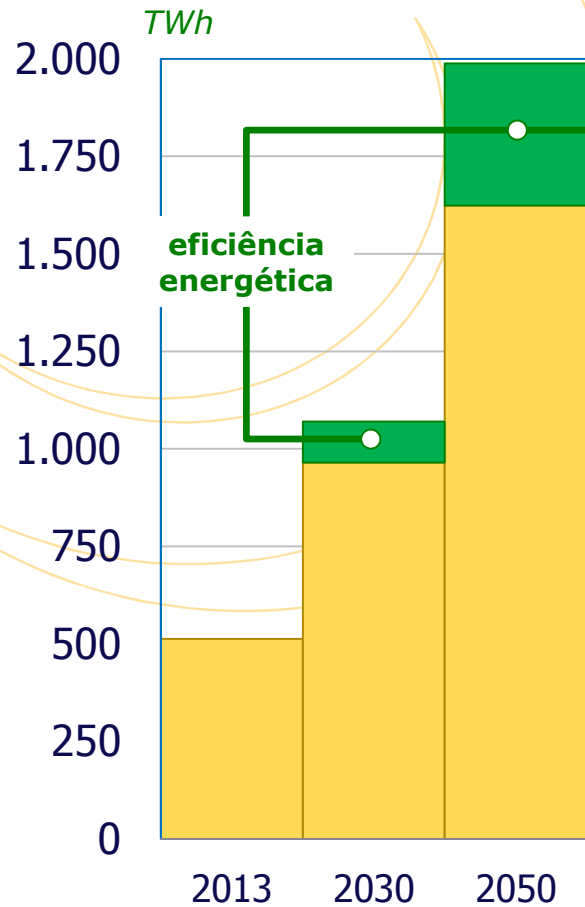


## ▪ Eficiência energética e efeitos renda/estrutura



# ■ Eficiência energética

## Consumo final de energia elétrica (CFE)



**363,6 TWh  
(24,7% do aumento do CFE)**

		2013/2050
PIB		3,6
CFE	SEM EE	3,7
	<b>COM EE</b>	<b>3,2</b>

1,028

0,889

per capita		2013/2050
PIB		3,5
CFE	SEM EE	3,4
	<b>COM EE</b>	<b>2,8</b>

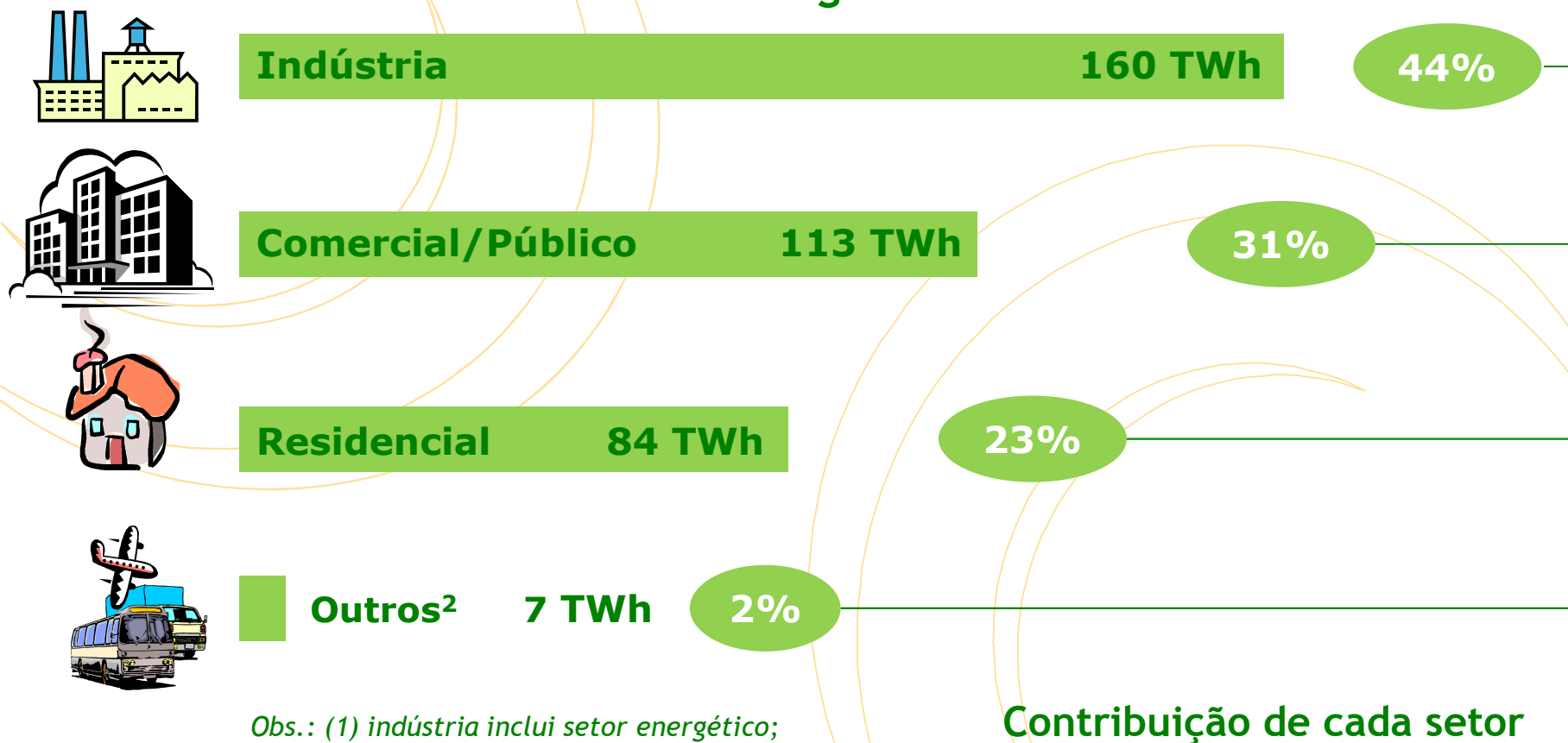
0,971

0,800

PIB: Produto Interno Bruto  
CFE: Consumo Final de Energia Elétrica  
EE: Eficiência Energética

## ▪ Eficiência elétrica por setor

### Energia conservada em 2050



Obs.: (1) indústria inclui setor energético;  
(2) energia conservada nos setores agropecuário e transporte

Contribuição de cada setor para o total conservado



## ▪ Eficiência energética em 2050

### Energia elétrica

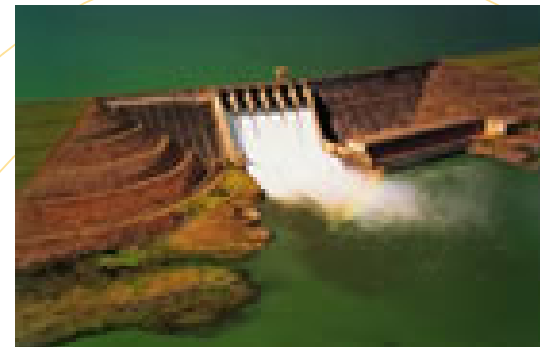
363,6 TWh

(24,7% do acréscimo do consumo)

Energia conservada equivalente

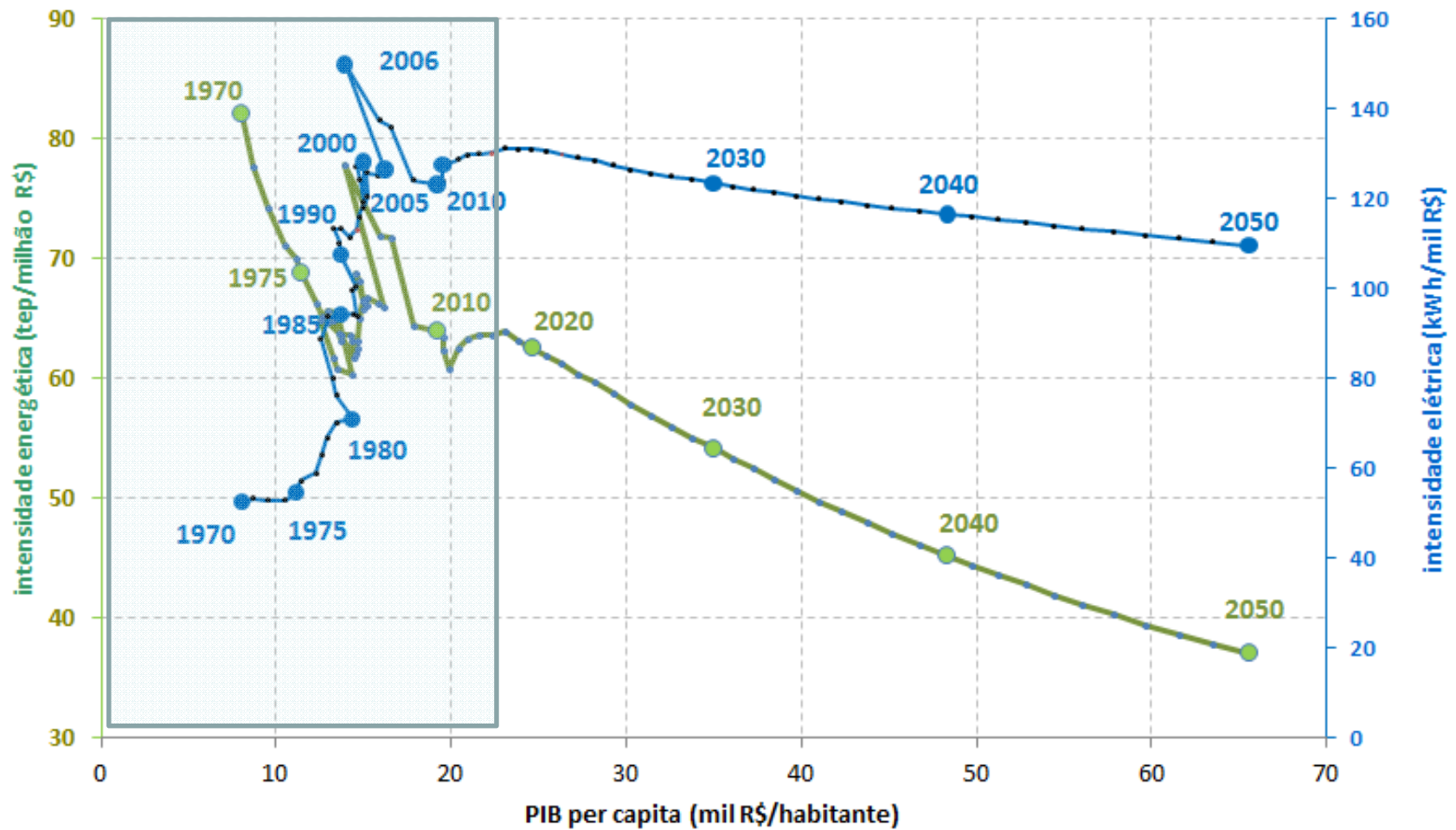
**75.000 MW hidroelétricos**

(30% do potencial hidrelétrico nacional)



# ▪ Eficiência energética

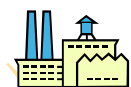
## EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA E ELÉTRICA DA ECONOMIA





# ▪ Eficiência energética em 2050

## Emissões evitadas de gases de efeito estufa



Setor	Base: setor elétrico 2014	Base: geração a gás
Industrial <sup>(1)</sup>	21,9	65,6
Comercial	15,5	46,3
Residencial	11,5	34,4
Outros <sup>(2)</sup>	1,0	2,9
<b>TOTAL</b>	<b>49,9</b>	<b>149,2</b>

A avaliação das emissões evitadas depende da composição da oferta futura de energia. Na medida em que a geração hidrelétrica perde participação na matriz elétrica, as emissões de CO<sub>2</sub> tendem a ser maiores.

*(10 a 30% das emissões totais na produção e no consumo de energia no país em 2014)*

*(1) Inclui setor energético*

*(2) Transportes e setores público e agropecuário*





Empresa de Pesquisa Energética



# 5

## Brasil: Matriz Energética do Futuro **Algumas conclusões**



Empresa de Pesquisa Energética

## Algumas conclusões



- ✓ *Haverá importante aumento da demanda por energia elétrica nos próximos 35 anos (aumento da população, acumulação de capital, aumento da renda)*
- ✓ *O aumento da demanda ocorre mesmo considerando expressivos ganhos de eficiência energética*
- ✓ *Eficiência energética e fontes renováveis são elementos fundamentais da estratégia para atendimento à expansão do sistema elétrico e para os compromissos nacionais relativos à questão global do clima*

## Algumas conclusões



- ✓ *O aproveitamento do potencial hidrelétrico é chave para a modicidade tarifária e para manter a participação de renováveis na matriz elétrica brasileira*
- ✓ *O aumento da participação de fontes não controladas (como eólica ou solar) ou com despacho inflexível (por razões ambientais, operativas ou comerciais) impõe alterações no arranjo do parque gerador e no sistema de transmissão*
- ✓ *Deverá ser relevante a introdução de geração base em substituição à geração hidrelétrica: carvão ou nuclear ou gás, a depender dos avanços tecnológicos, das restrições ambientais e da competitividade*

# Muito obrigado!



**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE**

<http://www.epe.gov.br>

Av. Rio Branco, 1 – 11º andar  
20090-003 Rio de Janeiro RJ  
Tel.: + 55 (21) 3512 - 3100  
Fax: + 55 (21) 3512 - 3199